

**Министерство сельского хозяйства  
Российской Федерации**

**Новосибирский государственный  
аграрный университет**

**А.В. Пискарев**

**НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ:  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И  
ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА**

*Монография*

**Новосибирск 2011**

УДК 631.3:633  
ББК 40.72:41  
П 345

*Рецензент*

заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук,  
профессор Борис Дмитриевич Докин

**Пискарев А.В. Надежность технологических систем машиноиспользования в растениеводстве: совершенствование методов проектирования и эксплуатации на основе системного подхода: монография / Новосиб. гос. аграр. ун-т. – Новосибирск, 2011. – 385 с.**

ISBN 978-5-944-102-5

В монографии с позиций системного подхода обобщены результаты исследований автора по анализу и оценке влияния основных факторов на производительность и надежность технологической системы, по обоснованию и совершенствованию методов проектирования и эксплуатации систем с учетом их стохастического характера и неопределенности.

Монография предназначена для научных работников и специалистов агроинженерного профиля, преподавателей вузов, аспирантов и магистрантов.

УДК 631.3:633

ISBN 978-5-944-102-5

ББК 40.72:41

© Пискарев А.В., 2011  
© Новосибирский государственный  
аграрный университет, 2011

## Предисловие

Данная монография представляет собой обобщение исследований автора, посвященных повышению эффективности использования сельскохозяйственной техники. Общая концепция этого обобщения состоит в следующем.

Использование техники (мы также применяем термин *машиноиспользование*) рассматривается в составе технологической системы (ТС), в которую на первом уровне наряду с технологическим комплексом машин входят также подсистемы: производственный технологический процесс и первичный трудовой коллектив. Такие системы не являются искусственным объектом, а реально создаются на практике для выполнения отдельных механизированных процессов растениеводства. Целью формирования таких систем является выполнение в определенные сроки планового объема технологического процесса.

Надежность ТС – это свойство обеспечить своевременность выполнения системой планового задания в отведенный срок, а основные комплексные показатели надежности в этом случае – это ее производительность (которая выступает как мера надежности) и вероятность своевременного достижения цели ТС.

Поскольку такая система имеет достаточно сложную структуру (в ней много разнородных элементов, внутренних и внешних связей), то естественной методологической основой для проведения, а также для обобщения исследований стал системный подход.

Содержание и результаты исследований носят главным образом методологический характер и выражаются в обосновании новых и совершенствовании известных подходов и конкретных методов проектирования и эксплуатации таких систем, направленных на повышение и обеспечение необходимого уровня надежности ТС. Круг охва-

ченных вопросов довольно широкий, однако надо сказать, что далеко не все из них исследованы в полной мере. Рассмотрен только «верхний слой» (если можно так образно выразиться) вопросов. Мы ограничились изложенным, однако для продолжения развития данного направления имеются большие возможности.

Часть экспериментальных исследований выполнена достаточно давно – применительно к используемым в то время машинам. Мы понимаем, что их результаты во многом потеряли свою значимость и ценность, поэтому многие материалы не вошли в монографию. Включено, как нам представляется, только то, что сохранило принципиальное значение или говорит о некотором приоритете автора в изучении того или иного вопроса (от чего было трудно отказаться).

Содержание монографии включает 7 глав, каждая из которых посвящена относительно автономному кругу изученных вопросов, имеет свой библиографический список и заключение.

*Первая глава* посвящена рассмотрению объекта исследования – технологической системе машиноиспользования и общим подходам к ее изучению.

*Вторая глава* содержит общую концепцию проблемы надежности ТС (в интерпретации автора), а также ряд теоретических и методологических обоснований, относящихся непосредственно к этой проблеме.

*Третья глава* – это теоретические основы совершенствования методов проектирования системы с учетом ее стохастического характера и неопределенности. Здесь основное внимание уделяется анализу взаимосвязи количества основных технологических машин (ОТМ) в системе и продолжительности выполнения производственного процесса с учетом потерь урожая, зависимость которых анализируется путем разработки обобщенной математической

модели. Эти три главы составляют теоретическую и общую методологическую часть исследования.

Другие главы посвящены основным направлениям повышения (и обеспечения) надежности ТС при их эксплуатации. В них излагаются результаты экспериментально-теоретических исследований и научно-производственных опытов, а также апробации предлагаемых решений в хозяйственных условиях по следующим направлениям повышения производительности и надежности систем:

- по улучшению взаимодействия основных технологических машин (ОТМ) и сборочно-транспортных средств;
- по надежности ОТМ и сокращению их простоев из-за технических неисправностей;
- по реализации системного подхода при проектировании и эксплуатации систем на основе инженерных технологических проектов;
- по организационным (отрядно-звеньевым) формам использования техники и некоторым важным аспектам работы первичных трудовых коллективов.

Каждую главу завершают заключения, дополнительный смысл которых состоит в следующем. Во-первых, через заключение в ряде случаев осуществляется своеобразная «связь времен». Излагаемые результаты и их анализ даются, как правило, с позиций того времени, когда они получены. И если сейчас ситуация решительно изменилась, то есть возможность в заключении высказать дополнительные комментарии автора по рассматриваемому вопросу. А во-вторых, эти заключения выполняют некоторую связующую роль между материалами различных глав.

Автор выражает глубокую признательность всем коллегам, кто в различные годы в той или иной форме принимал участие в совместных исследованиях, особенно в полевых экспериментах и выполнении хозяйственных договоров по рассматриваемой в монографии тематике.

Прежде всего, это наши аспиранты и сотрудники кафедры эксплуатации МТП, с которыми мы продолжительное время вместе работаем или работали в прежние годы: Ю.Н. Блынский, Д.М. Воронин, Р.П. Голиков, С.А. Голубь, Ю.А. Гуськов, Ю.Н. Дементьев, В.Д. Игнатов, В.С. Кемелев, В.С. Кистанов, В.А. Никитин, М.Н. Разумов, И.В. Тихонкин, С.П. Федоров.

Автор благодарен доктору технических наук, профессору Борису Дмитриевичу Докину за ценные замечания и пожелания, высказанные им при рецензировании монографии.

## Введение

Существенное повышение эффективности сельскохозяйственного производства, что является одной из приоритетных государственных задач, планируется на основе технической и технологической модернизации материально-технической базы сельского хозяйства.

Вместе с тем в этой области за годы перестройки накопилось много негативных проблем и явлений.

Академик Ю.Ф. Лачуга, в частности, приводит следующие данные: «... с 1990 г. наполовину сократился парк машин, а обеспеченность отрасли к 2007 г. по тракторам снизилась в 2,9 раза, по зерноуборочным комбайнам – в 3,5 раза, по кормоуборочным комбайнам – в 4 раза и т.д.».<sup>1</sup>

И далее он высказывает такое мнение: «... на современном этапе сельскохозяйственного производства главным сдерживающим фактором его развития, в том числе расширения использования земельных ресурсов, является обвальное сокращение численности машинно-тракторного парка....»

Эта ситуация, естественно, подтверждается и опубликованными статистическими данными, часть из которых мы приводим в табл. 1.

Особенно остро недостаток техники сказывается в период уборки, что является основной причиной увеличения сроков выполнения работ и повышения, в связи с этим, потерь урожая. В регионах с более благоприятными климатическими условиями это проявляется менее заметно, чего не скажешь о регионе Западной Сибири, где зачастую в период уборки имеют место крайне неблагоприятные погодные условия<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Лачуга Ю.Ф. Отечественное сельхозмашиностроение для ресурсосберегающих технологий в растениеводстве // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – №6. – С.3-7.

<sup>2</sup> Чепурин Т.Е. Оснащение сельхозпредприятий Западной Сибири зерноуборочной техникой с учетом зональных условий // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2008. – №3(4). – С.20-26.

Таблица 1. Наличие основных видов техники  
в сельскохозяйственных организациях России <sup>3</sup> (на конец года)

Показатели	1995 г.	2000 г.	2005 г.	2008 г.
Наличие тракторов, тыс. шт.	1052,1	7467,0	480,3	364,4
Наличие комбайнов, тыс. шт.: зерноуборочных	291,8	198,7	129,2	95,9
кормоуборочных	94,1	59,6	33,4	24,0
Приходится тракторов на 1000 га пашни, шт.	9,3	7,4	5,5	4,8
Приходится на 1000 га посе- вов зерноуборочных комбай- нов, шт.	5,8	5,1	3,9	3,2

Ранее мы проводили специальный анализ использования уборочной техники в регионе Западной Сибири за относительно длительный период (с 1961 по 1975 г.)<sup>4</sup>. И тогда обеспеченность техникой была недостаточной. Сейчас, спустя многие годы, положение не только не улучшилось, но и значительно усугубилось. Сравнительные данные, характеризующие эти периоды, приведены в табл. 2.

Поскольку наши научно-производственные эксперименты проводились в основном в хозяйствах Новосибирской области, покажем на ее примере современную ситуацию более детально (табл. 3).

<sup>3</sup> Россия в цифрах . 2009 / Росстат. – М., 2009. – 525 с.

<sup>4</sup> Пискарев А.В. Анализ показателей использования уборочной техники в Западной Сибири // Повышение эффективности использования уборочных машин в условиях Западной Сибири: тр. НСХИ. – Новосибирск, 1978. – Т.115. – С.3-6.



Таблица 2. Наличие зерноуборочных комбайнов на 1000 га посевов зерновых культур в Западной Сибири

Регион	1970 г.*	1975 г.*	2005 г.**	2008 г.**
Алтайский край	5,0	5,3	3,0	2,7
Кемеровская область	6,4	6,2	2,9	2,6
Новосибирская область	4,3	5,4	3,5	3,1
Омская область	4,4	6,0	3,4	2,6
Томская область	6,4	7,7	3,9	3,3

\* По данным сводных годовых отчетов сельскохозяйственных органов регионов.

\*\* По данным межрегиональной ассоциации «Сибирское соглашение».

Таблица 3. Наличие тракторов и комбайнов в сельскохозяйственных предприятиях Новосибирской области\* на начало года, шт.

Вид техники	2001 г.	2006 г.	2010 г.
Гусеничные и колесные тракторы, всего	20436	15637	10925
Комбайны			
зерноуборочные	6400	5263	3620
кормоуборочные	1897	1218	861
картофелеуборочные	98	59	27

\* По данным Новосибирскстата.

Коэффициент обновления, например, по зерноуборочным комбайнам составлял: в 2005 г. – 1,9, в 2006 г. – 1,5, в 2007 г. – 4,3, в 2008 г. – 5,7, в 2009 г. – 4,0. Только за последние годы (благоприятные по урожайности) приобретение уборочной техники стало в определенной степени заметным.

Учитывая такую ситуацию с наличием техники, еще большее значение приобретает рациональное ее использование (особенно в составе технологических систем), поиск путей повышения эффективности и надежности эксплуатации систем, в том числе за счет организационных, технологических и других факторов.

К сожалению, органы государственной статистики не ведут сейчас мониторинг показателей использования техники, однако из разрозненных публикаций и других фактических данных видно, что, в частности, длительность периода уборки не сокращается, дневная производительность машин не всегда достигает нормативной и т.п. Другими словами, проблема повышения эффективности использования техники не только остается актуальной, но и приобретает все большее значение.

Одним из направлений технологической модернизации сельского хозяйства ведущие ученые в агроинженерной области считают формирование эффективного агроинжиниринга.

Новую парадигму построения инженерно-технической системы они формулируют следующим образом: «... *агроинжиниринговая система* нового поколения функционально предназначена для системного материально-технического и сервисного обеспечения сельскохозяйственного производства на этапе его инновационных преобразований»<sup>5</sup>.

Автор выражает надежду, что данная монография будет полезной для решения методологических и практических задач в агроинжиниринговой сфере деятельности.

---

<sup>5</sup> Черноиванов В.И., Ежевский А.А., Краснощеков Н.В. Модернизация построения инженерно-технической сферы сельского хозяйства // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2009. – №5. – С.9-15.

# **1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ, ФОРМИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ С ПОЗИЦИЙ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА**

## **1.1. Методология системного подхода: сущность и основные понятия**

Использование методологии системного подхода является диалектически объективной необходимостью познания сложных явлений, объектов, предметов. Предпосылкой к этому является то обстоятельство, что в качестве научных и практических задач зачастую выступают проблемы организации и функционирования сложных систем, границы и состав которых далеко не очевидны.

Объясняется это, с одной стороны, усложнившимся взаимодействием при выполнении различных процессов между человеком, машиной и средой, с другой – стремлением учесть в этом взаимодействии широкий спектр самых разнообразных факторов (технических, технологических, экономических, социальных, экологических и других), с тем, чтобы наилучшим образом принять решение по созданию или функционированию таких объектов (сложных систем).

Имеется значительное количество работ, освещающих общие вопросы теории и методологии исследования сложных систем, системного подхода (так называемых «системных исследований»). Анализ этой литературы свидетельствует о неоднозначности, а иногда и противоречивости суждений, понятий и определений, принятой терминологии.

В отечественной и зарубежной литературе (особенно в 70-х – начале 80-х годов XX века) этим вопросам уделя-

лось достаточно большое внимание. Анализ публикаций (например [5, 6, 21, 33, 42, 45, 48, 50 и др.]) свидетельствует о том, что, используя принципы системного подхода в конкретной области, следует хотя бы кратко (для уточнения исходных позиций автора) сформулировать и назвать принятые понятия и определения. В данном случае это целесообразно также с той точки зрения, что использование системного подхода применительно к проблемам машиноиспользования пока еще не получило должного развития.

Наиболее полным и обобщенным, по мнению составителей Большой советской энциклопедии (с которым мы согласны и принимаем для использования), является следующее определение системного подхода: «**Системный подход** – это направление методологии специально-научного познания и социальной практики, в основе которого лежит исследование объектов как систем.

Методологическая специфика системного подхода определяется тем, что он ориентирует исследование на раскрытие целостности объекта и обеспечивающих ее механизмов, на выявление многообразных типов связей сложного объекта и сведение их в единую теоретическую картину» [8].

В литературе отмечается, что системный подход не существует в виде строгой (тем более формализованной) методологической концепции, он дает главным образом ориентацию для конкретных исследований.

В качестве синонима к термину «системный подход» часто применяют другие: «системный анализ», «системно-структурный анализ», «структурно-функциональный анализ», «системные методы» и др. [33, 41, 47]. Однако понятие и принципы системного подхода обладают более широким и гибким содержанием.

Так, например, здесь же [8] отмечается, что «системный анализ... не связан с задачами получения научного

знания, а только использует методы науки в решении практических проблем... и преследует цель рационализации процесса принятия решений...». А системный подход рассматривается как методология получения нового научного знания.

«Системный подход не есть некоторый подготовительный этап для осуществления других типов научного исследования, а представляет самостоятельную и, как показывает опыт, весьма перспективную стратегию развития современного научного знания» [45].

Одним из основных понятий системного подхода является понятие **системы**. Отметим, что единого и общепринятого (стандартного) значения этого понятия пока не установлено. Известно также мнение, что такая задача на строгом формальном уровне неразрешима в принципе. Вероятно, объяснение этому кроется в безграничном количестве всевозможных систем, которые объективно существуют (могут быть выделены) в окружающем нас мире.

В.Н. Садовский приводит, например, результаты типологического исследования значений понятия «система», в которое было включено около 40 различных определений, имеющих в литературе [45].

Несмотря на неоднородность этого понятия, выделяются два узловых момента: наличие множества элементов, определенным образом взаимосвязанных; эта множественность представляет некоторую целостность (единство), неоднозначную с суммой свойств входящих элементов.

Используем следующее обобщенное понятие системы: «**система** – это упорядоченное определенным образом множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом и образующих определенную целостность, единство» [8]. Из этого определения следует, что понятие системы неразрывно связано с такими понятиями, как **элемент, целостность, связь**.

**Элемент** – это минимальный компонент системы (или же максимальный предел ее расчленения). Исследуемая система может расчленяться различными способами в зависимости от конкретных задач исследований и других условий. Следовательно, для данной (каждой) системы понятие элемента не является однозначно определенным: говорить об элементе можно лишь применительно к конкретному способу представления системы. Таким образом, свойство быть элементом не исключает того, что он в определенных условиях может быть системой (подсистемой) или средой.

Понятие **целостности** выражает автономность объекта, оно характеризует качественное своеобразие, обусловленное присущими ему специфическими закономерностями функционирования. Очень важным является то обстоятельство, что понятие целостности относится не только к самой системе, но и к способу ее исследования. В этом смысле оно выражает требование такого описания, которое давало бы качественно новые результаты, чем простая сумма описаний элементов данной системы.

Понятие **связи** несет в себе важную смысловую нагрузку при характеристике системы, так как системность объекта раскрывается прежде всего через его связи. Можно отметить большое разнообразие значений понятия «связь», а также принципиальную трудность однозначно определить смысл и содержание данного термина, так как связи элементов сложных систем исключительно многообразны.

«В настоящее время нет реальных предпосылок для построения не только исчисления связей, но и для качественной логико-методологической концепции связи как категории научного познания» [42].

В работах [6, 42, 45], например, называются следующие эмпирически установленные типы связей: взаимо-

действия, преобразования, строения, развития, функционирования, управления и другие.

Важность связей обусловлена не столько построением и описанием системы, сколько исследованием ее функционирования. Собственно, **необходимость учета одновременно нескольких типов связей и порождает системный подход.**

Наряду с рассмотренными понятиями (элемент, целостность, связь) важными системными принципами являются структурность, иерархичность, множественность описаний.

В некоторых работах, прежде всего относящихся к кибернетическим системам управления, отмечается, что систему характеризуют и такие параметры: вход, выход, процесс, обратная связь, ограничение.

Приведенная терминология относится в основном к внутреннему описанию системы. Однако в целом круг системных понятий значительно шире, он включает также понятия, относящиеся к классам систем, к функционированию системных объектов и т.д.

Можно отметить, что принципы системного подхода, в определенной мере обобщенные в так называемую «общую теорию систем» или «системологию», – это широкое методологическое направление [12, 16, 21, 48, 50]. «Общая теория систем становится по степени общности такой же наукой, как математика и философия» [12].

Но прежде всего, на наш взгляд, **системный подход – это образ мышления.**

## **1.2. Системный подход – методологическая основа исследований по машиноиспользованию**

Элементы системного подхода, как правило, объективно находят отражение в большинстве исследований по

вопросам механизации сельскохозяйственного производства. Особенно хорошо они просматриваются в трудах основоположников науки земледельческой механики и эксплуатации машинно-тракторного парка, где научные и практические задачи рассматриваются с широких позиций, с учетом многообразных факторов, характеризующих как объект исследования (фактически являющийся какой-либо системой), так и условия, в которой он функционирует (среду системы) [11, 18, 19 и др.].

Конечно, на современном этапе речь идет о необходимости более целенаправленной реализации принципов системного подхода, о расширении границ рассматриваемых систем с одновременно более полным учетом влияния основных факторов, об использовании соответствующего математического аппарата и методов исследований, позволяющих учесть динамический и стохастический характер систем, имеющуюся неопределенность и т.п.

Другими словами, дальнейшее развитие и более широкое применение системного подхода имеет целью повышение эффективности машиноиспользования при выполнении процессов сельскохозяйственного производства.

Поэтому многие ученые в области механизации сельскохозяйственного производства уже давно, а в последние годы – все чаще в своих работах подчеркивают необходимость и целесообразность применения системного подхода, а также непосредственно выполняют исследования на этой основе.

Например, в работе [24] отмечено, что «...дальнейшее развитие методов проектирования систем для механизации сельскохозяйственного производства требует использования принципов системного подхода...»

В работе [1], где рассматриваются результаты анализа более 300 диссертационных, а также значительного количества других научных работ по машиноиспользованию,



справедливо, на наш взгляд, отмечается, что многие исследователи берут на вооружение дифференциацию, не уделяя должного внимания интеграции процесса познания, основой чему является системный подход. Вследствие этого отмечаются определенные пробелы в характеристике и учете таких компонентов систем, как среда, человеческие факторы, организация и управление и т.д.

Особо отметим, что в последние годы системный подход находит отражение в программах подготовки инженерных кадров, а также в соответствующей учебной литературе.

Так, авторы учебника для вузов по эксплуатации машинно-тракторного парка А.А. Зангиев, Г.П. Лышко, А.Н. Скороходов [18] подчеркивают необходимость и целесообразность применения принципов системного подхода к вопросам ресурсосберегающего использования агрегатов, технологических комплексов и машинно-тракторного парка. При этом сделан вывод, что «... дальнейшее развитие курса ЭМТП основывается на углублении принципов системного подхода...»

Хорошее, на наш взгляд, учебное пособие по направлению «Агроинженерия», посвященное применению принципов системного подхода, издано профессором И.Я. Федоренко [49].

Разработка и реализация методологии системного подхода применительно к некоторым важным проблемам механизации сельскохозяйственного производства нашли отражение в работах многих ученых, например, А.Г. Акчурина, Б.Д. Докина, Б.И. Кашпуры, Н.В. Краснощекова, А.М. Крикова, Ю.Ф. Лачуги, В.В. Лазовского, Э.И. Липковича, Е.А. Лисунова, Л.М. Пилюгина, М.С. Рунчева, Г.Е. Чепурина и др. [2, 4, 15, 22, 23, 25-28, 30, 31, 35, 36, 43, 46, 51 и др.].

С позиций системного подхода проведено довольно много исследований по надежности и обеспечению работоспособности техники при выполнении механизированных процессов в растениеводстве и животноводстве (ссылки на используемые нами работы будут даны в следующей главе).

Сделанные нами краткие ссылки на работы авторитетных ученых имеют своей целью убедить читателя в том, что системный подход является наиболее эффективной и продуктивной методологической основой исследований в области машиноиспользования.

Однако одновременно надо подчеркнуть, что применение идей системного подхода к разработке и исследованиям конкретных систем в области механизированного сельскохозяйственного производства в методологическом отношении требует дальнейшего и ускоренного развития.

При этом автор выражает надежду и полагает, что данная монография в определенной мере послужит целям этого развития применительно к проблеме повышения надежности и эффективности технологических систем машиноиспользования в растениеводстве.

### **1.3. Общая концепция формирования технологической системы машиноиспользования в процессах растениеводства**

Основой организации машиноиспользования в растениеводстве являются механизированные формирования – технологические комплексы машин, создаваемые для выполнения отдельных или нескольких взаимосвязанных производственных технологических процессов [27, 28, 44].

Необходимым условием, определяющим успех такой организации производственных процессов и использования техники, стал комплексный подход к их обеспечению и осуществлению. Наряду с собственно технологиче-

ским процессом и комплексом машин важным элементом здесь является трудовой коллектив исполнителей, а также среда, т.е. основные внешние условия.

Названные выше элементы в своей совокупности представляют собой своеобразную технологическую систему механизированного производственного процесса.

Надо сказать, что в литературе по сельскохозяйственному производству термин «технологическая система» применяется довольно широко, причем им обозначаются самые различные объекты. Иногда так называют системы земледелия в целом, особенно по отдельным зонам. Говорят о технологических системах в отношении производства определенного вида сельскохозяйственной продукции. Наиболее часто этот термин применяется для обозначения группы машин, выполняющих некоторый технологический процесс. Отдельный агрегат также представляет собой технологическую систему. С точки зрения общей теории систем в этом нет принципиального противоречия, так как в окружающем нас мире можно выделить бесчисленное количество систем.

Однако требуется, чтобы системы выделялись достаточно четко и определенно, по крайней мере, в такой степени, чтобы их можно было хотя бы однозначно понимать. Одновременно можно отметить, что уже намечаются тенденции выделения некоторых типовых технологических систем.

На наш взгляд, более всего есть основания выделить как типовую именно технологическую систему машиноиспользования для процесса растениеводства (ТСМПР).

В доказательство этого положения используем опыт отраслей машиностроения и приборостроения, для которых термин «технологическая система» определен стандартом (ГОСТ 27-004-85 [13]).

Используя аналогичный подход, мы даем следующее определение: **технологическая система машиноиспользования в процессах растениеводства – это взаимосвязанная совокупность сельскохозяйственной техники, обрабатываемого материала и исполнителей, предназначенная для выполнения в условиях производства заданного технологического процесса в соответствии с агротехническими и другими нормативными требованиями.**

Из этого определения следует, что на первом уровне данная технологическая система состоит из трех основных элементов (подсистем). Мы их выделили и обозначили следующим образом:

1. Производственный технологический процесс (ПТП).
2. Технологический комплекс машин (ТКМ).
3. Первичный трудовой коллектив (ПТК).

Под элементом здесь понимается подсистема, внутреннее строение которой на данном этапе не рассматривается.

Сделаем оговорку о том, что предлагаемый нами вариант строения ТСМПР (включая состав элементов, связей и структуру в целом) – это авторская версия, использованная в наших исследованиях. При этом главное внимание уделяется подсистеме ТКМ, т.е. проектирование и эксплуатация системы рассматриваются, прежде всего, с позиций улучшения машиноиспользования. В то же время нам представляется, что такой подход характеризуется некоторой общностью и может быть полезен для использования другими авторами.

В этом ключе продолжим рассмотрение структуры ТСМПР.

**Производственный технологический процесс** как элемент системы – это исходный технологический матери-

ал и способ его обработки, включающий взаимосвязанную совокупность более простых операций, выполняемых, как правило, одновременно.

Прежде всего ПТП включает исходный технологический материал с его физико-механическими и технологическими свойствами. Способ обработки предусматривает выполнение комплекса операций, но обязательно технологически взаимосвязанных. Одновременное их выполнение является преимущественным, однако (в общем случае) может быть разрыв во времени в пределах агротехнически допустимых сроков.

Можно отметить, что данное определение не абстрактно, а имеет реальные физические основы. Например, если технологическая система предназначена для посева зерновых культур, то ПТП будет включать: исходный материал (почву, семена, удобрения), одновременно проводимые операции по предпосевной подготовке почвы, собственно посев и послепосевную обработку.

При уборке зерновых культур операция скашивания в общем случае может осуществляться не одновременно с обмолотом, однако технологически эти операции тесно связаны, и разрыв во времени обусловлен именно технологией. Процессы уборки соломы и вспашки зяби могут быть включены в ПТП, но могут остаться и за его рамками, т.к. здесь связь менее жесткая, и решение этого вопроса зачастую зависит в основном от хозяйственных условий. Транспортировка же урожая обязательно является элементом ПТП.

**Технологический комплекс машин** – это совокупность технологических и обслуживающих машин, взаимосвязанных по основным параметрам и обеспечивающих выполнение заданного производственного технологического процесса на основе прогрессивных организационных форм использования техники.

Главным признаком, таким образом, здесь выступает функциональное объединение машин в связи с выполняемым технологическим процессом. Наряду с технологическими машинами в комплекс входят средства инженерно-технического обслуживания и обеспечения.

Определение ТКМ как элемента системы по существу совпадает с общепринятым в технической литературе, да и на практике пониманием комплекса машин как одной из современных организационных форм использования сельскохозяйственной техники [27, 44].

**Первичный трудовой коллектив** – это коллектив механизаторов и других работников, непосредственно занятых выполнением заданного технологического процесса, с помощью машин технологического комплекса, объединенных общей производственной целью [например, 34].

Изложенная концепция технологической системы позволяет характеризовать ее, на наш взгляд, как типовую при производстве продукции растениеводства и организации использования техники.

Конечно, здесь возможны многочисленные варианты. Границы и конкретное содержание ТСМПР могут значительно изменяться. Это обусловлено рядом объективных причин, в числе которых можно назвать следующие:

- многообразие выполняемых механизированных технологических процессов, а также различных их комбинаций при производстве продукции растениеводства;
- сложность взаимосвязей между отдельными группами машин и исполнителей в выполняемом технологическом процессе;
- неоднозначность определения границ системы как в плане ее внутреннего строения, так и с точки зрения взаимодействия со средой.

Вместе с тем, можно сказать, что принципиальная структура, характер и основные закономерности взаимо-

действия при функционировании различных технологических систем в основном сохраняются.

В этой концепции также отражается необходимость системного (комплексного) подхода к решению задач повышения эффективности использования сельскохозяйственной техники, более полного учета не только технических, но и многих других факторов.

Учитывая эту типичность и общность рассматриваемой технологической системы (ТС), целесообразно рассмотреть общие подходы к ее проектированию, осуществить более детальную разработку и анализ ее с позиций системного подхода и общих методологических основ исследования сложных систем. Наиболее четкое и наглядное представление о системе дает ее морфологическое описание, которое включает состав элементов, системообразующие связи, структуру, основные факторы среды.

#### **1.4. Основные элементы технологической системы, границы системы и среды**

Осуществим более детальное формирование и описание технологической системы машиноиспользования в процессах растениеводства (ТСМПР), рассматриваемой нами в качестве наиболее типичной и определяющей эффективность эксплуатации сельскохозяйственной техники.

На первом уровне ТСМПР включает 3 элемента (далее подсистемы): производственный технологический процесс (ПТП), технологический комплекс машин (ТКМ), первичный трудовой коллектив (ПТК).

Определение состава элементов второго уровня осуществляем, исходя из соображений целесообразного сочетания широты охвата вопросов (что необходимо при системном подходе) и глубины их анализа. Элементы первого уровня теперь уже фигурируют как подсистемы.

Подсистему ПТП представляем состоящей из двух элементов:

1. Свойства исходного технологического материала (СИМ). Сюда включаются основные физико-механические, технологические и другие свойства, которые имеют существенное значение и учитываются при характеристике исходного материала.

2. Способ обработки исходного материала (СОМ). Это по существу совокупность более простых технологических операций и порядок их чередования при выполнении заданного ПТП.

В подсистеме ТКМ выделяем четыре элемента:

1. Основные технологические машины (ОТМ), куда включаются машины и машинные агрегаты, выполняющие основной технологический процесс (например, посев, подбор валков зерновых культур, уборку кормовых культур и т.п.).

2. Вспомогательные технологические машины (ВТМ). Здесь объединяются машины (агрегаты) для выполнения технологических процессов, предшествующих основному или последующих за ним в соответствии с принятым способом обработки материала.

3. Сборочно-транспортные средства (СТС), обеспечивающие сбор и перевозку урожая или других технологических материалов (в соответствии с заданным ПТП).

4. Материально-технические средства и организационную систему по восстановлению работоспособности машин технологического комплекса, т.е. техническое обслуживание и эксплуатационный ремонт (ТОР).

Подсистему ПТК представляем расчлененной на 4 элемента (основные факторы):

1. Состав и квалификация кадров механизаторов и других работников, входящих в первичный трудовой коллектив (СКК).



2. Организация и оплата труда (ООТ).

3. Морально-психологические факторы (МПФ). Это комплекс так называемых «человеческих» факторов, непосредственно влияющих на эффективность работы техники и функционирования технологической системы в целом.

4. Культурно-бытовые условия (КБУ), их материальное и организационное обеспечение.

Аналогично можно осуществить и дальнейшее расчленение этих элементов, которые будут являться уже подсистемами 3-го уровня, однако это неизбежно приведет к усложнению структуры системы. Целесообразность этого определяется в каждом конкретном случае в зависимости от решаемых задач.

Дальнейшую детализацию в строении ТСМПР для проводимых нами исследований мы не осуществляли, и в этой работе не приводим. Отметим только, что подсистемы технологического комплекса машин (ОТМ, ВТМ, СТС, ТОР) состоят из машинных агрегатов.

Расчленяя подсистемы указанным образом, естественно, нельзя утверждать, что это должно быть именно так. Об этом мы уже говорили. На наш взгляд, в системе выделены те элементы (подсистемы), которые имеют наибольшее значение, ибо без них трудно построить технологическую систему в целом, или провести достаточно глубокий анализ ее функционирования.

Одновременно еще раз подчеркнем, что центральное место мы отвели подсистеме ТКМ и ей в данной монографии будет уделено основное внимание. В этом заключается особенность нашего подхода. Даже в определении технологической системы (ТСМПР) это подчеркнуто включением термина «машиноиспользование» (в отличие от систем земледелия, например, или производства продукции растениеводства).

Однако проектирование и функционирование ТСМПР (и подсистемы ТКМ, в частности) необходимо рассматривать в тесном взаимодействии с подсистемами ПТП и ПТК, а также с учетом параметров и основных факторов среды.

Состав элементов во многом определяет и границы системы. Однако здесь важным остается уточнение ее среды. На методологических аспектах определения среды системы следует остановиться более подробно. Прежде всего это необходимо с точки зрения уточнения границ системы, а также установления наиболее существенных связей системы и среды.

Понимание системы нельзя считать определенным, не сформулировав точного понимания среды. «В системном исследовании мы, строго говоря, имеем дело не с анализом системы самой по себе, а всегда исследование системы вместе с исследованием относящейся к ней среды» [45].

В данном случае специфика состоит в том, что среда активна и непосредственно влияет на функционирование технологической системы. В этом, пожалуй, заключается одна из основных отличительных черт технологических систем машиноиспользования в растениеводстве.

К задаче определения среды системы, как правило, выделяют два подхода:

- среда – это все то, что не входит в систему (просто окружающая среда);
- среда системы – это все, что нас интересует в окружающей среде с точки зрения влияния ее на работу системы.

Второй подход является более конструктивным и результативным, особенно с практической точки зрения. При анализе ТСМПР должен быть именно такой подход, учитывая тесную взаимосвязь системы и среды. Таким образом, «среда системы» – это наиболее существенные свя-

зи технологической системы с окружающим миром. В общем виде – это природные и организационно-хозяйственные факторы, влияющие на работу технологической системы.

Говоря о методологии выделения среды системы, целесообразно остановиться еще на двух моментах. Граница между системой и средой не является незыблемой и неизменной (даже на весь период исследований). И второй момент: выделяя существенные связи среды и системы, нельзя строго гарантировать, что учитывается все необходимое для описания и понимания данной системы. Субъективно здесь проявляется определенное суживание понятий среды: во-первых, мы выделяем то, что представляет (по нашему субъективному мнению) интерес, а во-вторых, обычно то, что можем как-то зафиксировать.

С учетом указанных методологических подходов и на основе имеющихся знаний о механизированных процессах нам представляется целесообразным выделить следующие элементы (параметры) среды:

- нормообразующие факторы сельскохозяйственного поля – НФ (размер, рельеф, конфигурация, тип и удельное сопротивление почвы и т.п.);
- метеорологические условия – МУ (влажность, температура и др.);
- обеспеченность материальными и трудовыми ресурсами – ОР (наличие техники, кадров, обеспеченность необходимыми материалами: топливом, семенами, удобрениями и др.);
- руководящие установки – РУ (планы, задания, оперативные указания и т.п.).

Отметим, что к среде отнесены не только природные факторы (что можно предполагать прежде всего), но и различные организационно-хозяйственные условия.

Проведенная структуризация ТСМПП представляет собой необходимую и целесообразную, так как она способствует установлению закономерностей взаимодействия системы и среды, на основе которых можно обеспечить рациональное формирование технологической системы, надежное и эффективное ее функционирование.

Состав элементов и схема иерархического строения ТСМПП показаны на рис. 1.1.

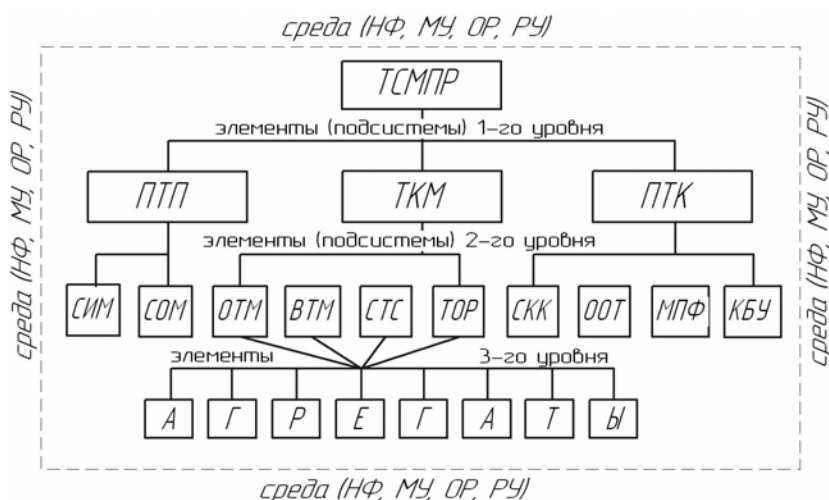


Рис. 1.1. Состав элементов и схема иерархического строения ТСМПП

### 1.5. Характеристика основных взаимосвязей в технологической системе

Интуитивно ощущается многочисленность и сложность взаимосвязей в рассматриваемой технологической системе. Нет необходимости, да это и невозможно, проанализировать все многообразие связей, но представляется необходимым выделить и рассмотреть основные (системообразующие) связи.

Заметим, что в большинстве публикаций, касающихся работы машинно-тракторных агрегатов и комплексов машин, действующие связи в явном виде обычно не обозначались, хотя исследования в значительной мере по существу отражали взаимосвязи в изучаемых объектах.

Рассмотрим два основных аспекта, характеризующих взаимосвязи в ТСМПР:

- выделение и обозначение в принципе основных системообразующих связей;
- определение их места во взаимодействии выделенных элементов технологической системы и среды.

На основе анализа процесса функционирования реальных технологических систем считаем целесообразным выделить следующие виды основных связей в ТСМПР: 1) строения и состава; 2) изменения состояния; 3) обработки технологического материала; 4) передачи обработанного материала; 5) переноса технологического материала или продукта; 6) информации; 7) управления.

Считаем, что эти связи проявляются при взаимодействии как между элементами, так и элементов (и системы в целом) со средой. Рассмотрим кратко существо названных связей, характер их проявления и влияния на систему.

Связи строения и состава определяют количественный и качественный состав элементов и в целом всей системы. Анализ и учет этих связей особенно необходимы на стадии проектирования технологической системы.

Центральное место среди факторов, определяющих связи строения и состава (т.е. формирование системы), занимает собственно технологический процесс, который определяет в основном качественную сторону системы, ее принципиальную сущность. Количественные показатели системы зависят в большей мере от факторов среды: обеспеченности ресурсами (ОР), метеорологических условий (МУ), руководящих установок (РУ), куда мы относим и

объем задания системе, а также от нормообразующих факторов (НФ), которые определяют производительность агрегатов и, следовательно, потребное их количество.

Связи второго вида приводят к изменению состояния взаимодействующих элементов. Имеется в виду состояние по отношению к основной функции – выполнению заданного ПТП (пример состояний: работоспособное, неработоспособное, выполнение производственной функции, простой и т.п.).

С точки зрения надежности функционирования ТСМНР эти связи будут в последующих разделах предметом особого внимания. В частности, этому посвящена следующая глава, где рассматриваются методологические подходы к надежности технологической системы.

Связи обработки технологического материала отражают не только сам факт выполнения системой основной функции, но в значительной мере качественную сторону процесса.

Связи передачи обработанного материала действуют главным образом во времени. Например, агрегаты, осуществляющие предпосевную обработку, «передают» подготовленную для посева почву посевным агрегатам. Более очевидными примерами действия этой связи являются операции погрузки и разгрузки технологического материала (продукта системы).

Связь переноса материала существует и во времени, и, главное, в пространстве. Наглядным примером этой связи является транспортировка материала, например, урожая.

В процессе функционирования системы все виды связей тесно переплетаются, взаимодействуют и влияют друг на друга. Если, например, нарушена связь переноса материала (недостаточно транспортных средств в системе), то сразу меняется ее состояние (простой основных технологических машин), включаются связи информации и

управления, приводящие к изменению состава системы или изменению ее состояния.

Связи вида 3, 4, 5 характеризуют взаимодействие машин в подсистеме ТКМ. Будем считать их технологическими связями, поскольку они обусловлены непосредственно выполнением технологического процесса.

Связи информации и управления действуют зачастую одновременно, т.к. управленческие сигналы поступают на основе информации и в форме информации. Однако функционально их лучше разделить.

В физическом смысле все выделенные и названные связи имеют своей основой передачу в процессе взаимодействия энергии, вещества или информации.

Рассмотрим далее выделенные связи для подсистем первого уровня. Они изображены на рис. 1.2. Верхняя область рисунка представляет среду, а нижняя – систему. Связи изображены в виде векторов, указывающих направление их действия, и обозначены цифрой, соответствующей номеру вида связи (в том порядке, как мы их обозначили). Для внутренних связей индексами (1, 2, 3) обозначены номера соответствующих подсистем.

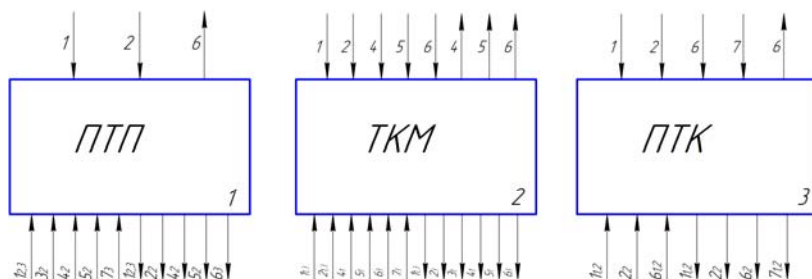


Рис. 1.2. Основные связи в ТСМПР

На втором уровне более подробное рассмотрение внутренних и внешних взаимосвязей осуществляем только для подсистемы технологический комплекс машин (ТКМ).

Внутренние связи в подсистемах ПТП и ПТК являются специфическими, они не ограничиваются только выделенными типами связей. Вместе с тем, они не являются системообразующими, и их анализ не входит в задачу данного исследования и обобщения. Мы этих связей будем касаться только частично. Таким образом, внутренняя структура подсистем ПТП и ПТК нами не рассматривается. Здесь учитываются только их внешние связи, определяющие взаимодействие с подсистемой ТКМ и средой в целом.

Подсистема ТКМ включает четыре элемента (подсистемы) второго уровня: ОТМ, ВТМ, СТС, ТОР. Их мы, соответственно, обозначили числом из двух цифр, первая из которых указывает порядковый номер подсистемы ТКМ на первом уровне (цифра 2), а вторая – номер элемента в этой подсистеме (цифры 1, 2, 3, 4).

На основе анализа функционирования подсистемы ТКМ (а также ТСМПР в целом) была установлена сеть внутренних и внешних связей для нее, которая показана на рис. 1.3. Цифры, обозначающие номер связи, имеют индексы, которые показывают номера подсистем первого уровня

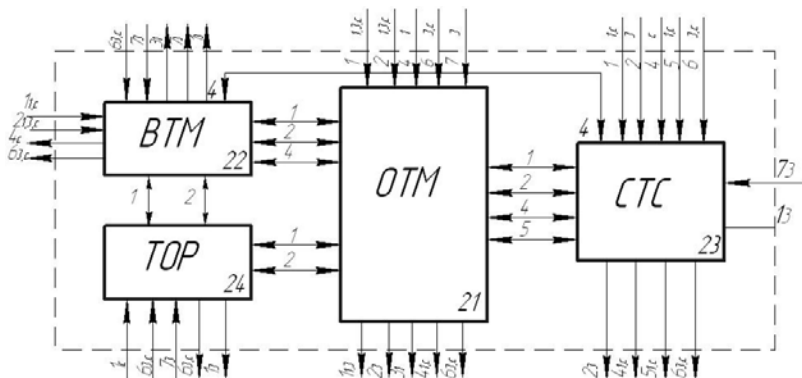


Рис. 1.3. Связи взаимодействия в подсистеме  
«Технологический комплекс машин»



(а также среду) куда (или откуда) направлена эта связь (среда обозначена буквой «с»).

Выделение взаимосвязей в системе, выбор способа и глубины их анализа, конечно, носят субъективный характер. В качестве эксперта здесь выступает сам автор, который опирается на собственные знания и опыт, а также на публикации, которые он использует.

В представленном варианте отражается, прежде всего, наша (авторская) позиция, расширенная в определенной степени с целью удовлетворения возможных потребностей других исследователей, где объектом анализа выступают аналогичные технологические системы.

### **1.6. Структура технологической системы и методические подходы к ее анализу**

Как известно, структура системы – это ее организация из отдельных элементов с учетом их взаимосвязей. Другими словами – это способ создания целого из составляющих частей.

Структура ТСМПР, включая подсистемы первого уровня и с учетом элементов второго уровня для подсистемы ТКМ, а также всю схему внутренних и внешних взаимосвязей, представлена на рис. 1.4. Структура технологической системы свидетельствует о значительной сложности взаимосвязей, особенно в подсистеме ТКМ. Все виды связей проявляются в процессе ее функционирования, наряду с прямыми имеются и обратные связи.

По существу, показанная на рис. 1.4 структура представляет собой структурную модель ТСМПР. Она является своеобразной основой для исследования (анализа) процессов проектирования и функционирования системы. Полученная структурная модель во многом способствует раскрытию физической (содержательной) стороны процесса функционирования ТСМПР.

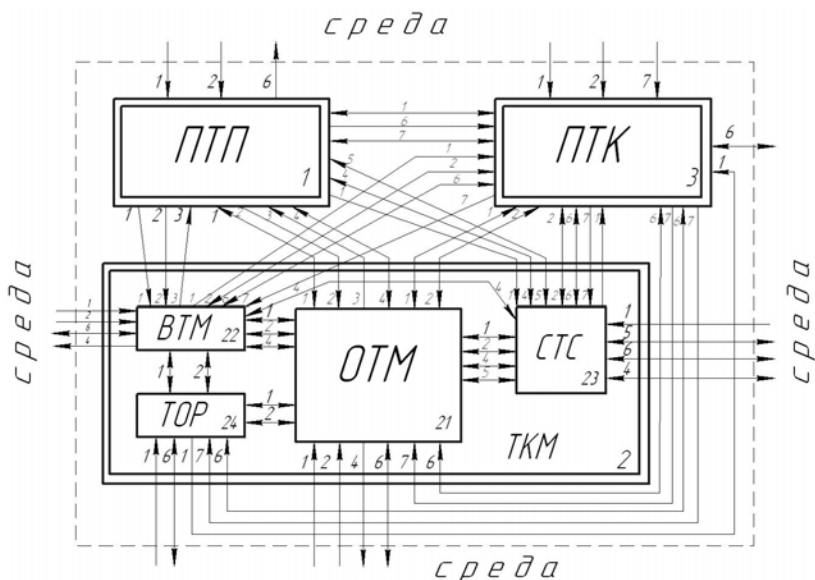


Рис. 1.4. Структурная модель ТСМІР

Одним из проявлений системного подхода, как было отмечено ранее, является представление объекта исследования как системы. Конечно, совершенно недостаточно просто сказать, что объект исследований представляет собой систему, хотя такие ссылки часто встречаются в литературе. Что же является достаточным для представления системы? Для этого необходимо определить структуру системы, внутренние и внешние связи, определить границы системы и среды и т.д. Без такого определения «... утверждение о том, что нечто есть система, лишается точного смысла» [29]. По существу эти условия в необходимом и достаточном объеме нами выполнены.

Другое проявление системного подхода – это учет в процессе анализа (исследования) всех основных факторов в их взаимосвязи, включая этапы проектирования и эксплуатации системы, т.е. основные этапы «жизненного цикла» системы.

Сделаем краткий схематический анализ взаимосвязей элементов и среды системы, используя полученную структурную модель (см. рис. 1.4) и некоторые известные в теории систем положения [9, 34]. При этом принимаем следующие условия (ограничения):

- взаимодействие между технологической системой и средой осуществляется только посредством выделенных видов связи. При этом среда выступает также как некоторый элемент (подсистема);

- входные сигналы той или иной связи поступают к элементам по одиночным (индивидуальным) каналам, причем каждому входу соответствует своя «клемма».

К выходной клемме может быть подключено несколько каналов взаимосвязи одного вида. В данном случае число выходных клемм для каждой подсистемы равно числу видов выходящей связи. Например, для подсистемы ПТП в соответствии со структурной моделью число выходных клемм будет равно пяти (соответственно для связей вида 1, 2, 4, 5, 6).

Каждая  $i$ -я клемма предназначена для приема элементарных сигналов –  $X_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ).

Структура связей между подсистемами и средой, таким образом, определяется набором (суммой) реализованных каналов взаимосвязи.

Вводя однозначный оператор  $Y_i = R(X_i)$  с областью определения в данном множестве, можно получить схему (матрицу) сопряжения всех элементов (подсистем). В данном случае она представлена в форме табл. 1.1. В ней на пересечении строк ( $j$ ) с принятыми нами номерами подсистем (среда обозначена цифрой 4) и столбцом с номерами контактов ( $i$ ) располагаются два числа: первое из них (числитель) указывает подсистему, а второе (знаменатель) – тип взаимосвязи (которая подается на данный контакт –  $X_i$ ). Номера контактов определены по схеме (см. рис. 1.4) в

порядке обхода каждой подсистемы по часовой стрелке, начиная с верхней четверти. Максимальное количество входящих связей (равное 19) оказалось у подсистемы «Основные технологические машины» (обозначена 21).

В табл. 1.1 хотя и нет принципиально новой информации о взаимосвязях в системе (по отношению к рис. 1.4), однако она дает некоторые другие возможности для анализа.

Таблица 1.1. Матрица взаимосвязей в ТСМПР

Подсистема (i)	Номер входных сигналов связи (контакты - i)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	4/1	4/2	3/1	3/7	23/5	23/4	21/4	21/3	21/1	22/3									
21	1/1	1/2	1/4	3/1	3/2	23/1	23/2	23/4	23/5	2/6	3/7	4/6	4/2	4/1	24/2	24/1	22/4	22/2	22/1
22	1/1	1/2	3/2	3/6	3/7	23/4	21/1	21/2	21/4	24/2	24/1	4/6	4/2	4/1					
23	1/1	1/4	1/5	3/2	3/6	3/7	4/1	4/5	4/6	4/4	21/5	21/4	21/2	21/1					
24	21/1	22/2	21/1	21/2	3/6	3/7	4/6	4/1											
3	4/1	4/2	4/7	4/6	24/1	24/6	21/6	23/1	23/6	23/2	21/2	21/1	22/6	22/2	22/1	1/6	1/1		
4	1/6	3/6	23/5	23/6	23/4	21/6	21/4	24/6	22/4	22/6									

Так, связь, обозначенная цифрой 1, указывает влияние на строение и состав системы. Из таблицы следует, что применительно к основным технологическим машинам (подсистема 21) все другие подсистемы (включая среду) влияют на состав этих машин. Задача последующих исследований и данного обобщения – возможно полнее изучить и отразить это влияние.

Анализ структурной модели системы можно провести также, используя теорию графов. Она дает некоторые общие формальные приемы исследования конкретных физических систем. Особенно важны такие методы и приемы для анализа сложных систем, содержащих разнородные элементы. Множество элементов считаются вершинами графа, а множество связей между ними – ребрами.

По существу табл. 1.1 представляет собой матрицу отношений ориентированных графов, вершинами которых

являются контакты, а ребрами – элементарные каналы взаимосвязи.

В качестве примера на рис. 1.5 показан граф связи строения и состава элементов ТС.

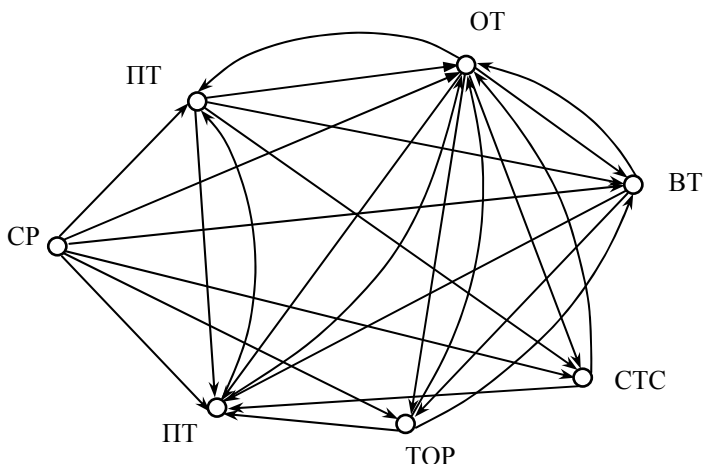


Рис. 1.5. Граф связи строения и состава TSCMPR

Можно отметить следующее. На строение и состав, например, подсистемы ТКМ, так же как и на ее состояние, влияют (через прямые непосредственные связи) все другие подсистемы, а также среда (в матрицах обозначена цифрой «4»). Таким образом, при исследовании надо находить способы фиксирования, оценки и учета влияния основных факторов и их взаимосвязи при проектировании, создании и функционировании технологической системы.

Рассматривая структуру системы, целесообразно несколько слов сказать о ее сложности. Интуитивное представление о сложности системы связано с характером протекающих в ней процессов, количеством элементов, разветвленностью связей между ними. Исходя из таких представлений, рассматриваемая технологическая система, безусловно, является сложной.

Количественная оценка сложности систем отражает число элементов и связей в системе. Условность такой оценки очевидна, а других приемлемых методов пока нет. На наш взгляд, количественная оценка сложности уместна вообще только для аналогичных систем. Оценивать по этому показателю разнородные системы во всех случаях вряд ли целесообразно. Однако наши попытки разработать нужную методику также пока не дали требуемого результата.

### **1.7. Классификационные признаки и общесистемные характеристики ТСМПР**

Изложенное морфологическое описание ТСМПР целесообразно дополнить еще некоторыми положениями. В литературе по системным исследованиям фигурирует значительное количество различных характеристик систем. Приведем некоторые из числа основных, чтобы полнее охарактеризовать выделенный класс технологических систем [9, 16, 21 и др.].

ТСМПР является сложной динамической системой. Динамический характер ее определяется изменчивостью состояний во времени. Система является открытой, так как она активно взаимодействует со средой. Поскольку изменения большинства входных сигналов имеют вероятностный характер, система будет стохастической.

Особо подчеркнем то, что рассматриваемая ТС относится к классу так называемых эрготехнических систем, так как она включает в себя в качестве подсистемы первого уровня «первичный трудовой коллектив». Учет «человеческих факторов», наряду с важностью и значимостью, представляет в данном случае и значительные трудности.

Таким образом, обобщая сказанное, относим технологическую систему машиноиспользования в процессах

растениеводства к числу **сложных, динамических, открытых, стохастических, эрготехнических.**

Учитывая, что в производственных условиях можно выделить большое число конкретных технологических систем, предпринимаем попытку определенным образом их классифицировать. При выборе признаков классификации исходим из того, что каждый признак должен достаточно определенно характеризовать технологическую систему и отражать одно из существенных свойств ее организации или функционирования. Одновременно количество этих признаков и в целом классификация не должны быть чрезмерно громоздкими и усложненными. Также целесообразно не вводить новую, а использовать в основном принятую терминологию по классификации агрегатов, производственных процессов и других понятий в области машиноиспользования [11, 18, 19 и др.].

Исходя из этих соображений, предлагается следующая классификация ТСМПР:

1. По хозяйственному уровню организации и управления:
  - межхозяйственные;
  - общехозяйственные;
  - производственного подразделения;
  - фермерского хозяйства.
2. По виду основного технологического процесса:
  - основной обработки почвы;
  - посевные;
  - кормозаготовительные;
  - уборочные;
  - другие (в соответствии с назначением основного технологического процесса).
3. По способу организации производственного процесса:
  - поточные (непрерывные);
  - прерывно - поточные;
  - последовательные.

4. По виду и наличию резервов технических элементов:
  - с резервированием деталей и отдельных агрегатов;
  - с резервированием полнокомплектных машин;
  - со смешанным резервированием.
5. По способу организации сборочных (распределительных) и транспортных процессов:
  - с полным разделением;
  - с частичным разделением;
  - с совмещенными процессами.

Мы ограничили признаки классификации указанными, хотя можно было бы выделить и другие. Но они не относятся (по нашему мнению) к числу основных, а имеют вспомогательный характер. Хотя нельзя утверждать, что приведенная классификация бесспорна или тем более окончательна.

### **1.8. Некоторые методические подходы к исследованию ТСМНР с учетом стохастического характера и неопределенности систем**

Исследование сложных систем с позиций системного подхода не имеет какого-либо строгого перечня конкретных приемов. Наоборот, в литературе отмечается, что здесь диапазон применяемых методов чрезвычайно широк, от эвристических и логических до использования строгого математического аппарата.

Анализ возможных подходов и методов исследования сложных систем в целом не входит в нашу задачу. Считаем необходимым отметить только некоторые особенности и приемы, характерные для наших исследований, и используемые в данной монографии.

В ряде случаев для описания и анализа систем применяется так называемый терминальный подход, т.е. более



строгое (формализованное) представление отдельных связей и процессов в системе.

Такой подход в нашем исследовании и обобщении применялся только для анализа некоторых элементов (подсистем). Однако в целом для ТСМПР, где в сложных взаимоотношениях находится большое число разнородных элементов, найти такой способ аналитического описания, чтобы он адекватно отражал поведение системы, является на данном этапе, вероятно, недоступной задачей.

Примером аналитического исследования в данном случае является предпринятая попытка получить аналитическую модель зависимости потерь урожая от продолжительности выполнения процессов.

Чаще всего мы используем целенаправленный подход и определенные упрощения при анализе системы. Целенаправленность подхода в данном случае выражается в том, что при проектировании или анализе функционирования технологических систем (а также отдельных подсистем и элементов) главное внимание обращается на обеспечение работоспособного состояния системы, когда она выполняет производственную функцию наиболее надежно (производительно и эффективно). С этих позиций излагается следующая глава, посвященная надежности ТСМПР.

При исследовании ТСМПР целесообразно использовать различные способы упрощений: декомпозицию (разделение системы на подсистемы или элементы), процедуры редукции и свертывания. Первая из них связана с мотивированным отбрасыванием части компонентов системы, а вторая - с реорганизацией структуры. Примером свертывания (при упрощении) является рассмотрение в ряде случаев вместо всей технологической системы отдельного машинного агрегата (на примере анализа его надежности).

Одним из эффективных методов исследования сложных систем является моделирование, в частности, ста-

тистическое (имитационное). При этом как бы воспроизводится сам процесс. В этом смысле этот тип моделирования близок к натурному эксперименту, однако требует значительно меньших затрат труда и средств, а в ряде случаев полномасштабный эксперимент просто невозможен [26].

Мы применяли имитационное моделирование сначала для исследования взаимодействия зерноуборочных комбайнов и транспортных средств, а затем и для анализа такого взаимодействия с транспортом безбункерных кормоуборочных машин. Более подробно этот метод рассматривается в главе 4 и в специальной литературе [26].

Стохастический характер системы позволяет учесть применение так называемого принципа стохастического детерминизма. Такое название этот принцип получил потому, что он опирается на устойчивость результатов массовых случайных явлений. Это нами используется при изучении надежности отдельных машин, агрегатов и ТСМПР в целом, а также некоторых элементов уборочных и транспортных процессов.

Одной из важнейших особенностей ТСМПР является наличие неопределенностей, которые значительно затрудняют решение вопросов проектирования, организации и функционирования технологических систем. Неопределенность в разной степени характерна, пожалуй, для любых сложных систем. Однако в данном случае, в силу специфики сельскохозяйственного производства, она проявляется наиболее существенно.

Каков характер неопределенности ТСМПР? В основном она связана с неопределенностью некоторых параметров (характеристик) среды. И прежде всего надо назвать неопределенность метеорологических (погодных) условий. Это неизбежно обуславливает неопределенность изменения соответствующих факторов, непосредственно

связанных с проектированием и эксплуатацией технологических систем.

Наиболее существенно метеорологические условия влияют на календарные сроки и продолжительность выполнения технологических процессов, урожайность культур, свойства обрабатываемого материала, на производительность машинно-тракторных агрегатов и потребность в них.

Во многих случаях неопределенность проявляется в расчете потребности и в обеспечении ресурсами, среди которых главное значение имеют техника и людские ресурсы. Здесь проявляется не только неопределенность метеорологических условий, но также не всегда точно известны и возможности выделения ресурсов в технологическую систему.

Даже не рассматривая все факторы неопределенности, можно сделать вывод, что **неопределенность в ТСМНР – это объективная реальность, которую недооценивать или игнорировать нельзя.**

Следовательно, надо всемерно развивать и совершенствовать методы, позволяющие наиболее правильно оценить или учесть влияние неопределенностей на технологическую систему. Методологические подходы к этому вытекают из теоретической характеристики неопределенности системы, которую обычно принято оценивать величиной ее энтропии  $H(x)$ :

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i, \quad (1.1)$$

где  $P_i$  – вероятность  $i$ -го состояния системы;

$\log_2 P_i$  – логарифм (двоичный) вероятности  $P_i$ .

Таким образом, количественно энтропия (неопределенность) системы равна сумме произведений вероятности различных состояний системы на логарифмы (здесь и далее

имеются в виду двоичные логарифмы) вероятностей этих состояний, взятых с обратным знаком.

Если случайная величина  $x$  принимает  $n$  значений с равной вероятностью ( $P_i$  в этом случае будет равно  $1/n$ ), то энтропия, являющаяся мерой неопределенности, в этом случае будет максимальной:

$$H(x) = (-1/n) n \log (1/n) = \log n \quad (1.2)$$

Таким образом, энтропия дискретной системы в момент времени  $t$  зависит только от числа возможных состояний и их вероятностей. Значит, для уменьшения неопределенности необходимо добиваться положения, при котором число возможных состояний системы будет меньше.

Второе направление уменьшения неопределенности системы – это возможно более точное знание величины вероятностей различных состояний системы.

Например, неопределенность технологической системы значительно уменьшится, если получить дополнительную информацию в виде прогноза погоды на предстоящий период, или, допустим, прогноза урожайности до наступления уборки урожая.

В соответствии с методикой, используемой в теории информации, разность между априорной и апостериорной энтропией равна полученной информации, и она уменьшает степень неопределенности. Если, например, расчетная величина урожая  $x$ , а вероятный прогноз урожая  $y$ , то неопределенность уменьшается на величину информации

$$J = H(x) - H(x/y),$$

где  $H(x/y)$  – условная энтропия системы с учетом прогноза.

Ее условность связана с точностью прогноза. Как известно, полная вероятность события равна:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot P(A / H_i), \quad (1.3)$$

где  $P(H_i)$  – вероятность гипотезы (в данном случае прогноза);

$P(A/H_i)$  – вероятность события  $A$  при гипотезе  $H_i$ .

Последнее представляет собой по существу точность (подтверждаемость) прогноза.

Следовательно, для уменьшения неопределенности важна не только сама попытка прогнозирования величины интересующего фактора, но и точность данного прогноза. В общем случае величина энтропии  $H(X_i/Y_i) = \log_2 P(x_i/y_i)$ , где  $P(x_i/y_i)$  - условная вероятность, зависящая от события  $x_i$ .

Таким образом, реальная возможность уменьшения неопределенности технологической системы связана с получением и использованием дополнительной информации, которая может носить характер прогноза. В этом случае степень уменьшения неопределенности связана с точностью прогноза. Во многих случаях состояние определяющих факторов может быть задано в виде набора возможных вариантов с некоторой вероятностью их осуществления. Меньшее количество вариантов факторов обеспечивает системе большую определенность.

Этот методический прием используется нами при корректировании потребности в уборочной технике и анализе целесообразности маневрирования техникой.

## 1.9. Заключение

В порядке подведения итогов к материалам этой главы выскажем некоторые положения и пояснения.

1. Признаками проявления системного подхода в исследовании являются следующие:

- объект исследования должен представлять собой систему с соответствующим морфологическим и функциональным описанием, с определением границ системы и среды;
- в процессе исследования необходимо рассматривать все основные системообразующие связи.

2. Выделенный и описанный в данной главе класс технологических систем представляет собой, на наш взгляд, наиболее типичный вариант системы машиноиспользования при выполнении процессов растениеводства. Учитывая эту типичность, формирование, описание и анализ системы, изложенные в главе 1, даны с большей степенью детализации, чем требовали поставленные нами задачи и намеченная первоначально программа исследований. И, тем не менее, системный подход обязывает охватить довольно обширный круг вопросов.

Главное внимание планировалось уделить вопросам повышения эффективности машиноиспользования путем совершенствования методов, используемых при изучении связей, определяющих строение и состав систем, их состояние, а также технологические основы взаимодействия различных групп машин в подсистеме ТКМ.

3. Важным методологическим аспектом повышения надежности и эффективности машиноиспользования является необходимость анализа и рассмотрения проблемы не только с позиций чисто технических. Здесь необходимо будет учитывать вопросы агротехники и технологии возделывания культур, организационные формы использования техники, некоторые особенности формирования и организации работы трудового коллектива.

Этим вопросам в наших исследованиях (и в данной монографии) уделено значительное внимание. Главным образом это реализовано через разработку и внедрение практических рекомендаций по инженерно-технологическим проектам, по использованию энергонасыщенных тракторов, по поточно-цикловому методу организации работ, по транспортному обслуживанию уборочных комплексов машин и другим вопросам.

Проявлением системного подхода здесь будет рассмотрение значимости этих факторов (подсистем или эле-

ментов) с позиции их вклада в достижение общей цели системы: повышение ее производительности и обеспечение надежности выполнения заданного объема работы в установленные сроки.

4. Кратко остановимся на вопросах преодоления некоторых общих методологических противоречий системного подхода (в литературе их иногда называют системными парадоксами).

Это, например, относится к представлению и описанию системы. Суть противоречия состоит в том, что для описания системы необходимо разработать все ее подсистемы, для чего, в свою очередь, необходимо довольно детально представлять систему в целом. Аналогичное положение и с исследованием и анализом функционирования отдельных подсистем и системы в целом. Это противоречие в данном случае разрешалось на основе того, что исследования различных технологических систем машиноиспользования в растениеводстве проводились в течение длительного времени. Осуществлялся своеобразный итеративный процесс. Надо иметь в виду, что на стадии обобщения и представления результатов в данной монографии (особенно в части теоретических и общих методологических разработок) мы специально это не подчеркиваем. Опуская некоторые временные характеристики, мы стремились к большей четкости изложения по существу изучаемых вопросов.

В то же время при рассмотрении результатов экспериментов, производственных опытов, а также процессов, связанных с внедрением, мы, как правило, соблюдали хронологическую последовательность отдельных событий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Агарков В.И.* Методологические вопросы развития теории машиноиспользования // *Механизация и электрификация сел. хоз-ва.* – 1977. – № 9. – С. 50 – 54.
2. *Акчурин А.Г.* Системные принципы совершенствования инженерной службы сельхозпредприятий // *Механизация и электрификация сел. хоз-ва.* – 1979. – № 12. – С. 36 – 41.
3. *Баутин В.М.* Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства / В.М. Баутин, В.Е. Бердышев, Д.С. Буклагин и др. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
4. *Бирман В.Ф.* К анализу эффективности использования техники с позиций системного подхода // *Инженерно-техническое обеспечение АПК: сб. науч. тр. / ВНИПТИМЭСХ.* – зерноград, 1987. – С. 78-85.
5. *Блауберг И.В.* Системный подход: предпосылки, проблемы, трудности / И.В. Блауберг, В.Н. Садовский, Э.Г. Юдин. – М.: Знание, 1969. – 48 с.
6. *Блауберг И.В.* Становление и сущность системного подхода / И.В. Блауберг, Э.Г. Юдин. – М.: Наука, 1973. – С. 59, 173, 184.
7. *Бойко Е.И.* Организация технологических систем промышленного производства. – Киев: Наукова думка, 1985. – 168 с.
8. *Большая советская энциклопедия.* – М., 1976. – Т. 23. – С. 463 – 464, 475 – 476.
9. *Бусленко Н.П.* Лекции по теории сложных систем / Н.П. Бусленко, В.В. Калашников, И.Н. Коваленко. – М.: Сов. радио, 1973. – 258 с.
10. *Василенко П.М.* Основы научных исследований / П.М. Василенко, Л.В. Погорелый. – Киев: Выща школа, 1985. – 266 с.



11. *Веденяпин Г.В.* Эксплуатация машинно-тракторного парка / Г.В. Веденяпин, Ю.К. Киртбая, М.П. Сергеев. – М.: Колос, 1968. – 342 с.
12. *Гиг Дж. ван.* Прикладная общая теория систем; пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 730 с.
13. *ГОСТ 27.004-85.* Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения.
14. *Докин Б.Д.* Эффективное использование сельскохозяйственной техники при производстве зерна в Сибири // Техника и оборудование для села. – 2009. – № 8. – С. 7-10.
15. *Докин Б.Д.* Обоснование системы машин с точки зрения системного подхода // Науч. техн. бюл. / Сиб.НИИ механизации и электрификации сел. хоз-ва. – 1978. – № 1. – С. 3-7.
16. *Дружинин В.В.* Проблемы системологии / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов. – М.: Сов. радио, 1976. – 295 с.
17. *Елизаров В.П.* Система машин и технологий для растениеводства / В.П. Елизаров, Н.М. Антышев, В.М. Бейлис // Техника в сел. хоз-ве. – 2009. – № 4. – С. 3-7.
18. *Зангиев А.А.* Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка / А.А. Зангиев, Г.П. Лышко, А.Н. Скороходов. – М.: Колос, 1996. – 320 с.
19. *Иофинов С.А.* Эксплуатация машинно-тракторного парка / С.А. Иофинов, Г.П. Лышко. – М.: Колос, 1984. – 351 с.
20. *Каменский А.С.* Методология системных исследований в сельском хозяйстве. – М., 1984. – 70 с.
21. *Карташов В.А.* Система систем: очерки общей теории и методологии. – М.: Прогресс; Академия, 1995. – 325 с.
22. *Каптура Б.И.* Системный подход: метод. рекомендации разработчикам зональных систем машин для ком-

плексной механизации растениеводства. – Благовещенск, 1983. – Вып. 1. – 60 с.

23. *Каштанов А.Н.* Система технологий и машин для сельскохозяйственного производства России и малотоннажной переработки сельхозпродукции: принципы построения, методика разработки и управления, федеральный и региональный аспекты / А.Н. Каштанов, Л.П. Кормановский, Н.В. Краснощеков. – М.: Информагротех, 1994. – 264 с.
24. *Киртбая Ю.К.* Основные методы проектирования систем для механизации сельского хозяйства / Ю.К. Киртбая, Н.М. Шаров // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1979. – № 6. – С. 51-52.
25. *Краснощеков Н.В.* К анализу функционирования системы «агротехника – машины» // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 1979. – № 6. – С. 51-56.
26. *Криков А.М.* Имитационные модели сельскохозяйственных механизированных систем. Концептуально-алгоритмические основы построения / А.М. Криков // РАСХН. СибИМЭ. – Новосибирск, 1999. – 284 с.
27. *Лазовский В.В.* Устойчивость технологических комплексов в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1986. – 86 с.
28. *Лачуга Ю.Ф.* О стратегии машинно-технологического обеспечения производства с.-х. продукции на период до 2012 года / Ю.Ф. Лачуга, А.А. Ежевский // С.-х. машины и технологии. – 2008. - № 1. – С. 5-10.
29. *Лекторский В.А.* О принципах исследования систем / В.А. Лекторский, В.Н. Садовский // Вопросы философии. – 1960. – № 8. – С. 76.
30. *Липкович Э.И.* Система организации уборочно-транспортно-заготовительного процесса // Вестн. с.-х. науки. – 1981. – № 4. – С. 59-69.

31. *Лисунов Е.А.* Особенности построения технологических систем в сельскохозяйственном производстве // Надежность и ремонт сельскохозяйственной техники. – Горький, 1983. – С. 14-19.
32. *Нечипоренко В.И.* Структурный анализ систем. – М.: Сов. радио, 1977. – 214 с.
33. *Оптнер С.Л.* Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем: пер. с англ. – М.: Сов. радио, 1969. – 215 с.
34. *Первичный трудовой коллектив в сельском хозяйстве (социально-экономические проблемы формирования)* / под ред. В.А. Тихонова. – М.: Экономика, 1979. – 280 с.
35. *Пилюгин Л.М.* Системный подход к технологическому обоснованию комплексной механизации сельскохозяйственного производства // Науч.-техн. бюл. / ВНИИ механизации сел. хоз-ва. – 1989. – Вып. 75. – С. 34-38.
36. *Пилюгин М.М.* Обоснование систем сельскохозяйственной техники. – М.: Агропромиздат, 1990. – 209 с.
37. *Пискарев А.В.* Некоторые вопросы методологии проектирования технологических систем на уборке зерновых культур с учетом неопределенности и вероятностного характера условий // Науч.-техн. бюл. / Сиб. НИИ механизации и электрификации сел. хоз-ва. – 1983. – Вып. 34. – С. 9-13.
38. *Пискарев А.В.* Повышение эффективности и надежности технологических систем механизированных процессов растениеводства. – Новосибирск, 1984. – 88 с.
39. *Пискарев А.В.* Технологические системы машиноиспользования в растениеводстве: формирование и анализ с позиций системного подхода / А.В. Пискарев // Вестн. Алт. ГАУ. – 2009. – № 9. – С. 63-67.
40. *Пискарев А.В.* Особенности системного подхода при анализе и проектировании технологических процес-

сов растениеводства / А.В. Пискарёв // Вестн. Новосибир. ГАУ. – 2009. – №3. – С. 54-59.

41. *Перегудов В.И.* Основы системного анализа / В.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – Томск: Изд-во НТЛ, 1997. – 396 с.
42. *Проблемы методологии системного исследования* / ред. коллегия: И.В. Блауберг и др. – М.: Мысль, 1970. – 455 с.
43. *Рунчев М.С.* На основе комплексных целевых программ и системного подхода // Вестн. с.-х. науки. – 1984. – № 10. – С. 107-111.
44. *Рунчев М.С.* Организация уборочных работ специализированными комплексами / М.С. Рунчев, Э.И. Липкович, В.Я. Жуков. – М.: Колос, 1980. – 223 с.
45. *Садовский В.Н.* Основания общей теории систем. – М.: Наука, 1974. – 279 с.
46. *Скидан Ю.Ф.* Моделирование технологических систем возделывания сельскохозяйственных культур: автореф. дис.... д-ра техн. наук. – Новосибирск, 1989. – 39 с.
47. *Спицнадель В.Н.* Основы системного анализа: учеб. пособие. – СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2000. – 326 с.
48. *Уемов А.И.* Системный подход и общая теория систем. – М.: Мысль. 1978. – 272 с.
49. *Федоренко И.Я.* Проектирование технических устройств и систем: принципы, методы, процедуры: учеб. пособие. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2003. – 282 с.
50. *Флейшман Б.С.* Основы системологии. – М.: Радио и связь, 1982. – 368 с.
51. *Чепурин Г.Е.* Инженерно-технологическое обеспечение процесса уборки зерновых в экстремальных условиях / Г.Е. Чепурин; РАСХН. СибИМЭ. – Новосибирск, 2000. – 228 с.

## **2. НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ, ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ И МЕТОДОЛОГИИ**

### **2.1. Общая концепция надежности технологической системы**

Зародившись первоначально применительно к совершенствованию техники, проблема надежности давно уже вышла за рамки чисто технической и рассматривается в настоящее время в приложении к объектам самой различной природы, структуры и масштабов [52]. Одним из таких объектов являются и технологические системы. Однако проблема надежности выделенного класса технологических систем машиноиспользования в процессах растениеводства с позиций теории и общей методологии пока, на наш взгляд, недостаточно изучена и освещена. В исследованиях по использованию сельскохозяйственной техники до недавнего времени в качестве объектов оценки надежности главным образом были отдельные машины или их элементы. Однако в последние годы появилось много работ, где объектом исследования являются более крупные системы. Так, например, важные вопросы исследования надежности сельскохозяйственной техники с системных позиций рассматривают в своих работах [1, 10, 11, 14, 17, 20, 23, 25, 28, 49, 57, 60 и др.].

В последние годы выполнены и опубликованы ряд диссертационных и других научных работ, где объектом исследования надежности и работоспособности являются комплексы в основном однотипных машин. Эти исследования выполнены, как правило, применительно к отдельным технологическим процессам [15, 61 и др.]. Здесь представляют интерес такие вопросы, как включение в оценку

надежности не только технических, но и технологических отказов, установление связи между надежностью и производительностью агрегатов и другие.

Обеспечению работоспособности сельскохозяйственной техники, технологических систем (или комплексов машин), используемых в растениеводстве, посвящены исследования [2, 4, 9, 13, 32, 33, 34, 47, 65 и др.]. В них отражены в основном вопросы обеспечения работоспособности систем на основе резервирования, специализированного технического обслуживания и других методов.

Все отмеченные работы вносят существенный вклад в развитие методов оценки и обеспечения надежности сельскохозяйственных машин и агрегатов. В некоторых ставится задача оценки надежности технологической системы в целом, с учетом основных факторов. Однако эта задача, как нам представляется, еще далека от требуемого разрешения. Многогранная проблема надежности технологических систем процессов растениеводства требует дальнейшей разработки и реализации, и прежде всего в методологическом плане.

На наш взгляд, необходимо уточнить общую концепцию надежности ТСМПП, обосновать показатели надежности и методические подходы к их определению, найти и определить роль в оценке надежности систем таких факторов, как технологический процесс, трудовой коллектив, погодные условия и др.

Мы не ставили перед собой задачу – найти окончательно ответы на эти вопросы, задача состояла в том, чтобы сделать очередные (дополнительные), но необходимые шаги на этом пути.

Надежность технологических систем стала предметом специальных исследований и научно-технических разработок только в последние десятилетия. Так, А.И. Кубарев отмечает, что исследованием надежности технологиче-

ских систем в СССР начали заниматься в 1974 г., а за рубежом – с 1977 г. [18, 19]. Преимущественное развитие вопросы надежности технологических систем получили в отраслях машиностроения и приборостроения.

Применительно к этим отраслям производства уже разработана некоторая нормативно-техническая документация. Так, основные положения сформулированы в ГОСТ 27.004-85 «Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения». Имеются и другие стандарты [29].

Мы это учитываем, и прежде всего в отношении терминологии. Однако эти документы по существу не отражают специфики сельскохозяйственного производства и обеспечивающих его технологических систем. Их можно рассматривать только в качестве некоторых ориентиров.

Исходя из сущности функционирования ТСМПР формулируем такое определение ее надежности: ***надежность технологической системы машиноиспользования в растениеводстве определяется как ее свойство находиться в работоспособном состоянии и выполнять заданный объем технологического процесса в реальных условиях производства с установленной нормативной производительностью в планируемые агротехнические сроки.***

**Работоспособное состояние ТСМПР** – это такое состояние, при котором она обеспечивает выполнение технологического процесса с показателями производительности и качества на уровне установленных норм и требований.

Из данного определения надежности следует, что это обобщающее свойство, характеризующее надежность достижения цели – выполнение планового задания в установленный агротехнический срок. Система является надежной, если обеспечивает достижение цели и гарантирует в целом положительный результат.

Эффективность системы, оцениваемая главным образом по ее производительности, является в данном случае мерой надежности ТСМПР. Если система обеспечивает нормативную производительность в рассматриваемый период функционирования, то она является надежной.

Принципиальная возможность и целесообразность такого подхода в достаточной мере подтверждены в литературе по надежности сложных систем [26, 48, 52, 63]. Суть подхода состоит в том, что если надежная система имеет соответствующую ей эффективность  $W_1$ , а другая, менее надежная система – эффективность  $W_2$  (причем  $W_1 > W_2$ ), то в качестве меры различия уровней надежности может рассматриваться степень изменения эффективности системы.

Необходимо подчеркнуть значительные особенности этой проблемы и трудности в сравнении с оценкой надежности отдельных машин и даже сложных технических систем. На самом деле, если рассмотреть, например, от чего зависят своевременность уборки урожая уборочно-транспортным комплексом и надежность достижения этой цели, то даже без глубокого анализа видно, что здесь надо учесть множество самых разнообразных факторов. В этом необычность постановки задачи. А особенности и трудности вытекают из специфики структуры ТСМПР и ее взаимодействия со средой. Отметим основное.

1. ТСМПР объединяет не однотипные, а разнохарактерные элементы (подсистемы). Она является, в частности, эрготехнической системой. Более того, в ней задействованы не отдельные операторы, а целый трудовой коллектив. Именно этот фактор во многом определяет надежность достижения результата.

2. Система является стохастической, закономерности взаимодействия ее элементов со средой и между собой имеют, как правило, вероятностный характер.



3. Необходимо учитывать сложность структуры, особенно в отношении внутренних связей системы, проявляющихся в процессе ее проектирования и непосредственно в работе.

4. Одной из важнейших особенностей ТСМПР является наличие неопределенности. В данном случае, в силу специфики сельскохозяйственного производства, она проявляется наиболее существенно.

5. С точки зрения методологии оценки надежности важно иметь в виду, что это система с временной избыточностью. Резерв времени здесь создается прежде всего за счет неполного использования времени суток и календарного периода выполнения технологического процесса в целом.

Известно, что для таких систем характеристики отказов, да и методы определения количественных показателей надежности имеют существенную специфику [16, 64].

Отмеченные особенности ТСМПР, затрудняя реализацию задачи количественной оценки надежности, одновременно свидетельствуют о необходимости дальнейшей разработки соответствующей методологии.

## **2.2. Характеристика отказов технологической системы**

В характеристике надежности любого объекта основополагающим является понимание его работоспособного состояния и отказа.

Понятие работоспособного состояния ТСМПР нами сформулировано выше. Смысл его, как следует из определения, заключается в том, что технологическая система функционирует без срывов, обеспечивая нормативную производительность и качество работы, удовлетворяющее агротехническим требованиям. Это означает, что комплекс машин обеспечивает заданный (расчетный) темп выполнения процесса.

Снизить производительность и вывести технологическую систему из работоспособного состояния могут очень многие факторы. Для того, чтобы более четко сформулировать понятие отказа системы, целесообразно принять некоторые начальные условия.

В частности, целесообразно, на наш взгляд, взять за основу функционирование ведущей подсистемы технологического комплекса машин, а именно ОТМ, так как бесперебойная работа основных технологических машин обеспечивает своевременность выполнения системой производственного задания. Выходные параметры технологического процесса, для которого формируется ТС, также определяются главным образом подсистемой ОТМ.

Таким образом, принимаем следующее условие: надежность ТС оцениваем по надежности функционирования подсистемы ОТМ с учетом взаимодействия ее с другими подсистемами (первого и второго уровня), а также со средой.

Понятие отказа для сложной системы далеко не однозначно. В известной литературе по надежности сложных систем чаще всего дается весьма широкая трактовка отказа как события, обусловленного выходом характеристик эффективности за нижний допустимый предел, что приводит к невыполнению задачи.

Это определение носит слишком общий характер. Применить его по отношению к рассматриваемой ТС трудно. Такое определение не раскрывает физическую сущность отказа, затрудняет квалификацию отдельных фактических событий в качестве отказов.

Конкретизируем понятие отказа технологической системы следующим образом: под отказом ТС понимается событие, проявляющееся в прекращении функционирования хотя бы одной основной технологической машины по причинам, не обусловленным технологическим процессом,

или при длительности простоя, превышающей установленную нормативами.

Таким образом, сужая в определенной мере понятие отказа, мы конкретизируем его, вводим однозначное представление о его природе и предусматриваем его физическое отображение на практике.

**Отказ** в данном случае – это **простой агрегатов**: либо любой незапланированный простой, либо простой, предусмотренный регламентом, но по длительности превышающий нормативы. Критерием при рассмотрении простоев (событий), которые можно квалифицировать как отказ, является общепринятое распределение элементов затрат времени смены на нормируемые и ненормируемые, причем для нормируемых элементов необходимо учитывать нормативы их продолжительности.

В процессе функционирования ТС в основном имеют место частичные отказы, когда работоспособность системы теряется частично. Такие отказы, как известно, называются параметрическими.

Функциональные (полные) отказы реально могут возникать, видимо, в следующих случаях: при отказе всех элементов подсистемы ОТМ, при невозможности выполнять процесс из-за метеорологических условий, из-за неподготовленности фронта работ, в связи с различными организационными причинами.

Возможные причины отказов с учетом структуры системы сгруппируем следующим образом (в скобках указано условное обозначение или шифр данной группы отказов):

- неисправности технических элементов, т.е. основных технологических машин (НТЭ);
- нарушения технологического процесса, приводящие к недопустимому снижению качества работы или полностью препятствующие его выполнению (НТП);

- недостаточная надежность человеческого фактора как элемента системы (НЧФ);
- неподготовленность фронта работ, например, из-за недостаточно согласованного взаимодействия основных и вспомогательных технологических машин (НФР);
- необеспеченность транспортным обслуживанием (НТО);
- несвоевременное техническое обслуживание или эксплуатационный ремонт (НОР);
- необеспеченность необходимыми ресурсами (ННР);
- несвоевременные или неточные руководящие установки (НРУ) и другие причины организационного характера;
- неблагоприятные метеорологические условия (НМУ).

Группировка причин отказов осуществлена с учетом структуры системы, ведь отказ – это нарушение внутреннего состояния элемента (подсистемы) или нарушение связей между ними.

В подсистеме ТКМ взаимосвязь основных подсистем второго уровня отражена в причинах отказов через группы НФР (подсистема ВТМ), НТО (подсистема СТС), НОР (подсистема ТОР).

Нарушение взаимодействия ОТМ со средой будет отражено в отказах по причинам ННР, НРУ, НМУ.

Предложенная группировка причин отказов достаточно хорошо отражает физическую сущность функционирования реальных систем и согласуется с общепринятой методикой сбора информации о работе агрегатов.

Отказы сложной системы разделяются на собственные и вынужденные. Собственные отказы обусловлены изменением состояния элементов, подсистем или связей между ними по причинам, не зависящим от внешних усло-

вий. Вынужденные отказы связаны с нерегламентированными изменениями внешних условий. При этом для элементов и подсистем, если их рассматривать автономно, внешними будут не только условия среды, но и связи с другими элементами (подсистемами).

Так, для агрегата собственными будут отказы вследствие НТЭ, НТП, НЧФ. Остальные причины приведут к вынужденному отказу. Для ТСМПП в целом вынужденными являются отказы из-за ННР, НРУ, НМУ, а другие причины обуславливают появление собственных отказов.

К отказам ТС, как следует из сказанного, не относятся простои, связанные с проведением планового технического обслуживания, регламентированного технологического обслуживания и другие нормируемые элементы затрат времени смены.

На рис. 2.1 показана обобщенная схема проявления причин отказов в ТС, которая наглядно иллюстрирует приведенные выше характеристики. Для большего удобства анализа надежности системы проведена некоторая перестройка ее структуры. Используя процедуру свертывания, представляем каждый агрегат ( $A_1, A_2, \dots, A_N$ ) подсистемы основных технологических машин (ОТМ) как своеобразную подсистему третьего уровня, включающую в качестве элементов все составляющие первого уровня ТСМПП: технические элементы (ТЭ), обслуживающий персонал (человеческий фактор – ЧФ) и технологический процесс (ТП).

Агрегат является основной функциональной единицей технологической системы. Он отражает основные качественные характеристики ТСМПП и может рассматриваться с позиций надежности как своеобразный модуль этой системы.

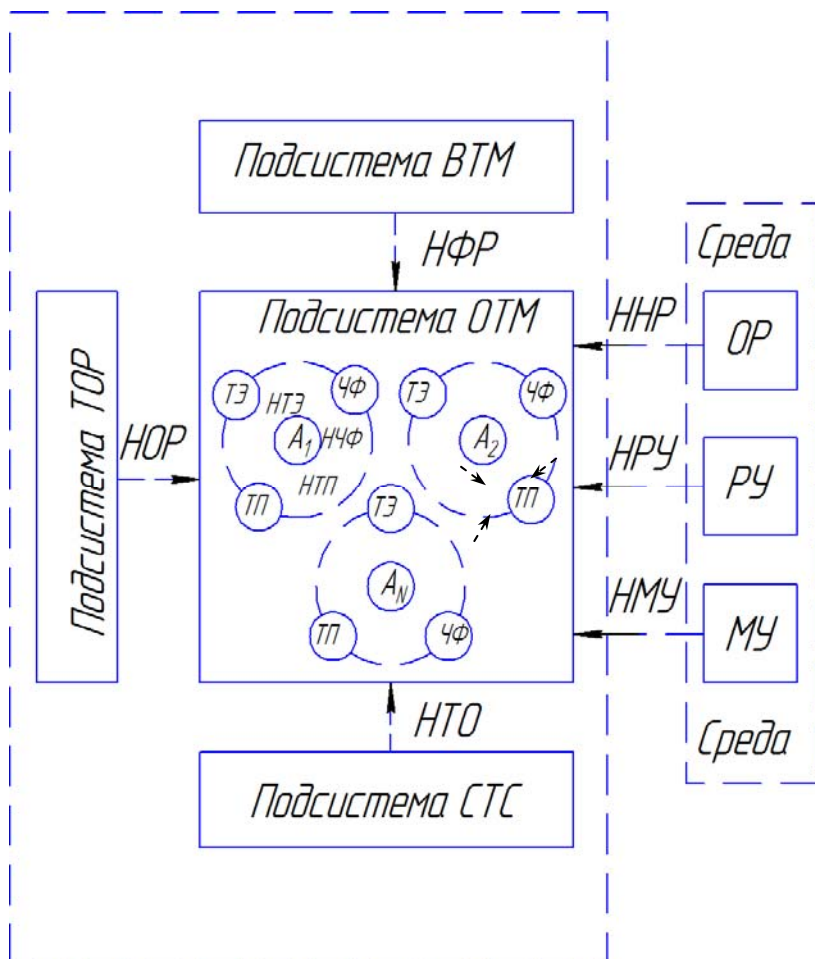


Рис. 2.1. Схема проявления причин отказов в TCMIP

### 2.3. Основные показатели надежности технологических систем и их характеристика

Целью проектирования, создания и функционирования TCMIP является выполнение заданного производственного технологического процесса в установленные аг-

ротехнические сроки в соответствии с требованиями к его качеству с минимальными затратами трудовых и материальных ресурсов.

Важнейшими функциональными характеристиками технологической системы являются ее производительность (эффективность) и надежность. Эти понятия и их смысловое содержание очень тесно переплетаются, и по существу невозможно четко очертить область существования этих характеристик раздельно. Сформулированная ранее общая концепция надежности определяет принятое нами соотношение этих понятий.

Еще раз подчеркнем, что в данном случае надежность рассматривается как обобщающее свойство технологической системы, а производительность, т.е. эффективность, – как мера изменения ее надежности.

Для оценки этих свойств на различных этапах проектирования, организации и функционирования ТС необходимо иметь определенные показатели.

Применительно к рассматриваемому классу технологических систем, которые ранее подобным образом четко не выделялись, номенклатура этих показателей надежности в полной мере также не определена. Вместе с тем в отдельных нормативно-технических документах, опубликованных рекомендациях и научно-технических разработках называется весьма широкий круг показателей для оценки указанных выше свойств применительно к различным сложным системам. Кроме того, имеется определенная система показателей для оценки использования техники в сельскохозяйственном производстве. Это также необходимо учитывать [54, 55].

При определении показателей целесообразно руководствоваться следующими требованиями к ним и их номенклатуре в целом:

- показатели должны зависеть от функционирования системы и давать достаточно наглядное представление об указанных выше свойствах технологической системы;

- как правило, показатели должны иметь вид числовых характеристик, определение которых было бы реальным, а по возможности и не очень сложным;

- номенклатура показателей не должна быть громоздкой, но в то же время довольно полной.

С учетом сказанного выше нами выполнен необходимый анализ и предлагаются следующие показатели надежности ТСМПР:

1. Вероятность безотказной работы для заданного периода функционирования ТСМПР ( $P_{\text{бо}}$ ).

2. Готовность системы к выполнению заданной функции в момент начала работы ( $\Gamma_{\text{тс}}$ ).

3. Вероятность нормального (надежного) функционирования техники ( $P_{\text{нф}}$ ).

4. Вероятность бессрывного функционирования системы ( $P_{\text{бс}}$ ).

5. Вероятность выполнения системой производственного задания в установленный срок ( $P_{\text{вз}}$ ).

6. Коэффициент готовности системы к выполнению заданной функции ( $K_{\text{г}}$ ).

7. Коэффициент обеспечения нормативной производительности ( $K_{\text{оп}}$ ).

8. Коэффициент выполнения задания ( $K_{\text{вз}}$ ).

Дадим краткую характеристику существа этих показателей.

Показатель  $P_{\text{бо}}$  – это «вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникает». Этот показатель в целом для ТС будет иметь ограниченное применение, учитывая рассмотренную выше характеристику отказов. Однако он сохраняет принципиальное значение



для системы в целом и особенно для оценки надежности элементов ТС – отдельных машин и агрегатов.

Вероятность безотказной работы  $P_{\text{бo}}(t_0)$  в интервале времени от 0 до  $t_0$  определяется, как известно, по формуле

$$P_{\text{бo}}(t_0) = 1 - F(t_0), \quad (2.1)$$

где  $F(t_0)$  – функция распределения наработки до отказа.

Показатель  $\Gamma_{\text{тс}}$  показывает уровень готовности системы к выполнению функции. Полагаем, что для системы в целом этот показатель с точки зрения его расчетного значения также не является основным. На этапе проектирования системы (прогнозирования ее надежности) он должен определяться не расчетами, а обеспечиваться организационно-хозяйственными мерами. А в период функционирования показатель  $\Gamma_{\text{тс}}$ , как доказано в общей теории надежности, может рассматриваться как коэффициент готовности ( $K_r$ ).

Вероятность нормального (надежного) функционирования техники  $P_{\text{нф}}$  – это вероятность события, заключающегося в том, что к моменту начала выполнения задания  $t_{\text{н}}$  система будет находиться в состоянии готовности и далее она либо не откажет, либо отказы будут устранены за период времени менее допустимого нормативами. Математически это сложное событие можно представить так:

$$A = A_1 (A_2 + A_3),$$

где  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  – события соответственно означающие, что система в момент  $t_{\text{н}}$  находится в состоянии готовности, отказы за время ее функционирования не произойдут, возникающие отказы будут устранены за время  $t_{\text{в}} < \tau_{\text{в}}$ .

Вероятность этого сложного события можно выразить следующим образом:

$$P(A) = P(A_1) [P(A_2/A_1) + P(A_3/A_1)].$$

В данном случае:

$$P(A_1) = \Gamma_{\text{тс}}(t_{\text{н}}) = \Gamma_{\text{тс}};$$

$$P(A_2/A_1) = P_{\text{бo}}(t) = P_{\text{бo}};$$

$$P(A_3/A_1) = Q_{\text{тc}} P_{\text{в}}(t_{\text{в}} < \tau_{\text{в}}),$$

здесь  $Q_{\text{тc}}$  – вероятность отказа системы;

$P_{\text{в}}(t_{\text{в}} < \tau_{\text{в}})$  – вероятность устранения отказа за время  $t_{\text{в}}$ , не превышающее допустимое  $\tau_{\text{в}}$ .

Если учесть, что  $Q_{\text{тc}} = 1 - P_{\text{бo}}$ , то можно величину  $P_{\text{нф}}$  выразить так:

$$P_{\text{нф}} = \Gamma_{\text{тc}} [P_{\text{бo}} + (1 - P_{\text{бo}}) P_{\text{в}}]. \quad (2.2)$$

Бессрывное функционирование системы рассматривается как событие, заключающееся в том, что техника работает нормально, и при этом не будет срывов в работе по организационным причинам. Поскольку исходя из таких условий определяется норматив производительности, значит  $P_{\text{бс}}$  – это вероятность достижения нормативной производительности.

$$P_{\text{бс}} = P_{\text{нф}} \cdot P_{\text{оп}}, \quad (2.3)$$

где  $P_{\text{оп}}$  – вероятность отсутствия простоев по организационным причинам.

Обобщающим является показатель  $P_{\text{вз}}$ , причем в нем находят отражение и надежность, и эффективность работы системы. Так, ГОСТ 27.203-83 рекомендует его в качестве показателя надежности. В некоторых работах по сложным системам этот показатель отнесен к эффективности.

Разумно, на наш взгляд, считать его комплексным показателем надежности и эффективности технологической системы, поскольку он синтезирует эти свойства.

Подчеркнем, что комплексный показатель  $P_{\text{вз}}$  включает в оценку все этапы «жизни» ТСМПР: проектирование, организацию, функционирование. Действительно, на этапе функционирования необходимым условием выполнения ТСМПР производственного задания является бессрывное ее функционирование ( $P_{\text{бс}}$ ). Однако в целом этого условия недостаточно. В общем случае надо еще учесть вероятность неблагоприятных метеоусловий, качество проекти-

рования и правильность организации системы, а также обеспеченность требуемыми ресурсами. Это можно выразить в общем виде следующим образом:

$$P_{вз} = P_{нф} \cdot P_{бу} \cdot P_{оп} \cdot P_{тп} \cdot P_{ор}, \quad (2.4)$$

где  $P_{тп}$  – вероятность качественного технологического проектирования системы;

$P_{бу}$  – вероятность благоприятных метеорологических условий;

$P_{ор}$  – вероятность достаточного обеспечения ресурсами.

Учесть все указанные факторы количественно пока затруднительно, оценка проектирования и организации системы носит в основном качественный характер.

Рассмотренные показатели определяются на вероятностной основе. Они характеризуют надежность в форме ее прогнозирования, т.е. на стадии проектирования и организации системы.

Следующие показатели – коэффициенты надежности – определяются по фактическим результатам функционирования системы.

Коэффициент готовности системы  $K_r$  – это отношение времени безотказной ее работы к общему времени функционирования, включая время отказов. Он означает вероятность работоспособного состояния системы в произвольный момент времени:

$$K_r = \frac{t_{cp}}{t_{cp} + t_v}, \quad (2.5)$$

где  $t_{cp}$  – среднее время безотказной работы;

$t_v$  – среднее время восстановления работоспособности ТС.

Коэффициент обеспечения нормативной производительности – это разновидность стандартного коэффициента сохранения эффективности. Он определяется как отношение средней производительности ТС за какой-либо период времени (за установленную наработку) к нормативной

производительности за этот же период. Статистически этот коэффициент можно получить так:

$$K_{\text{оп}} = \sum_{i=1}^{D_p} W_{\text{дн}}^i / W_n D_p, \quad (2.6)$$

где  $W_{\text{дн}}^i$  – фактическая производительность ТС за каждый  $i$ -й день;

$W_n$  – нормативная дневная производительность ТС;

$D_p$  – продолжительность расчетного периода работы, дней.

Нетрудно заметить связь между показателями  $R_{\text{бс}}$  и  $K_{\text{оп}}$ , только первый из них определяется на вероятностной основе, а второй – статистически. Они имеют по существу одинаковый физический смысл – это степень достижения ТСМНР нормативной производительности, т.е. уровень выполнения расчетного (планового) дневного темпа работ.

Коэффициент выполнения задания ( $K_{\text{вз}}$ ) – это показатель из числа рекомендованных стандартом (ГОСТ 27.204-83 «Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности»). Он представляет собой отношение среднего объема работы (полученной продукции), выполненной за рассматриваемый календарный промежуток времени, к заданному (плановому) объему:

$$K_{\text{вз}}(t) = \frac{F(t)}{F_0(t)}, \quad (2.7)$$

где  $F(t)$ ,  $F_0(t)$  – соответственно средний и заданный объем работы (полученной продукции) за календарный промежуток времени  $t$ .

Этот показатель также имеет аналогию с показателем  $R_{\text{вз}}$ , только определяется статистически по фактическим результатам работам.

Между названными показателями надежности и некоторыми рекомендуемыми показателями эффективности

использования сельскохозяйственной техники прослеживается явная связь. Так, например, в ряде рекомендаций по оценке эффективности работы МТП [54] предлагается определять уровень выполнения плановой дневной выработки ( $У_{дн}$ ) и уровень выполнения технологического процесса в планируемый агротехнический срок ( $У_{агр}$ ). Показатели надежности ТС  $K_{оп}$ ,  $K_{вз}$  отражают тот же физический смысл, что  $У_{дн}$ ,  $У_{агр}$ .

## **2.4. Теоретические предпосылки к обоснованию модели оценки надежности ТСМПП**

Оценка надежности такой сложной системы, какой является ТСМПП, – задача весьма трудная. Здесь пока практически невозможно добиться создания обобщенной теоретической модели надежности. Такие модели даже в трудах по классической теории надежности для сложных систем еще не получили достаточного развития. При этом отмечается чрезвычайная сложность и громоздкость получаемых решений [5, 26, 52, 63]. Поэтому многие ученые в области разработки математического аппарата теории надежности считают, что при анализе надежности сложных систем вообще целесообразно делать значительные допущения в пользу упрощения метода. Такие утверждения есть, в частности, в работах [3, 5 и др.].

В данном случае дело даже не столько в теоретической трудности этой задачи, сколько в отсутствии практического смысла. Ведь желательно иметь методы оценки надежности ТСМПП, приемлемые для использования в инженерных расчетах надежности ТС на стадиях ее проектирования, организации и функционирования.

В данном обобщении наших исследований не ставилась (и не решалась) задача глубокого теоретического анализа проблемы надежности рассматриваемого объекта.

Классическая теория надежности является вполне достаточной основой для решения прикладных задач, аналогичных рассматриваемой нами.

Поэтому задача сводится, во-первых, к обоснованию приемлемых путей применения известных теоретических положений к анализу надежности ТСПМР, а во-вторых, к уточнению и развитию некоторых элементов теории и методологии (своеобразной «привязке» их) применительно к проблеме использования техники в составе технологических систем растениеводства.

Чаще всего надежность технической системы определяется посредством разработки так называемой **структурной схемы надежности (СШН)**.

Для системы с последовательным соединением элементов безотказное функционирование представляет собой сложное событие А, определяемое соотношением:

$$A = \sum_{i=1}^n A_i ,$$

где  $A_i$  – событие, состоящее в безотказном функционировании  $i$ -го элемента.

Обычно предполагают, что отказы элементов независимы, и используют формулу:

$$P(A) = \prod_{i=1}^n P(A_i), \quad (2.8)$$

где  $P(A_i)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента;

$n$  – количество элементов.

В целом это, конечно, допущение, так как отказы обычно все-таки зависимы друг от друга. Чаще всего различные элементы системы подвергаются действию общих факторов, вызывающих отказы. Вместе с тем достаточная точность такого подхода подтверждена, и это допущение является общепринятым.

При параллельном соединении элементов формула, описывающая структурную схему надежности, имеет следующий вид:

$$P(A) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P(A_i)]. \quad (2.9)$$

Определение надежности на основе ССН целесообразно прежде всего на уровне агрегата, подсистемы ОТМ или технологического комплекса машин в целом.

Из рис. 2.1 в принципе ясно, как соединены элементы. Для агрегата – это последовательное соединение входящих в него основных элементов (ТЭ, ТП, ЧФ), для подсистемы ОТМ – параллельное соединение технологических агрегатов.

Тогда надежное функционирование агрегата определяется так:

$$P_{\text{нфа}} = \prod_{i=1}^n P_{\text{э}i}, \quad (2.10)$$

где  $P_{\text{э}i}$  – надежность  $i$ -го элемента агрегата;

$n$  – количество учитываемых элементов.

Поскольку агрегат является основной функциональной единицей технологической системы, методы определения и расчета надежности агрегата далее будут обоснованы и рассмотрены более подробно.

Для подсистемы ОТМ – вероятность ее надежного функционирования:

$$P_{\text{отм}} = 1 - \prod_{i=1}^m [1 - P_{\text{нфа}}^i], \quad (2.11)$$

где  $m$  – количество основных технологических агрегатов (машин).

Для всей подсистемы ТКМ можно принять, что ее элементы ОТМ, ВТМ, СТС, ТОР соединены последовательно, т.к. если какой-либо из этих элементов полностью выйдет из строя (т.е. будет иметь место полный отказ по

причинам НФР, НТО, НОР – см. рис. 2.1), то подсистема ТКМ также не будет работоспособной.

Тогда

$$P_{\text{ТКМ}} = P_{\text{отм}} \cdot P_{\text{взм}} \cdot P_{\text{стс}} \cdot P_{\text{тор}}. \quad (2.12)$$

Здесь  $P_{\text{взм}}$ ,  $P_{\text{стс}}$ ,  $P_{\text{тор}}$  – вероятности работоспособного состояния соответствующих элементов подсистемы ТКМ. Величину этих вероятностей можно найти по вероятности соответствующих отказов –  $Q_{\text{нфр}}$ ,  $Q_{\text{нто}}$ ,  $Q_{\text{нор}}$ :

$$P_{\text{взм}} = 1 - Q_{\text{нфр}};$$

$$P_{\text{стс}} = 1 - Q_{\text{нто}};$$

$$P_{\text{тор}} = 1 - Q_{\text{нор}}.$$

Другой подход связан с **факторной моделью надежности** системы, которой называют модель, устанавливающую связь между показателем надежности и количественными характеристиками факторов, определяющих его уровень.

Ведь надежность достижения системой результата зависит от многих факторов, которые трудно, а иногда и невозможно оценивать с позиций обычной теории надежности. Например, конечный результат ТСМПП во многом зависит от обеспеченности ресурсами, организационных или технологических факторов.

Суть подхода состоит в следующем. Надежность технологической системы, как уже было отмечено, зависит от ряда факторов. Номинальному уровню их значения ( $Z^0_1, Z^0_2, \dots, Z^0_n$ ) соответствует и номинальный (расчетный) уровень надежности системы –  $P_0$ :

$$P_0 = \varphi(Z^0_1, Z^0_2, \dots, Z^0_n). \quad (2.13)$$

В действительности же эти факторы могут иметь другое значение, что определит и отличный от номинального уровень надежности:

$$P = \varphi(Z_1, Z_2, \dots, Z_n).$$

Соотношение  $P$  и  $P_0$  в принципе определяется равенством



$$P = P_0 + \delta P,$$

где  $\delta P$  – изменение показателя надежности, обусловленное изменением факторов  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ .

Представим надежность ТСМПР как следующее событие:

$$H = A_1 A_2 \dots A_n,$$

где  $H$  – достижение системой результата, т.е. выполнение запланированного объема работ в заданные сроки;

$A_1, A_2, \dots, A_n$  – основные факторы, от которых зависит выполнение задания.

Вероятность события  $H$  (как произведения событий) будет равна:

$$P(H) = P(H/A_1 A_2 \dots A_n) P(A_1) P(A_2/A_1) P(A_n/A_1 A_2 \dots A_{n-1}).$$

Можно обозначить:  $P(H/A_1 A_2 \dots A_n) = P_0$ ;

$$P(A_1) = K_1;$$

$$P(A_2/A_1) = K_2;$$

$$P(A_n/A_1 A_2 \dots A_{n-1}) = K_n.$$

Тогда

$$P(H) = P_{вз} = P_0 K_1 K_2 \dots K_n, \quad (2.14)$$

где  $P_0$  – номинальная надежность системы при расчетном значении учитываемых факторов ( $A_1, A_2, \dots, A_n$ );

$K_1, K_2, \dots, K_n$  – показатели, отражающие изменение уровня факторов  $A_1, A_2, \dots, A_n$ .

Основная задача при таком подходе заключается в поиске и обосновании методов количественного определения показателей  $K_1, K_2, \dots, K_n$ .

На основе факторной модели целесообразно, на наш взгляд, учесть надежность взаимодействия подсистемы ТКМ со средой (обеспеченность ресурсами – ОР, метеорологические условия – МУ, руководящие установки – РУ), а также с подсистемами ПТП (планирование технологии) и ПТК (организация трудового коллектива).

Если принять для номинальных (расчетных) условий

$$P_0 = P_{\text{ТКМ}} = P_{\text{ОТМ}} P_{\text{ВТМ}} P_{\text{СТС}} P_{\text{ТОР}},$$

то тогда надежность технологической системы в соответствии с формулой (2.14) будет равна

$$P_{\text{ТС}} = P_{\text{отм}} P_{\text{взм}} P_{\text{стс}} P_{\text{тор}} K_{\text{ор}} K_{\text{му}} K_{\text{ру}} K_{\text{ппп}} K_{\text{пнк}}, \quad (2.15)$$

где  $K_{\text{ор}}$ ,  $K_{\text{му}}$ ,  $K_{\text{ру}}$ ,  $K_{\text{ппп}}$ ,  $K_{\text{пнк}}$  – коэффициенты, учитывающие влияние на надежность системы соответствующих факторов.

По существу формула (2.15) раскрывает зависимость от основных факторов для величины  $P_{\text{вз}}$ , что принципиально было выражено в виде формулы (2.4).

Изложив общие основы определения надежности системы, необходимо более детально исследовать и обосновать методы расчета надежности машинных агрегатов, а также входящих в них элементов.

## **2.5. Закономерности отказов первичных элементов технологической системы машиноиспользования**

Изучение различных аспектов надежности сельскохозяйственной техники было предметом многочисленных исследований. При этом большинство авторов находятся на позициях классической теории надежности, базирующейся на вероятностно-статистическом математическом аппарате.

Установлено, что в общем случае отказы машин носят внезапный и постепенный характер [11, 13, 17, 21, 28, 40, 52].

Для сельскохозяйственных машин и, прежде всего, для сложных (например, уборочных) кратковременного сезонного пользования, более адекватной представляется гипотеза о преобладании внезапных отказов.

Для этого имеются вполне обоснованные предположения – это нестабильность условий эксплуатации и множество случайных факторов, могущих быть причиной отказа. Кроме того, сложные сельскохозяйственные машины

по существу ежегодно подвергаются восстановительному ремонту, а период их эксплуатации за сезон является относительно непродолжительным. В этих условиях доминируют именно внезапные отказы, поток которых принято считать простейшим.

Гипотеза об экспоненциальном законе распределения наработки на отказ нами была проверена и подтверждена в 60-80-е годы XX в. при исследовании надежности свеклоуборочных и зерноуборочных комбайнов, а также кормоуборочных машин.

Для подтверждения принятого закона распределения граничное допустимое значение вероятности по критерию  $\chi^2$ -квадрат Пирсона на практике считают равным  $P_{\chi}^2 = (30-40\%)$ . В наших исследованиях гипотеза подтверждена с вероятностью более 80%. Дополнительно достоверность оценки проверялась по 95%-м доверительным интервалам.

Аналитическая и экспериментальная оценка надежности свеклоуборочных, зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов опубликована в наших работах, кратко результаты этих исследований изложены в главе 5.

В целом было установлено, что аналитическую оценку надежности сельскохозяйственных машин вполне обоснованно можно осуществлять на основе экспоненциального закона распределения. За прошедшие со времени проведения указанных исследований годы различными авторами выполнено много работ по надежности сельскохозяйственной техники. И в них неоднократно подтверждался экспоненциальный закон распределения наработки на отказ. Это, в частности, отмечается в работах [13, 40, 49 и др.].

Рассматривая сельскохозяйственную технику как элемент сложной технологической системы, тем более целесообразно принять за основу экспоненциальный закон,

так как при работе в составе комплексов еще больше предпосылок для проявления случайного характера потока отказов машин. Кроме того, надо иметь в виду наибольшую простоту аналитической и экспериментальной оценки надежности для этого случая. Это обстоятельство становится весьма существенным, если учесть, что надежность машин входит составной частью в общую довольно сложную задачу оценки надежности технологической системы.

Для экспоненциального распределения интенсивность потока отказов  $\lambda_m$  связывает все основные характеристики надежности.

Как известно,  $\lambda_m = 1/t_{cp}$ , а вероятность безотказной работы

$$P_m(t) = e^{-\lambda_m t} = e^{-t/t_{cp}}. \quad (2.16)$$

В этих формулах  $t_{cp}$  – среднее время исправной работы (средняя наработка на отказ), а индекс «м» означает, что эти параметры характеризуют надежность машины (так как далее будут рассмотрены другие элементы системы).

Однако применение этих выражений для показателей надежности сельскохозяйственной техники с точки зрения теории не будет абсолютно точным. Они пригодны главным образом для новых изделий, находящихся в состоянии постоянной готовности к работе и работающих до первого отказа. Рассматриваемые же машины являются восстанавливаемыми объектами.

Для них более полными характеристиками надежности являются: функция готовности  $\Gamma_m(t)$ , представляющая вероятность того, что в любой момент времени  $t$  машина готова к выполнению заданного процесса; вероятность  $P_m(t, \tau)$  безотказной работы системы в течение времени  $(t, t + \tau)$ , а также коэффициент готовности  $K_r$ .

Математический аппарат для этих характеристик в общей теории хотя и разработан, но пока еще почти не применялся для сельскохозяйственной техники. Для экспоненциального закона распределения времени безотказной работы соответствующие аналитические выражения получены и опубликованы Г.Н. Фанаржи [58]. Воспользуемся этими результатами и приведем конечные расчетные формулы.

Функция готовности:

$$\Gamma_M(t) = \frac{\mu_M}{\lambda_M + \mu_M} + \frac{\lambda_M}{\lambda_M + \mu_M} e^{-(\lambda_M + \mu_M)t}. \quad (2.17)$$

Вероятность безотказной работы:

$$P_M(t, \tau) = \Gamma_M(t) \cdot e^{-\lambda_M \tau}. \quad (2.18)$$

Коэффициент готовности:

$$K_\Gamma = \frac{\mu_M}{\lambda_M + \mu_M}. \quad (2.19)$$

В этих формулах  $\mu_M$  – интенсивность восстановления отказов машин.

Используя экспериментальный материал по надежности различных сельскохозяйственных машин, на основе приведенных аналитических выражений можно найти показатели их надежности.

Далее сделаем краткий обзор по вопросу о надежности человека (оператора) как элемента системы и влиянии «человеческого фактора» на отказы технологической системы.

Большинство сложных систем функционируют благодаря наличию такого звена, как человек. Вместе с тем в течение длительного времени при оценке их надежности качество работы человека (обычно оператора) не учитывалось. В отечественной и зарубежной литературе по надеж-

ности систем отмечается, что надежности человека стали уделять внимание только в конце 50-х годов.

В середине 70-х годов вопросы надежности операторской деятельности «человеко-машинных» систем нашли некоторое отражение в стандартах (ГОСТ 21033-75 и 21705-76). В последние годы опубликовано значительное количество работ (в том числе и крупных обобщающих) по оценке надежности различных сложных систем с учетом деятельности человека как элемента этих систем [6, 37, 56, 62].

Наиболее обширные и достаточно глубокие исследования влияния элемента «человек» на функционирование технологической системы (на примере пахотных и уборочных процессов) выполнены Н.И. Овчинниковой [37]. На основе экспертных оценок и хронометражных наблюдений за работой агрегатов оценивались такие факторы, как квалификация механизатора, дисциплина труда, отношение к закрепленной технике, уровень потерь рабочего времени и некоторые другие [37, 56].

Мы в своих исследованиях не ставили задачу специального изучения проблемы надежности операторов, работающих на сельскохозяйственной технике. Это отдельная и весьма специфическая проблема. Вместе с тем, при оценке надежности ТСМПР этот вопрос должен быть затронут и в приемлемой форме учтен.

В частности, данный краткий обзор и анализ имеет целью рассмотреть следующие аспекты:

- дать принципиальную характеристику (качественную оценку) надежности человека как элемента системы;
- установить, какие факторы обуславливают надежность работы оператора, а также определить возможные подходы к их оценке и учету влияния на надежность технологической системы в целом.

Массовые наблюдения за работой сельскохозяйственной техники подтверждают важность учета надежно-

сти обслуживающего персонала, и речь идет не только о том, что технические (или технологические) отказы машин зачастую связаны с ошибками механизаторов, хотя это само по себе весьма важное обстоятельство. Не менее важными становятся учет, анализ и оценка других простоях техники, причиной которых является работа обслуживающего персонала. Ведь при рассмотрении надежности технологической системы эти события (простои) квалифицируются как отказы.

В рассматриваемой технологической системе механизатор может выполнять различные функции, основными из которых являются функции оператора и ремонтника.

С точки зрения надежности функционирования обычно выделяют два состояния оператора: работоспособное или неработоспособное. При этом работоспособное состояние определяется как способность правильно выполнять заданную функцию. Такой подход представляется не совсем точным. Здесь полной аналогии с техническим элементом системы не может быть, поскольку там исправный элемент всегда считается работоспособным.

Под работоспособным понимается такое состояние, когда оператор способен выполнять заданную функцию в данное время.

Отказ – это событие, когда он теряет работоспособность или нарушается его нормальное функционирование.

По характеру проявления целесообразно выделить два вида отказов: частичные и полные. Полный отказ связан с прекращением выполнения функции, а частичный выражается в отдельных сбоях или ошибках.

Обычно называются следующие основные причины отказов (ошибок): недостаток оперативного времени, переполнение оперативной памяти, невнимательное отношение, утомляемость (усталость), низкая квалификация, плохие условия работы, недостаточное стимулирование труда и др.

Таким образом, вероятность ошибок оператора может быть выражена в общем виде как

$$Q_0 = \sum_{i=1}^n Q_i ,$$

где  $Q_i$  – вероятность различного рода перегрузок и источников ошибок (если их полагать независимыми).

Таким образом, частичные отказы оператора (сбои, ошибки) могут быть следствием физиологического состояния (усталость, утомляемость и т.п.), а также иметь психологическую или квалификационную основу. Они имеют, как правило, случайный характер.

Кроме того, причиной отказа, косвенно связанной с деятельностью оператора, могут быть различные случайные изменения внешней среды (попадание в рабочие органы машины незамеченных посторонних предметов, наезд на препятствие и т.п.). Эти обстоятельства усиливают момент случайности во времени проявления отказов, прямой или косвенной причиной которых является человек.

Как известно, количественной характеристикой различного рода ошибок и сбоев (отказов) является закон распределения их числа. Считается, что для подавляющего большинства случаев с достаточной для практических целей точностью он может быть принят в виде распределения Пуассона [6].

Полный отказ (НЧФ) может быть в двух случаях:

- в случае утраты им работоспособности;
- в случае отказа его от выполнения функции (мотивационный отказ).

Такая классификация состояний и отказов, безусловно, не является полной. Однако с точки зрения влияния на эффективность и надежность технологической системы ее можно считать приемлемой.



Каковы возможные подходы к аналитической и экспериментальной оценке надежности «человеческого фактора?»

Наиболее конструктивным представляется подход по аналогии с оценкой надежности технических элементов. Возможность такого подхода хорошо показана и рассматривается в работах доктора технических наук А.И. Губинского [8].

Если не учитывать полные отказы (а в правильно функционирующей ТС они вообще должны быть исключены), то оценка надежности ЧФ может быть сделана только с учетом случайных его ошибок и допущенных сбоев. Тогда может быть использован аналитический аппарат теории вероятности и исследования операций, аналогичный применяемому для оценки надежности технических элементов системы.

Вместе с тем, отметим, что при оценке фактической эффективности и надежности реально функционирующих ТС целесообразно учитывать все потери времени из-за простоев по причине «человеческого фактора».

## **2.6. Обоснование и аналитическое исследование методов оценки надежности функционирования машинного агрегата**

Машинный агрегат представляет собой основную функциональную единицу технологической системы (ТСМПР), в которой по существу отражаются все основные ее элементы. Во многом успех в оценке надежности системы зависит от решения этого вопроса применительно к агрегату.

Выполненные нами в этом плане исследования и сделанные обобщения показывают, что здесь можно реализовать несколько подходов, каждый из которых выливается

в самостоятельный метод. Отдельные подходы и методы имеют как достоинства, так и недостатки. Все зависит от позиции исследователя и решаемых задач, а также от наличия или возможности получения исходной информации.

Нам представляется, что остановиться только на одном каком-либо методе, представив его как универсальный, и трудно, и нецелесообразно.

Не утверждая, что охватываются все возможные подходы к оценке надежности агрегата, мы ниже исследуем три различных варианта, которые можно рассматривать как относительно самостоятельные методы.

В качестве основного показателя надежности агрегата принимаем вероятность надежного его функционирования, которое понимаем как событие, заключающееся в том, что агрегат в любой момент времени ( $t_n$ ) готов к работе и далее в течение заданного времени ( $t$ ) способен работать безотказно:

$$P_{\text{нфа}} = \Gamma_a(t_n) \cdot P_a(t), \quad (2.20)$$

где  $\Gamma_a(t_n) = \Gamma_a$  – функция готовности агрегата в момент  $t_n$ ;

$P_a(t) = P_a$  – вероятность безотказной работы агрегата в течение заданного времени  $t$ .

Таким образом, выбранный комплексный показатель надежности включает в себя еще два показателя, причем функция готовности, как доказано в теории, при значительных интервалах времени может рассматриваться как коэффициент готовности ( $K_r$ ).

### ***2.6.1. Модель надежности функционирования агрегата с учетом отказов техники и операторов***

Машинный агрегат для выполнения производственного технологического процесса представляет собой своеобразную эрготехническую систему. Рассмотрим возможность оценки его надежности через надежность входящих в него элементов.

Для анализа возьмем агрегат, состоящий из двух элементов: машины и оператора. Физическим представителем такой системы является, например, зерноуборочный комбайн и работающий на нем механизатор.

Принимаем следующие начальные условия:

1. Каждый элемент (машина или оператор) может находиться в двух состояниях: выполнения функции или отказа. После отказа работоспособность элементов и системы восстанавливается.

2. Рассматриваем только собственные (внутренние) отказы этой системы, т.е. отказы, связанные с функционированием данных элементов. Таким образом, учитываются отказы групп НТЭ, НТП и НЧФ. Простои агрегата, обусловленные другими причинами (отсутствие транспорта, неподготовленность фронта работ, организационные неувязки и т.п.), не являются его отказами. Они относятся в целом к технологической системе и должны быть учтены другим путем.

Вероятность надежного функционирования, т.е. выполнение агрегатом технологического процесса, начиная от момента времени  $t_n$  в течение заданного периода, зависит, как уже было сказано, от следующих событий: в момент  $t_n$  агрегат должен быть в работоспособном состоянии (РС) и далее в течение периода  $t$  машина и оператор должны работать безотказно.

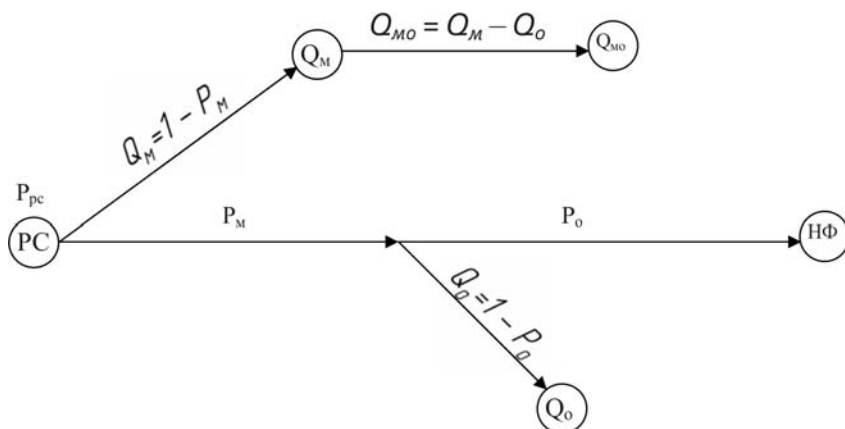


Рис. 2.2. Дерево вероятностей состояний агрегата и его надежного функционирования

На рис. 2.2 изображено дерево вероятностей рассмотренной ситуации, откуда следует:

$$P_{\text{нфа}} = P_{\text{рс}}(t_{\text{н}})P_{\text{м}}(t)P_{\text{о}}(t), \quad (2.21)$$

где  $P_{\text{рс}}(t_{\text{н}})$  – вероятность работоспособного состояния в момент времени  $t_{\text{н}}$ , представляющая собой функцию готовности  $P_{\text{рс}}(t_{\text{н}}) = \Gamma_{\text{а}}(t_{\text{н}}) = \Gamma_{\text{а}}$ ;

$P_{\text{м}}(t), P_{\text{о}}(t)$  – вероятности безотказной работы соответственно машины и оператора.

Формулы (2.20) и (2.21) аналогичны, если учесть, что

$$P_{\text{а}}(t) = P_{\text{м}}(t)P_{\text{о}}(t).$$

Для разработки аналитической модели надежности функционирования агрегата надо найти все составляющие уравнения (2.21). Определим сначала вероятность работоспособного состояния  $P_{\text{рс}}(t_{\text{н}})$ .

Всего можно выделить четыре состояния агрегата, одно из которых будет работоспособным (РС), а три соответствуют неработоспособному состоянию, причиной ко-

торого могут быть отказ машины ( $O_M$ ), отказ оператора ( $O_O$ ) или того и другого элемента ( $O_{MO}$ ).

Ориентированный граф переходов агрегата в различные состояния с учетом отказов и восстановлений элементов показан на рис. 2.3.

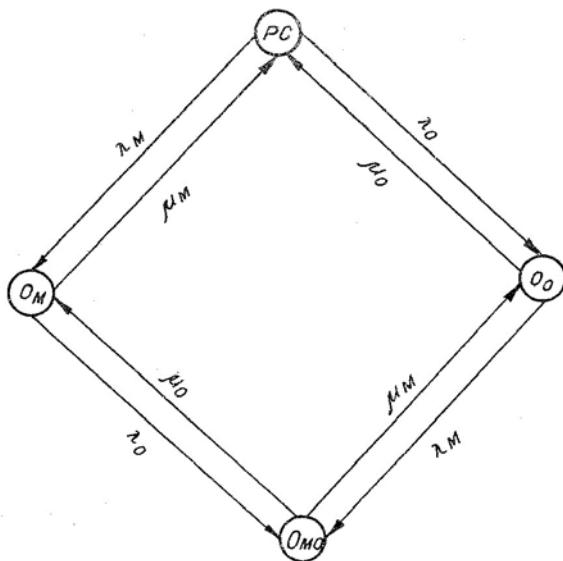


Рис. 2.3. Граф переходов агрегата в различные состояния

Обозначим вероятность нахождения агрегата в соответствующих состояниях следующим образом: в состоянии  $PC = P_1$ ;  $O_M = P_2$ ;  $O_O = P_3$ ;  $O_{MO} = P_4$ . Переход агрегата из одного состояния в другое во времени ( $t$ ) может быть описан системой дифференциальных уравнений, которые в соответствии с правилами исследования операций [3] для данного случая будут иметь следующий вид:

$$\frac{dP_1}{dt} = -\lambda_M P_1 + \mu_M P_2 - \lambda_O P_1 + \mu_O P_3; \quad (2.22)$$

$$\frac{dP_2}{dt} = \lambda_M P_1 + \mu_O P_4 - \mu_M P_2 - \lambda_O P_2; \quad (2.23)$$

$$\frac{dP_3}{dt} = \lambda_o P_1 - \mu_o P_3 + \mu_m P_4 - \lambda_m P_3; \quad (2.24)$$

$$\frac{dP_4}{dt} = \lambda_o P_2 - \mu_o P_4 + \lambda_m P_3 - \mu_3 P_4; \quad (2.25)$$

В этих уравнениях:

$\lambda_m, \lambda_o$  – интенсивности отказов машины и оператора;

$\mu_m, \mu_o$  – интенсивности восстановлений машины и оператора.

Поскольку агрегат одновременно может находиться только в одном из названных состояний, то очевидным будет также и условие

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1. \quad (2.26)$$

Для установившегося режима отказов и восстановлений  $\frac{dP_1}{dt} = 0; \frac{dP_2}{dt} = 0; \frac{dP_3}{dt} = 0; \frac{dP_4}{dt} = 0$ . Тогда система дифференциальных уравнений (2.22)-(2.25) превращается в систему алгебраических уравнений, решая которые, можно найти вероятность любого состояния.

Нас интересует вероятность работоспособного состояния агрегата  $P_{pc} = P_1$ . Находим ее по следующей схеме.

Из уравнения (2.22) найдем  $P_3$ :

$$P_3 = (\lambda_m P_1 + \lambda_o P_1 + \mu_m P_2) / \mu_o. \quad (2.27)$$

Величину  $P_4$  также выразим через  $P_1$  и  $P_2$  из (2.23):

$$P_4 = (\mu_m P_2 + \lambda_o P_2 - \lambda_m P_1) / \mu_o. \quad (2.28)$$

Подставив (2.27) и (2.28) в (2.24) или (2.25), получим выражение для  $P_2$ :

$$P_2 = \frac{\lambda_m}{\mu_m} P_1. \quad (2.29)$$

С учетом найденных выражений для  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$  из уравнения (2.26) получаем формулу для определения вероятности работоспособного состояния агрегата  $P_1 = P_{pc}$ :

$$P_{pc} = \left[ \left( 1 + \frac{\lambda_m}{\mu_m} \right) \left( 1 + \frac{\lambda_o}{\mu_o} \right) \right]^{-1}. \quad (2.30)$$

Анализируя выражение (2.30), приходим к выводу, что распространенный вариант, когда учитываются только отказы техники, представляет собой частный случай.

Для него (при  $\lambda_o = 0$ ;  $\mu_o = 0$ ) получаем:

$$P'_{pc} = \left( 1 + \frac{\lambda_m}{\mu_m} \right)^{-1} = \frac{\mu_m}{\lambda_m + \mu_m}. \quad (2.31)$$

Если учесть, что  $\lambda_m = 1/T_{pm}$ ;  $\mu_m = 1/T_{vm}$ , то получим:

$$P_{pc} = T_{pm} / T_{pm} + T_{vm} = K_{gm}, \quad (2.32)$$

где  $T_{pm}$ ,  $T_{vm}$  – соответственно среднее время исправной работы и восстановления для машины;

$K_{gm}$  – коэффициент готовности машины.

Аналогично можно получить величину  $P''_{pc}$  из предположения об отсутствии отказов техники:

$$P''_{pc} = T_{po} / T_{po} + T_{vo}.$$

Далее надо определить вероятность  $P_a = P_m \cdot P_o$ . Если учесть, что  $P_m = e^{-\lambda_m t}$ , а  $P_o = e^{-\lambda_o t}$ , то получим

$$P_a = e^{-(\lambda_m + \lambda_o)t}. \quad (2.33)$$

Поскольку потоки отказов машины и оператора рассматриваются как простейшие, то суммарная интенсивность потока отказов ( $\lambda_a$ ) в этом случае равна:

$$\lambda_a = \sum_1^n \lambda_i = \lambda_m + \lambda_o .$$

Выражение (2.33) определяет вероятность безотказной работы до первого отказа. Во многих случаях такое допущение может быть вполне приемлемым, так как при этом получается более простое выражение для  $P_{\text{нфа}}$ :

$$P_{\text{нфа}} = \frac{e^{-(\lambda_m + \lambda_o)t}}{\left(1 + \frac{\lambda_m}{\mu_m}\right) \left(1 + \frac{\lambda_o}{\mu_o}\right)} . \quad (2.34)$$

Основное достоинство рассмотренного метода заключается в том, что он позволяет дифференцированно оценить вклад в надежность агрегата отдельно машины и оператора. В связи с этим он может найти применение прежде всего для изучения надежности работы механизатора, т. е. в основном для целей исследования.

Для практического использования в целях оценки надежности технологической системы этот метод по ряду причин применять затруднительно. Эти причины сводятся к следующему. В настоящее время практически нет экспериментальных данных по надежности выполнения основных функций механизаторами. Для этого требуются специальные исследования (психологов, физиологов, специалистов по эргономике и т.п.). Кроме того, на практике зачастую трудно со всей очевидностью определить, что отказ произошел по вине оператора. Можно сюда же добавить некоторую сложность и громоздкость вычислительных операций.



### ***2.6.2. Оценка надежности на основе учета технических и технологических отказов агрегата***

Примем за основу существующее разделение отказов агрегатов на технические и технологические. При этом отказы, связанные с ошибками оператора, отдельно не выделяются, а включаются в эти же две группы в зависимости от характера происшедшего нарушения. Другими словами, рассматривается типичная для обычного понимания надежности агрегата ситуация.

Анализ этой ситуации целесообразно провести, используя методологию обобщенного структурного метода [6].

В соответствии с этой методологией отказы по техническим причинам будем считать (в некоторой степени условно) структурными (S-отказы), а нарушения технологического процесса – отказами функционирования (F-отказы).

В целом в S-отказах и F-отказах совместно проявляется ненадежность всех первичных элементов агрегата как системы – машины, механизатора, а также нестабильность выполняемого технологического процесса.

Рассмотрим процесс функционирования агрегата и построим дерево вероятных исходов. В самом общем случае учтем, что контроль работоспособности и функционирования не абсолютно надежный. Дерево вероятных исходов для этого случая приведено на рис. 2.4. Всего возможно 8 исходов.

Символом S обозначены вероятности S-отказов, а символом F – соответственно F-отказов. Первая цифра индекса означает вероятность состояния (0 – отказ, 1 – работоспособное), а вторая – результат контроля (0 – зафиксирован отказ, 1 – зафиксировано работоспособное состояние).

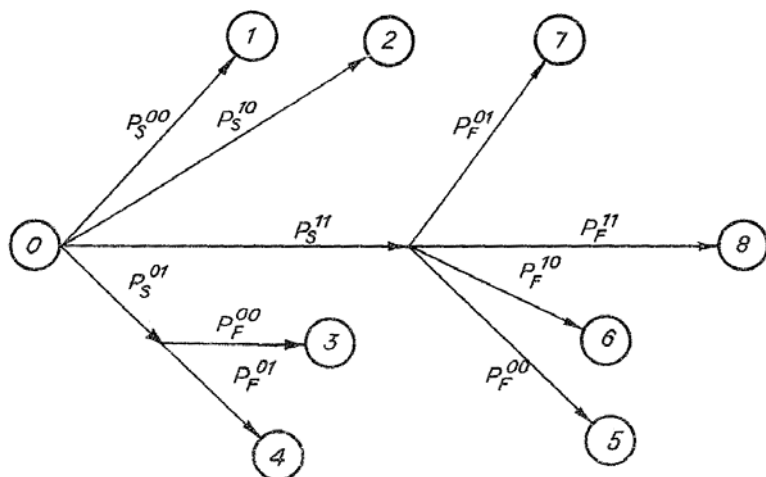


Рис. 2.4. Дерево вероятных исходов при учете структурных и функциональных отказов агрегата

Например, вероятность состояния, обозначенного цифрой 1, означает вероятность события, когда произойдет отказ по технической причине (S-отказ), который и будет зафиксирован как отказ. Из анализа дерева вероятностей возможных исходов функционирования агрегата становится ясно, что нормальному функционированию соответствует исход, обозначенный цифрой 8, когда нет ни технических, ни технологических отказов, а контроль проведен безошибочно.

В этом случае, как следует из дерева вероятных исходов, вероятность надежного функционирования агрегата будет равна:

$$P'_{\text{нфа}} = P''_S \cdot P''_F. \quad (2.35)$$

Хотя это и очевидно, но можно оговорить, что в этом случае необходимыми условиями являются следующие: в начальном положении (0) агрегат работоспособен, а отказы происходят независимо друг от друга. Таким обра-

зом, мы другим путем пришли к известному положению, основанному на теореме умножения вероятностей для независимых событий.

Сложность возникает в связи с необходимостью учета восстанавливаемости системы, так как в классической теории надежности для случая разнородных отказов такой вариант не рассматривается.

Вместе с тем, в ряде работ показано, что величину вероятности можно скорректировать путем введения специального коэффициента  $K_p$ , который численно больше единицы и зависит от количества производимых восстановлений отказов [6]:

$$1 \leq K_p = \frac{1 - d^{n+1}}{1 - d}, \text{ где } d = Q \cdot P^{oo} \cdot P^{yo}.$$

Здесь  $n$  – допустимое количество восстановлений отказов;

$Q$  – вероятность отказа;

$P^{oo}$  – вероятность обнаружения отказа;

$P^{yo}$  – вероятность безошибочного устранения отказа.

Используя эту рекомендацию, проведем ряд преобразований и некоторых упрощений.

Будем считать для агрегата  $P^{oo} = 1$ ,  $P^{yo} = 1$ , что вполне соответствует условиям его работы.

Далее обозначим: вероятность работы без технических отказов  $P'_S = P_{\text{бн}}$ , а без технологических  $P'_F = P_{\text{бт}}$ ; число восстановлений после неисправностей –  $r$ , а число восстановлений от нарушений технологии –  $m$ . Тогда, учитывая, что  $Q_S = 1 - P_{\text{бн}}$ , а  $Q_F = 1 - P_{\text{бт}}$ , можно записать:

$$P'_{\text{нфа}} = P_{\text{бн}} P_{\text{бт}} \frac{[1 - (1 - P_{\text{бн}})^{r+1}][1 - (1 - P_{\text{бт}})^{m+1}]}{[1 - (1 - P_{\text{бн}})][1 - (1 - P_{\text{бт}})]},$$

откуда

$$P'_{\text{нфа}} = [1 - (1 - P_{\text{бн}})^{r+1}][1 - (1 - P_{\text{бт}})^{m+1}]. \quad (2.36)$$

Если в целях проверки принять  $r = 0$ ,  $m = 0$ , т.е. работоспособность агрегата не восстанавливается, то получим  $P'_{\text{нфа}} = P_{\text{бн}} \cdot P_{\text{бт}}$ , что соответствует невосстанавливаемой системе. Выражение (2.36) можно несколько упростить, если пренебречь произведением двух малых величин:

$$(1 - P_{\text{бн}})^{r+1} \cdot (1 - P_{\text{бт}})^{m+1}.$$

В этом случае получим следующее:

$$P'_{\text{нфа}} = 1 - (1 - P_{\text{бн}})^{r+1} - (1 - P_{\text{бт}})^{m+1}. \quad (2.37)$$

Надо иметь в виду, что при этом  $r \neq 0$  и  $m \neq 0$ .

Однако полученное выражение (2.37) не является полным решением задачи, так как мы приняли условие, что в начальном («нулевом») положении система была работоспособна. Это является только частным случаем (поэтому мы вероятность  $P'_{\text{нфа}}$  обозначили штрихом). Для общего случая  $P_{\text{нфа}} = \Gamma_a P'_{\text{нфа}}$ .

Как было установлено ранее, функция готовности

$$\Gamma_a = \frac{\mu_m}{\lambda_m + \mu_m}. \quad (2.38)$$

Тогда

$$P_{\text{нфа}} = \frac{\mu_m}{\lambda_m + \mu_m} [1 - (1 - P_{\text{бн}})^{r+1} - (1 - P_{\text{бт}})^{m+1}]. \quad (2.39)$$

Или, учитывая, что  $P_{\text{бн}} = e^{-\lambda_n t}$ , а  $P_{\text{бт}} = e^{-\lambda_t t}$ , можно записать:

$$P_{\text{нфа}} = \frac{\mu_m}{\lambda_m + \mu_m} [1 - (1 - e^{-\lambda_n t})^{r+1} - (1 - e^{-\lambda_t t})^{m+1}]. \quad (2.40)$$

В этой формуле  $\lambda_m = \lambda_n + \lambda_t$ , т.е. отказы машин учитываются суммарно.

Одновременно справедливым будет такое рассуждение. В начальный момент времени (например, в начале смены) агрегат вряд ли будет в неработоспособном состоянии из-за технологического отказа. Более отвечает реальным условиям работы агрегатов предположение, что если он и не будет работоспособным, то только из-за технической неисправности.

$$P_{\text{нфа}} = \frac{\mu_{\text{н}}}{\lambda_{\text{н}} + \mu_{\text{н}}} \left[ 1 - (1 - e^{-\lambda_{\text{н}} t})^{r+1} - (1 - e^{-\lambda_{\text{т}} t})^{m+1} \right], \quad (2.41)$$

где  $\mu_{\text{н}}$  – интенсивность устранения технических неисправностей.

Полученные выражения (2.40) и (2.41) представляются уже вполне приемлемыми для оценки надежности агрегата.

К достоинствам такого подхода к оценке надежности можно отнести следующие:

- требуется минимум исходных данных, причем обычно в процессе наблюдений (изучения надежности) по общепринятым методикам получение этой информации предусматривается;

- обеспечивается довольно полная оценка надежности агрегата, так как учитываются все виды собственных отказов и готовность агрегата к работе.

Вместе с тем, этот метод не лишен недостатков. Главное – это то, что трудно дать четкие рекомендации по величинам  $r$  и  $m$ . Их можно принять только на основе экспертных оценок по опыту эксплуатации машин. И опять же – достаточно сложные расчеты. В некоторых производственных процессах (прежде всего по уборке урожая), где требуется соответствующее транспортное обслуживание, желательно иметь метод оценки надежности, учитывающий это обстоятельство, т.е. учесть отдельно отказы, обозначенные нами НТО.

### **2.6.3. Оценка надежности функционирования агрегата с учетом простоев из-за транспорта**

Показатель оценки надежности остается прежний – вероятность надежного функционирования агрегата. Предположим, надо дать оценку надежности с учетом трех основных групп отказов: технических, технологических, из-за транспортного обслуживания. Эти группы отказов были обозначены НТЭ, НТП, НТО. Заметим, что в эти же группы входят отказы из-за ошибок оператора – НЧФ. Все виды отказов в ходе работы устраняются, и агрегат продолжает функционировать.

Главная идея намечаемого метода состоит в следующем. При условии восстановления работоспособности агрегата вероятность того, что в принципе он будет выполнять заданный процесс, является достаточно высокой и приближается к единице. Тогда с достаточной точностью можно считать, что  $P_{\text{нфа}} = \Gamma_a(t_n)$ , однако функцию готовности для большей точности надо брать не на начало смены с учетом различных допущений, а для любого произвольно взятого момента времени в процессе функционирования агрегата –  $t_x$ , т.е.  $P_{\text{нфа}} = \Gamma_a(t_x)$ .

В свою очередь, величину  $\Gamma_a(t_x)$  следует определять как вероятность работоспособного состояния в момент  $t_x$  с учетом различных видов отказов и их восстановлений, что и отражает физический смысл функции готовности.

Сначала рассмотрим величину  $P_a(t)$  как вероятность функционирования агрегата при условии, что возникающие отказы будут устраняться.

Используем методологию учета восстановлений, рассмотренную в 2.6.2, т.е. путем введения коэффициента  $K_p$ .

Тогда вероятность функционирования агрегата

$$P_a(t) = P_{\text{бo}} K_p = P_{\text{бo}} \frac{1 - (1 - P_{\text{бo}})^{n+1}}{1 - (1 - P_{\text{бo}})} = 1 - (1 - P_{\text{бo}})^{n+1}, \quad (2.42)$$

где  $P_{\text{бo}}$  – вероятность безотказной работы агрегата;

$n$  – возможное (допустимое) количество восстановлений отказов.

Если с учетом ограничения времени до длительности смены принять  $n = 10-15$  (что соответствует условиям работы сложных агрегатов), то даже при низком уровне безотказности (например,  $P_{60} \approx 0,4-0,5$ ) величина  $(1 - P_{60})^{n+1}$  становится малой. Ее можно не учитывать и определять вероятность нормального функционирования по величине функции готовности.

Как уж было оговорено, функция готовности должна определяться для любого произвольно взятого момента времени  $t_x$ .

Для этого надо рассмотреть граф возможных состояний агрегата, составить для него дифференциальные уравнения переходов состояний и из полученной системы уравнений найти вероятность работоспособного состояния, которая и будет функцией готовности.

Граф состояний для агрегата с учетом трех видов отказов приведен на рис. 2.5.

Агрегат может находиться в четырех состояниях: 0 – работоспособное состояние (РС) с вероятностью  $P_0 = P_{pc}$ ; 1, 2, 3 – состояния неработоспособные и агрегат простаивает по трем причинам: техническая неисправность (1), технологический отказ (2) и ожидание транспортного обслуживания (3). Вероятности этих состояний соответственно будут равны  $P_1, P_2, P_3$ . Соответствующие интенсивности отказов и восстановлений обозначены как

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  и  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$ .

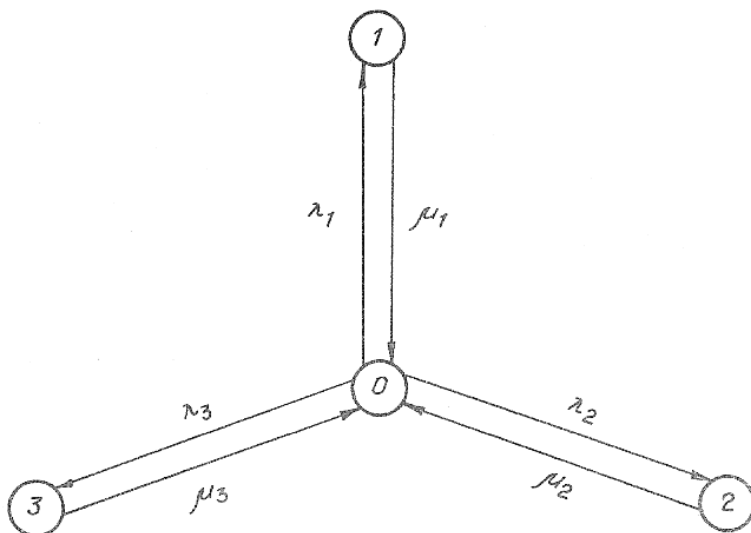


Рис. 2.5. Граф состояний агрегата при учете трех видов отказов

Система дифференциальных уравнений, описывающих переходы состояний такой системы, будет иметь следующий вид [3]:

$$\begin{aligned}\frac{dP_1}{dt} &= \lambda_1 P_0 - \mu_1 P_1; \\ \frac{dP_2}{dt} &= \lambda_2 P_0 - \mu_2 P_2; \\ \frac{dP_3}{dt} &= \lambda_3 P_0 - \mu_3 P_3.\end{aligned}$$

Учитываем также, что  $P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 1$ .

Из системы этих уравнений можно найти  $P_0$  как вероятность работоспособного состояния для стационарных условий:

$$\left( \frac{dP_1}{dt} = 0; \frac{dP_2}{dt} = 0; \frac{dP_3}{dt} = 0 \right).$$



Опуская промежуточные выкладки, запишем выражение вероятности  $P_o$ :

$$P_o = \left( 1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \frac{\lambda_3}{\mu_3} \right)^{-1}. \quad (2.43)$$

В соответствии с ранее сказанным  $P_o = P_{pc} = \Gamma_a(t_x) = P_{\text{нфа}}$ .

Следовательно, вероятность нормального функционирования будет определяться таким выражением:

$$P_{\text{нфа}} = \left( 1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \frac{\lambda_3}{\mu_3} \right)^{-1}. \quad (2.44)$$

Уравнение (2.44) имеет более простой вид и вполне может быть использовано в целях практической оценки надежности функционирования агрегата. В частности, мы воспользуемся этим выражением (в главе 5) для оценки надежности уборочных агрегатов с учетом определенных экспериментально параметров  $\lambda$  и  $\mu$ .

## **2.7. Прогнозирование надежности технологических систем на вероятностно-статистической основе**

Прогнозирование основывается на определении и анализе основных показателей надежности ТС на предстоящий период её функционирования. Главная цель при этом заключается в создании системы, которая обеспечит выполнение необходимого задания (объема работ) в планируемые сроки. Поэтому основная задача – определить потенциальные возможности создаваемой системы.

Надо отметить, что прогнозирование надежности машин и их элементов достаточно полно обосновано и в методологическом, и в практическом отношениях. В качестве примера сошлемся на работу В.М. Михлина [27].

Применительно к рассматриваемой технологической системе, на наш взгляд, нужен несколько иной подход. Рассмотрим (как вариант) возможный подход к прогнозированию надежности ТС.

Вероятность выполнения системой производственного задания (т.е. выполнение заданного объема работы в намеченный срок) на вероятностной основе можно определить по формуле (2.4). Это и будет одним из вариантов прогноза надежности технологической системы на предстоящий период. Однако формула (2.4.) непосредственно для практических расчетов трудно применима, поэтому целесообразно приблизить расчет к известным в теории машиноиспользования выражениям.

При проектировании и организации технологических систем условие выполнения производственного задания, конечно, предусматривается на основе предварительных расчетов. Если требуется выполнить заданный объем работ  $F$ , а время выполнения ограничено календарным периодом  $D_K$ , то своевременность выполнения задания обычно определяется из условия:

$$F \leq W_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}} \cdot D_K \cdot K_{\Pi} \cdot N \cdot K_{\Gamma}, \quad (2.45)$$

где  $W_{\text{см}}$  – сменная нормативная производительность основного технологического агрегата;

$K_{\text{см}}$  – коэффициент сменности;

$K_{\Pi}$  – коэффициент погодности;

$N$  – количество основных технологических машин в системе (в комплексе, в отряде и т.п.);

$K_{\Gamma}$  – коэффициент готовности техники.

Формула (2.45) фактически увязывает основы рационального машиноиспользования с теорией надежности. Ведь в соответствии с принятой нами концепцией, когда под термином «надежность ТСМПР» понимается способ-

ность этой системы своевременно выполнить производственное задание, расчет по формуле (2.45) является по существу прогнозом (или предварительной оценкой) надежности системы.

Осуществляя такой расчет, принимаются обоснованные значения соответствующих параметров. При этом наиболее важные факторы, снижающие надежность системы, учитываются. В частности, надежность техники учитывается коэффициентом  $K_{\Gamma}$ ; невозможность полностью использовать для работы период  $D_K$  из-за метеорологических условий учитывается коэффициентом погодности ( $K_{\Pi}$ ).

Таким образом, выражение (2.45) с позиций теории надежности предусматривает резервирование. Корректировка  $N$  путем учёта  $K_{\Gamma}$  является структурным резервированием, более полное использование времени суток за счет сменного режима работы ( $K_{\text{см}}$ ) – это, по существу, функциональное резервирование, которое наряду с учётом погодных условий является также фактором временного резервирования и одним из основных источников планируемой временной избыточности в системе.

При проектировании системы, как правило, исходят из условия равенства в выражении (2.45), и выполнение задания в срок предусматривается за счёт выделения в систему достаточного количества техники ( $N$ ) и обеспечения нормативной дневной производительности ( $W_{\text{см}}, K_{\text{см}}$ ) –  $W_{\text{дн}}$ .

Уточнив физический смысл намеченных расчетов при прогнозировании, можно вновь увязать их с вероятностным подходом на основе формулы (2.4).

Если ввести в эту формулу несколько иные обозначения, вытекающие из выражения (2.45), то её можно записать так:

$$P_F = P_N \cdot P_W \cdot P_{\delta y}, \quad (2.46)$$

где  $P_F$  – вероятность выполнения планового объема работ  $F$  в заданный срок  $D_K$  (т.е.  $P_F = P_{вз}$ );

$P_N$  – вероятность выделения требуемого количества техники – это  $P_{op}$ ;

$P_W$  – вероятность достижения техникой нормативной (расчетной) дневной производительности ( $P_W = P_{нф} \cdot P_{оп} \cdot P_{тп}$ );

$P_{\delta y}$  – вероятность благоприятных (расчетных) метеорологических условий.

Величину  $P_N$  можно определить так:

$$P_N = N_{\phi} / N_p,$$

где  $N_{\phi}$  – фактическое количество основных технологических машин, которое может быть выделено в систему;

$N_p$  – требуемое (по расчету) количество машин.

Величину  $N_p$  можно определить также из выражения (2.45) для оптимальных агротехнических сроков ( $D_K$ ) и обоснованных значений других факторов. Для практического применения этого будет вполне достаточно, хотя в научно-методологическом плане это довольно сложный вопрос, который будет предметом более глубокого анализа в следующей главе.

Величина  $P_W$  – это вероятность бессрывного функционирования системы. Как было ранее отмечено, при ста-

статистическом определении она равна коэффициенту обеспечения производительности ( $P_W = P_{\text{бс}} = K_{\text{оп}}$ ). Расчет величины  $K_{\text{оп}}$  осуществляется по данным предшествующей эксплуатации по формуле (2.6).  $P_{\delta y}$  – это вероятность того, что простой из-за метеорологических условий не превысят заложенную в расчеты временную избыточность (на основе учета коэффициента погодности –  $K_{\text{п}}$ ). В расчётах необходимо точнее учитывать погодные условия на основе средних многолетних данных и прогноза погоды на предстоящий период. Более детально вопрос будет рассмотрен в следующей главе.

Если принять ( $P_F = P_N \cdot P_W \cdot P_{\delta y} = 1$ ), то при изменении метеорологических условий можно установить необходимую степень компенсации числа машин (например, за счет маневра техникой или повышения дневной производительности).

Формулы (2.45) и (2.4) имеют одинаковый смысл, только в (2.45) организационные и технологические факторы учитываются не непосредственно, а косвенно – через  $P_W$  (при статистическом подходе), или принимается, что процесс организован правильно и  $P_{\text{оп}}$  и  $P_{\text{тп}}$  равны 1 (при вероятностном подходе).

Таким образом, комплексный показатель надежности – вероятность выполнения системой производственного задания ( $P_{\text{вз}}$ ) – наиболее приемлем для оценки надежности ТСМПР на стадии проектирования, т.е. для предварительной оценки или прогноза. При определении этого показателя используются как вероятностные ( $P_W, P_{\delta y}$ ), так и статистические параметры ( $K_{\text{оп}}, K_{\text{п}}$ ).

Текущую оценку надежности ТСМПР также можно осуществить на вероятностно-статистической основе, используя показатели:  $P_{\text{нф}}$ ,  $K_{\text{п}}$ ,  $K_{\text{ОП}}$ . Правда, на наш взгляд, вероятность надежного функционирования ( $P_{\text{нф}}$ ) более точно характеризует надежность отдельных агрегатов. При оценке работы всего технологического комплекса машин этот показатель может дать завышенный уровень надежности.

Для более глубокого научного анализа или дальнейшего исследования прогнозирование и оценку надежности можно осуществить на основе теоретических предположений, изложенных в (п. 2.4).

Там, в частности, было показано, что могут быть два подхода: первый – на основе анализа схемы соединения элементов системы (схемный расчет надежности), а второй – на основе факторной модели надежности ТСМПР.

Первый подход практически нами в принципе реализован, так как последовательность рассуждения и все промежуточные формулы приведены (этот материал изложен в п.2.4; 2.5 и 2.6), а для конечных расчетов нужны многочисленные экспериментальные данные (см. формулы (2.8), (2.9), (2.11), (2.12), (2.18), (2.34), (2.41), (2.44)).

Что касается факторной модели, то она в целом представлена формулой (2.15). Ее практическое использование также связано с необходимостью наличия многих данных, которые можно получить только экспериментально. Для некоторых систем, экспериментальное исследование которых нами проводилось, полученные данные будут приведены далее.

## **2.8. Оценка надежности технологической системы по параметрам производительности**

Наш подход (как ранее уже было отмечено) в целом базируется на использовании элементов классической теории надежности и основ теории эксплуатации машинно-тракторного парка. Здесь освещается один из аспектов оценки надежности технологической системы (ТС) по параметрам ее производительности, поскольку надежность ТС в нашей концепции – это свойство, характеризующее надежность достижения цели. Производительность ТС в данном случае является мерой ее надежности [29].

Подчеркнем еще раз, что понятие отказа здесь конкретизируется следующим образом: отказ – это простой агрегатов: либо любой незапланированный простой, либо простой, предусмотренный регламентом технологического процесса или режима работы, но по длительности превышающий нормативы.

Главным фактором, таким образом, является временной параметр. В теории машиноиспользования этот фактор выражается коэффициентом использования времени смены ( $\tau$ ), а с позиций теории надежности – это коэффициент готовности системы ( $K_r$ ) или коэффициент обеспечения нормативной производительности ( $K_{оп}$ ), который определяется как отношение средней производительности ТС за какой-либо период времени к нормативной производительности за этот же период (2.6).

Оценка надежности ТС на этапе функционирования чаще всего определяется по существу по параметрам производительности. Расчет показателя  $K_{оп}$  непосредственно связан с уровнем производительности, а величина  $K_r$  отражает производительность через степень использования времени смены:

$$K_r = \frac{\sum_1^n T_{\text{бо}}^i}{\sum_1^n T_{\text{бо}}^i + \sum_1^n T_{\text{в}}^i}, \quad (2.47)$$

где  $T_{\text{бо}}^i$  – продолжительность работы между двумя смежными отказами;

$T_{\text{в}}^i$  – продолжительность устранения каждого отказа;  
 $i = 1 \dots n$  – количество отказов.

Поскольку  $\sum_1^n T_{\text{бо}}^i$  – есть не что иное, как время чистой работы  $T_p$ , а  $\sum_1^n T_{\text{в}}^i$  – суммарное время простоев ( $t_{\text{пр}}$ ), то можно  $K_r$  с некоторым допущением заменить коэффициентом использования времени смены

$$\tau = \frac{T_p}{T_p + t_{\text{пр}}}.$$

Для машинного агрегата, связанного с обработкой площадей, сменную производительность агрегата, как известно, выражает формула [10]

$$W_{\text{см}} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_{\text{см}} \cdot \tau,$$

где  $B_p$  и  $V_p$  – соответственно рабочие ширина захвата (м) и скорость движения, км/ч;

$T_{\text{см}}$  – продолжительность смены, ч;

$\tau$  – коэффициент использования времени смены.

Здесь величина ( $\tau$ ) учитывает все потери времени смены. Это прежде всего простои по разным причинам, а также время поворотов и холостых переездов (в этом и будет состоять некоторое допущение, если заменить  $K_r$  на  $\tau$ ). Однако в нашей концепции, когда практически все простои



и непроизводительные затраты времени рассматриваются как отказ технологической системы, учет общей продолжительности простоев ( $t_{\text{пр}}$ ) уже не будет существенной ошибкой.

Тогда можно взаимосвязь этих величин выразить следующим образом:

$$T_p = \frac{W_{\text{см}}}{0,1B_p \cdot V_p} = T_{\text{см}} \cdot \tau, \text{ где } \tau = \frac{T_p}{T_p + t_{\text{пр}}}.$$

Если рассматривать (как условились) простои агрегата как его отказы и принять  $\tau = K_r$ , тогда  $K_r \cdot t_{\text{пр}} = T_p (1 - K_r)$ ,

или  $K_r \cdot t_{\text{пр}} = \frac{W_{\text{см}}}{0,1B_p \cdot V_p} (1 - K_r)$ , откуда

$$W_{\text{см}} = 0,1B_p \cdot V_p \frac{K_r \cdot t_{\text{пр}}}{(1 - K_r)}. \quad (2.48)$$

Формула (2.45) увязывает производительность агрегата с его надежностью и позволяет в принципе делать оценки по взаимному влиянию (и взаимозависимости) этих показателей.

Тесная связь коэффициента использования времени смены ( $\tau$ ) и надежности агрегата показана, в частности, в основном учебнике по производственной эксплуатации МТП [10]. Рассматривая отрезки времени между различными состояниями агрегата (имея в виду его простои по различным причинам) и определяя вероятности этих состояний с использованием теории марковских процессов, авторами было показано, что вероятность пребывания агрегата в работоспособном состоянии ( $P_{\text{рс}}$ ) можно принять равной коэффициенту использования времени смены ( $\tau$ ).

С другой стороны, используя анализ графа переходов машинного агрегата в различные состояния, при трех видах отказов (простои по техническим, технологическим

причинам и из-за транспорта) нами была получена (см. 2.6.3) следующая зависимость (2.44):

$$P_{pc} = \left( 1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \frac{\lambda_3}{\mu_3} \right)^{-1}.$$

Значит формулу для расчета производительности можно представить таким образом:

$$W_{cm} = 0,1 B_p \cdot V_p \cdot T_{cm} \cdot \left( 1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \frac{\lambda_3}{\mu_3} \right)^{-1} \text{ (га)}, \quad (2.49)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – интенсивности отказов, а  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$  – интенсивности восстановлений соответствующих видов отказов.

Если в процессе функционирования фактическая величина производительности будет меньше расчетной (при тех же параметрах  $B_p, V_p$  и  $T_{cm}$ ), значит снизилась надежность агрегата. Конкретную причину можно установить, анализируя простои агрегата. Для более детального изучения следует провести дополнительные хронометражные и другие наблюдения.

Еще более очевидную и практически доступную оценку надежности системы (например, уборочного комплекса) можно дать по его фактической дневной производительности, которая, конечно, учитывается и находится под контролем.

Сравнивая ежедневную фактическую производительность системы с плановой (расчетной), можно оперативно давать оценку надежности функционирования системы по основному (итоговому) показателю – вероятности своевременного выполнения производственного задания, а также предпринимать соответствующие меры.

В настоящее время при наличии бортовых (и других) компьютеров и навигационных систем такой учет становится реально возможным и доступным. Дело за разра-

боткой конкретных программ для автоматизированных систем учета и анализа.

Как следует из последних публикаций [36], на этом пути уже имеются конкретные результаты. Ведутся работы в этом направлении и в нашем университете.

## **2.9. Экономические аспекты оценки надежности сельскохозяйственной техники и технологических систем**

Экономическая оценка уровня эксплуатационной надежности сельскохозяйственной техники (как и ТС в целом), безусловно, имеет важное значение и должна быть учтена при проектировании технологических систем.

Оценка потерь от простоев техники, в том числе и обусловленных недостаточной ее надежностью, находит отражение во многих исследованиях и публикациях [8, 41]. Подходы в основном определились, но конкретные методы целесообразно развивать и совершенствовать.

Рассмотрим несколько вариантов возможных ситуаций.

1. Чаще всего простои из-за отказов техники приводят к затягиванию сроков выполнения технологических процессов, что увеличивает потери урожая.

2. При использовании недостаточно надежной техники сельхозтоваропроизводители вынуждены содержать более многочисленный парк машин, чтобы компенсировать снижение темпов работ (из-за отказов) и выполнить плановые объемы в рекомендуемые агротехнические сроки.

Эта мера может быть использована также с учетом всех видов отказов в системе с целью повышения ее надежности и обеспечения более высокой производительности). Компенсация обычно осуществляется не только за счет увеличения количества аналогичных по производительности технологических машин, но также путем попол-

нения парка новой, более совершенной (в т.ч. импортной) техникой.

3. Если в хозяйстве нет достаточного количества надежных машин, то их можно временно привлечь со стороны: из соседнего хозяйства, с машинно-технологической станции на основе аренды, проката и других договорных форм временного использования техники.

Все эти ситуации связаны с дополнительными потерями из-за недостаточного уровня надежности машин и технологических систем. Рассмотрим их более подробно.

1. *В первом случае* материальные потери ( $C_n$ ) обусловлены в основном двумя причинами: необходимостью восстановления работоспособности (ремонта) машин ( $C_p$ ) и наличием потерь урожая в связи с изменением сроков работ ( $C_{\pi}$ ):

$$C_n = C_p + C_{\pi}. \quad (2.50)$$

Величина  $C_p$  в большей мере зависит от стоимости требуемых запасных частей и материалов.

Величина  $C_{\pi}$  зависит от многих факторов (климатических, агротехнических и др.), но с точки зрения надежности машин в конкретных условиях изменяется пропорционально продолжительности простоев, т.е.

$$C_{\pi} = f(t_{\pi p}).$$

Зависимость потерь урожая из-за увеличения продолжительности выполнения процессов исследована и рассмотрена нами в (п. 3.2). Используем полученный там результат для анализа данной производственной ситуации.

Для примера рассмотрим простейший случай, когда весь объем работы ( $F_o$ ) одновременно готов к выполнению, а коэффициент относительных потерь ( $K_{\pi d}$ ) урожая ( $U$ ) не зависит от времени ( $t_{\pi p}$ ). Тогда величина потерь урожая ( $\Delta\Pi_y$ ) будет равна:

$$\Delta\Pi_y = \frac{1}{2} K_{\pi d} \cdot U \cdot F_o \cdot t_{\pi p}. \quad (2.51)$$

Используем комплексный показатель надежности –

коэффициент готовности ( $K_r$ ), который связывает уровень надежности с величиной простоев и продолжительностью восстановления работоспособности машины. При этом надо условиться, что время простоев по другим причинам, не связанным с надежностью техники, не учитывается.

Так как  $K_r = \frac{T_p}{T_p + t_{пр}}$ , откуда

$$t_{пр} = T_p \frac{(1 - K_r)}{K_r}, \text{ значит}$$

$$\Delta\Pi_y = \frac{1}{2} K_{пд} \cdot U \cdot F_o \cdot T_p \cdot \left( \frac{1 - K_r}{K_r} \right). \quad (2.52)$$

В формуле (2.52), которая показывает принципиальную зависимость потерь урожая от уровня надежности техники, значение  $K_r$  принимается по фактическому уровню ( $K_{гф}$ ). Однако даже в новой машине величина  $K_r$  не равна единице, а имеет некоторый, предусмотренный производителем техники, уровень (будем считать его нормативным и известным) –  $K_{гн}$ .

Нам надо учесть долю увеличения потерь ( $\Delta\Pi_y$ ) в связи с изменением фактической величины ( $K_{гф}$ ) в отличие от начального (нормативного –  $K_{гн}$ ) значения. То есть учитывается только та часть длительности простоев, которая обусловлена снижением уровня надежности от величины  $K_{гн}$  до  $K_{гф}$ . Эта величина  $\Delta t_{пр}$  будет равна:

$$\Delta t_{пр} = T_p \left( \frac{1 - K_{гн}}{K_{гн}} - \frac{1 - K_{гф}}{K_{гф}} \right).$$

Тогда более точное выражение для  $\Delta\Pi_y$  будет таким:

$$\Delta\Pi_y = \frac{1}{2} K_{пд} \cdot U \cdot F_o \cdot T_p \cdot \left( \frac{1 - K_{гн}}{K_{гн}} - \frac{1 - K_{гф}}{K_{гф}} \right).$$

Время работы  $T_p$  можно считать величиной, независимой от уровня надежности, т.е. это нормативная продолжительность выполнения работы

$$T_p = \frac{F_o}{W_n},$$

где  $W_n$  – нормативная производительность машины.

Если в денежном выражении величину  $C_n$  выразить через цену урожая  $C_y$  ( $C_n = \Delta\Pi_y \cdot C_y$ ), то тогда общий убыток от снижения уровня надежности машины будет равен:

$$C_n = \frac{1}{2} K_{нд} \cdot U \cdot F_o \cdot T_p \cdot C_y \left( \frac{1 - K_{гн}}{K_{гн}} - \frac{1 - K_{гф}}{K_{гф}} \right) + C_p. \quad (2.53)$$

Рассмотренная ситуация с использованием реально сложившегося в хозяйстве парка технологических машин, имеющих разный возраст и фактический уровень надежности, является типичной.

Изложенный подход позволяет оценить экономические потери при эксплуатации старой и изношенной техники, а также в качестве обоснования целесообразности ее обновления и замены.

*2. В ситуации, когда недостаточная надежность основных технологических машин компенсируется увеличением их общего количества, величину экономических потерь будут определять дополнительные затраты на приобретение недостающей техники и на ее содержание. Имеется в виду, что срок выполнения работ не увеличивается, и потери урожая не изменяются.*

Метод расчета экономических потерь от ненадежности машин в этом случае будет следующим.

При использовании машин с нормативным уровнем надежности ( $K_{гн}$ ) и нормативной производительностью ( $W_n$ ) для выполнения заданного объема работ ( $F_o$ ) в рекомендуемые агротехникой сроки ( $D_p$ ) потребуется такое их

количество:

$$N_1 = \frac{F_o}{D_p \cdot W_n}.$$

Если же машины будут менее надежны в работе (из-за отказов их выработка  $W_{cp}$  будет меньше  $W_n$ ), то их потребуется:

$$N_2 = \frac{F_o}{D_p \cdot W_{cp}}.$$

Дополнительное их число в этом случае будет равно:

$$N_d = N_2 - N_1 = \frac{F_o}{D_p} \left( \frac{1}{W_{cp}} - \frac{1}{W_n} \right).$$

Принимая  $W_{cp} = W_n \cdot K_{гф}$ , получим:

$$N_d = \frac{F_o}{D_p \cdot W_n} \left( \frac{1}{K_{гф}} - 1 \right). \quad (2.54)$$

В таком варианте за величину материальных потерь от ненадежности можно принять затраты на приобретение и содержание дополнительных машин ( $C_{дм}$ ), а также затраты на устранение неисправностей ( $C_p$ ).

Затраты на зарплату, горючесмазочные материалы, ремонт и техническое обслуживание пропорциональны объему работ и не зависят от числа машин, а затраты на амортизацию техники ( $A_m$ ) и ее хранение ( $X_m$ ) увеличиваются пропорционально количеству машин. Относительные затраты на приобретение одной машины можно принять равными произведению цены машины ( $C_m$ ) на коэффициент эффективности капиталовложений ( $E_n$ ).

Тогда общие экономические потери от низкого уровня надежности машин составят:

$$C_n = \frac{F_o}{D_p \cdot W_n} \left( \frac{1}{K_{гф}} - 1 \right) \cdot (A_m + X_m + C_m \cdot E_n) + C_p. \quad (2.55)$$

В этой формуле затраты  $A_m$ ,  $X_m$  берутся из расчета на одну машину. Отметим, что изложенный подход имеет несколько условный характер. Однако для ориентировочных проектных расчетов он может быть вполне приемлемым.

Допустим, хозяйство имеет парк зерноуборочных комбайнов численностью  $N_{фi}$ , который суммарно может обеспечить суточный (дневной) темп уборки в данных условиях, равный  $W_{днт}$ . При этом уборку можно выполнить за  $D_p$  дней при уровне потерь  $P_y$ . Однако существующий вариант наличия техники не удовлетворяет. Причины могут быть разные, главная из которых будет заключаться в недостаточном темпе обеспечения хода работ, вследствие чего уборка затягивается, и потери урожая могут достигать значительной величины. Обычно это происходит из-за недостаточной производительности и надежности выполнения имеющегося объема работ. В этих условиях необходимо осуществлять обновление парка машин путем приобретения более производительных и надежных комбайнов, обеспечивающих проведение уборочных работ в более сжатые сроки и сокращение потерь урожая.

Экономическая целесообразность такого решения, которое приводит к возможности формирования более надежных и эффективных технологических систем, может быть определена путем сопоставления приведенных затрат, а еще точнее – дифференциальных затрат (с учетом потерь урожая) по двум вариантам: фактическому и предполагаемому.

Методику такого анализа мы не рассматриваем, т.к. она, во-первых, достаточно освещена в литературе и применяется на практике, и мы не вносим в нее каких-либо существенных дополнений. А во-вторых, мы здесь анали-



зируем экономические аспекты прежде всего с позиции надежности (или ненадежности) сельскохозяйственной техники и технологических систем.

*3. Далее рассмотрим ситуацию, когда недостаточно надежное функционирование технологической системы, в том числе и из-за низкого уровня надежности техники, компенсируется путем временного дополнительного ее привлечения со стороны (маневр техникой).*

Этот вариант более детально рассмотрен в главе 3 на вероятностной основе и с учетом метеорологических прогнозов.

Установлено, в частности, что целесообразность маневра техникой (т.е. дополнительного ее привлечения) определяет выражение:

$$P_{\text{ну}} > \frac{Z_{\text{мт}}}{\Delta\Pi_y}, \quad (2.56)$$

где  $P_{\text{ну}}$  – вероятность неблагоприятных условий;

$Z_{\text{мт}}$  – затраты, связанные с маневром техники;

$\Delta\Pi_y$  – стоимость дополнительных потерь урожая.

Путем сравнения указанных трех величин можно принимать решение о привлечении дополнительной техники, а также оценивать экономические последствия от возможных хозяйственных ситуаций и вариантов решений.

Мы рассмотрели, таким образом, варианты экономической оценки уровня надежности используемой техники и в целом технологических систем, когда начальный (нормативный) уровень надежности и соответствующий уровень производительности являются заданными или известными.

## 2.10. Заключение

В заключении по материалам данной главы обратим внимание на три аспекта, вытекающих из ее содержания.

**Первый** – это исходная позиция автора, положенная в основу общей концепции надежности ТС и подхода к ее исследованию. Надежность ТС в нашей интерпретации – это способность системы выполнить плановое задание в установленный срок с учетом всех видов простоев (по различным причинам) основных технологических машин.

Анализ надежности ТС осуществляется с использованием элементов классической теории надежности и теоретических основ машиноиспользования. Объединение теоретических положений из этих смежных областей должно привести, по нашему мнению, к обогащению методологической базы для обоснования путей и методов повышения надежности технологических систем. Объединяющей основой при этом является системный подход.

**Второй аспект** – это выполненный анализ надежности ТС, характеризующийся совокупностью рассмотрения и решения комплекса важных задач и позволяющий сделать следующие выводы:

- определены показатели надежности ТС, имеющие комплексный характер и вероятностно-статистическую основу;

- установлено, что к общей оценке надежности ТС может быть два подхода: на основе расчета в соответствии со структурной схемой надежности (ССН) системы, а также на основе факторной модели. Рассмотрены закономерности отказов первичных элементов системы: техники и операторов (механизаторов);

- выполнено достаточно полное и глубокое аналитическое исследование и обоснование трех различных ме-

тодов оценки надежности функционирования машинных агрегатов;

– предпринята попытка (на наш взгляд, результативная) усовершенствовать методы прогнозирования и оценки надежности ТС по параметрам производительности, а также методов экономического анализа путей повышения (и обеспечения) надежности систем при их проектировании и эксплуатации.

Рассмотренная методология анализа надежности технологических систем хотя и не является, по нашему мнению, в полной мере законченной, но это очередной шаг на пути ее развития.

**Третий аспект** определяет основные направления наших исследований по проблеме надежности ТСМПР, связанные с поиском резервов, путей и методов ее повышения.

Прежде всего, надо совершенствовать методы определения потребности в основных технологических машинах (ОТМ) для формирования надежных ТС. При этом желательно учесть стохастический характер системы и ее неопределенность (связанную с метеорологическими условиями и их прогнозом). Из возможных причин отказов ОТМ, требующих первоочередного изучения, как следует из литературных источников и практики, надо выделить простой из-за технических неисправностей и недостаточно согласованного взаимодействия ОТМ с подсистемой СТС (сборочно-транспортные средства).

Отдельными направлениями исследований, определяющими методы повышения надежности и эффективности ТС, являются изучение вопросов рационального технологического проектирования (подсистема ПТП), организационных форм использования техники, формирования и работы первичного трудового коллектива механизаторов (подсистема ПТК).

Это основные направления, а в каждом из них можно составить довольно значительный перечень вопросов, связанных с обеспечением надежности ТС.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Анилович В.Я.* Обеспечение надежности сельскохозяйственной техники / В.Я. Анилович, В.Г. Карпов. – Киев: Техника, 1989. – 125 с.
2. *Блынский Ю.Н.* Расчет технологических уборочно-транспортных систем с учетом их надежности. – Новосибирск, 1986. – 53 с.
3. *Вентцель Е.С.* Исследование операций. – М.: Сов. радио, 1972. – 551 с.
4. *Голиков Р.П.* Исследование процесса восстановления работоспособности зерноуборочных комбайнов уборочно-транспортных комплексов: дис... канд. техн. наук. – Новосибирск, 1980. – 222 с.
5. *Гнеденко Б.В.* Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
6. *Губинский А.И.* Надежность и качество функционирования эргатических систем. – Л.: Наука. Ленингр. отделение, 1982. – 270 с.
7. *ГОСТ 27.002-89.* Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 69 с.
8. *Гулин М.А.* Оценка экономической эффективности сельхозмашин от повышения уровня их надежности / М.А. Гулин, В.И. Савин, Н.П. Гавриш // Тракторы и сельхозмашины. – 1984. – № 2. – С. 24-25.
9. *Гунер Л.И.* Оптимизация системы специализированного обслуживания комплекса машин / Л.И. Гунер, В.В. Лазовский, П.В. Привалов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1980. – № 5. – С. 5-9.

10. *Зангиев А.А.* Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка / А.А. Зангиев, Г.П. Лышко, А.Н. Скороходов. – М.: Колос, 1996. – 320 с.
11. *Ермолов Л.С.* Повышение надежности сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1979. – 225 с.
12. *Каменский А.С.* О прогнозировании надежности сельскохозяйственных машин в свете методов системного анализа / А.С. Каменский, А.Ф. Кононенко // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1981. – № 11. – С. 3-7.
13. *Каплун Г.П.* Обеспечение и оптимизация работоспособности сельскохозяйственной техники при комплексном ее использовании: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Минск, 1980. – 40 с.
14. *Кононенко А.Ф.* Системные методы обеспечения надежности и эффективности сельскохозяйственной техники / А.Ф. Кононенко, А.С. Каменский. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1986. – 102 с.
15. *Коробко Н.П.* Исследование эксплуатационно-технической надежности мобильных сельскохозяйственных агрегатов (на примере уборки зерновых культур в Нечерноземной зоне): автореф. дис... канд. техн. наук. – Л.; Пушкин, 1979. – 17 с.
16. *Креденцер Б.П.* Прогнозирование надежности систем с временной избыточностью. – Киев: Наукова думка, 1978. – 238 с.
17. *Кряжков В.М.* Надежность и качество сельскохозяйственной техники. – М.: Агропромиздат, 1989. – 355 с.
18. *Кубарев А.И.* Исследования и стандартизация в области надежности технологических систем // Эффективность, качество и надежность эрготехнических систем: материалы Всесоюз. симпоз. – М., 1981. – С. 59-61.
19. *Кубарев А.И.* Надежность в машиностроении. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 224 с.

20. *Кугель Р.В.* Надежность машин массового спроса. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
21. *Лазовский В.В.* Устойчивость технологических комплексов в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1986. – 86 с.
22. *Липкович И.Э.* Надежность человекомашинных систем // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2002. – № 1. – С. 10.
23. *Липовецкий Э.Г.* Метод расчета оценки надежности парка сельскохозяйственных машин // Тракторы и сельхозмашины. – 1970 – № 7. – С. 22-23.
24. *Лисунов Е.А.* Повышение эффективности использования сельскохозяйственных машин периодического применения путем оптимизации надежности и резервирования (на примере комбайнов): автореф. дис... д-ра техн. наук. – Л.; Пушкин, 1986. – 33 с.
25. *Ломоносов Ю.Н.* Основы надежности сельскохозяйственной техники. – Челябинск, 1980. – 128 с.
26. *Методы определения и контроля надежности больших систем* / под ред. А.А. Червоного. – М.: Энергия, 1976. – 264 с.
27. *Михлин В.М.* Управление надежностью сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1984. – 335 с.
28. *Мкртумян В.С.* Научные основы надежности технологических систем животноводческих ферм: автореф. дис... д-ра техн. наук. – Новосибирск, 1977. – 40 с.
29. *Надежность в технике. Технологические системы.* Расчет надежности по параметрам производительности. Общие положения: метод. рекомендации. МР 32-81. – М., 1981. – 34 с.
30. *Надежность и эффективность в технике: справочник:* в 10 т. Т. 2. Методология. Организация. Терминология / под. ред. А.И. Рембеза. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.

31. *Надежность и ремонт машин* / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов и др. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
32. *Натарзан В.М.* Основные направления исследований по управлению работоспособностью технологических систем в сельском хозяйстве Сибири // Науч.-техн. бюл. / СибИМЭ. – 1979. – Вып. 2. – С. 3-6.
33. *Натарзан В.М.* Работоспособность технологических систем в сельском хозяйстве Сибири // Инженерно-техническое обеспечение сельского хозяйства Сибири. – Новосибирск, 1982. – С. 41-46.
34. *Немцев А.Е.* Система технического сервиса в АПК / РАСХН. Сиб. отд-ние. СибИМЭ. – Новосибирск, 2002. – 264 с.
35. *Немцев А.Е.* Обоснование и оценка уровня надежности сельскохозяйственной техники // Аграр. наука. – 1996. – № 2. – С. 27.
36. *Никитченко С.Л.* Автоматизированный контроль надежности технологической системы растениеводства / С.Л. Никитченко, Е.В. Мохирев, М.Ю. Севостьянов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2010. – № 7. – С. 31-32.
37. *Овчинникова Н.И.* Надежность функционирования мобильных человеко-машинных технологических систем в растениеводстве: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Новосибирск, 2000. – 43 с.
38. *Овчинникова Н.И.* Оценка надежности технологической системы и ее компонент // Материалы 5-й Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2002. – С. 537-538.
39. *Остроумов В.Л.* Надежность машинно-тракторного парка и пути ее повышения // Науч.-техн. бюл. / СибИМЭ. – Новосибирск, 1973. – С. 15-18.
40. *Павлов Б.В.* Технический сервис в сельскохозяйственных предприятиях и организациях // Сб. статей / под

ред. Г.Е. Чепурина; СибИМЭ. – Новосибирск, 2005. – 176 с.

41. *Пискарев А.В.* Экономическая оценка уровня надежности машин для уборки зерновых культур // Совершенствование с.-х. техники, ее эксплуатации и ремонта: тр. Новосиб. с.-х. ин-та. – Новосибирск, 1969. – С. 16-20.
42. *Пискарев А.В.* Методы оценки надежности машинных агрегатов //Повышение эффективности работы сельскохозяйственной техники в условиях Западной Сибири/ Новосиб. с.-х. ин-т. – Новосибирск, 1985. – С. 46-52.
43. *Пискарев А.В.* Методологические аспекты оценки надежности технологических систем в растениеводстве //Техническое обеспечение производства сельскохозяйственных культур в Сибири / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1985. – С. 24-31.
44. *Пискарев А.В.* Методология оценки надежности технологических систем в растениеводстве. – Новосибирск, 1986. – 52 с.
45. *Пискарев А.В.* Общая концепция и показатели надежности технологических систем машиноиспользования в растениеводстве // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2009. – № 4. – С. 66-72.
46. *Пискарев А.В.* Оценка надежности технологической системы по параметрам производительности // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2010. – № 11. – С. 3-4.
47. *Плаксин А.М.* Обеспечение работоспособности машинно-тракторных агрегатов на предстоящие циклы использования в растениеводстве: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Челябинск, 1996. – 40 с.
48. *Плетнев И.Л.* Эффективность и надежность сложных систем / И.Л. Плетнев, А.И. Рембеза, Ю.А. Соколов,



- В.А. Чалый-Прилуцкий. – М.: Машиностроение, 1977. – 216 с.
49. *Попов В.П.* Вопросы теории расчета и оценки надежности машин. – М.: Машиностроение, 1968. – 84 с.
50. *Прибытков П.Ф.* Безотказность уборочных агрегатов и комплексов / П.Ф. Прибытков, В.Ф. Скоробач. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 207 с.
51. *Привалов П.В.* Методология организации технического сервиса комплексов машин в сельскохозяйственном производстве / Новосиб. гос. аграр. ун-т. – Новосибирск, 2001. – 236 с.
52. *Проников А.С.* Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
53. *Пушкин В.Г.* Проблемы надежности. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
54. *Саакян Д.Н.* Система показателей комплексной оценки мобильных машин. – М.: Агропромиздат, 1988. – 415 с.
55. *Тельнов Н.Ф.* Показатели надежности сельскохозяйственной техники // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1987. – № 6. – С. 24-25.
56. *Терских И.П.* Надежность процесса уборки зерновых прямым комбайнированием / И.П. Терских, Н.И. Овчинникова, В.М. Вильчинский. – Иркутск, 2002. – 360 с.
57. *Терских И.П.* Исследование надежности процессов машиноиспользования системным подходом // Вопросы эксплуатации МТИ в условиях Восточной Сибири. – Иркутск, 1980. – С. 3-5.
58. *Фанаржи Г.Н.* Оценка надежности восстанавливаемых систем // Основные вопросы теории и практики надежности. – М., 1971. – С. 60-81.
59. *Халфин М.А.* Проблемы надежности с.-х. техники // Сб. науч. тр./ ВИМ. – 1991. – Т. 125. – С. 23-30.

60. *Шалягин В.Н.* Оценка надежности МТА как технической системы // Науч.-техн. бюл. / ВИМ. – 1989. – Вып. 74. – С. 29-32.
61. *Шапиро Е.А.* Исследование эксплуатационной надежности машинно-тракторного парка с целью обоснования нормативов: автореф. дис... канд. техн. наук. – Л.; Пушкин, 1981. – 17 с.
62. *Шибанов Г.П.* Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника. – М.: Машиностроение, 1983. – 263 с.
63. *Червоный А.А.* Надежность сложных систем / А.А. Червоный, А.И. Лукьяненко, Л.В. Котин. – М.: Машиностроение, 1976. – 286 с.
64. *Черкесов Г.Н.* Надежность технических систем с временной избыточностью. – М.: Сов. радио, 1974. – 296 с.
65. *Черепанов С.С.* Совершенствование машиноиспользования в сельском хозяйстве. – М.: ГОСНИТИ, 1998. – 212 с.
66. *Чибухчян С.С.* Повышение надежности сложных технических систем // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2009. – № 3. – С. 32-33.

### **3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ АНАЛИЗА И РАСЧЕТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ НАДЕЖНОСТИ**

#### **3.1. Исходные положения и предпосылки**

Задачи обеспечения надежного функционирования технологических комплексов машин (ТКМ) во многом решаются уже на стадии их проектирования и формирования. Особое внимание при этом уделяется основным технологическим машинам (подсистеме ОТМ), хотя надо подчеркнуть, что на практике весь комплекс (ТКМ) формируется одновременно и все его подсистемы (ВТМ, СТС, ТОР) определяют надежность технологической системы в целом.

В данной главе анализ используемых методов расчета и теоретические основы их совершенствования рассматриваются прежде всего применительно к основным технологическим машинам.

В качестве исходного принято также положение о том, что мерой надежности является производительность технологической системы, а главным критерием является своевременность выполнения производственного задания ( $P_{в.з.}$ ,  $K_{в.з.}$ ). Такая концепция была обоснована в главе 2.

В отличие от предыдущей главы, где анализ базировался главным образом на классической теории надежности, здесь мы используем известные аналитические подходы общей теории рационального использования сельскохозяйственной техники. Важными, на наш взгляд, дополнениями к этим подходам являются предпринятые попытки более полного учета вероятностного характера изменения

погодных (а также хозяйственных) условий, урожайности и некоторых других факторов.

Условие достижения цели создаваемой системы на основе технологического комплекса машин – своевременное выполнение заданного производственного технологического процесса, выражается известным соотношением:

$$F_o = W_{\text{дн}} \cdot N \cdot D_{\text{к}} \cdot K_{\text{пог}} \cdot K_{\text{г}}, \quad (3.1)$$

где  $F_o$  – объем производственного задания для системы;

$W_{\text{дн}}$  – нормативная дневная производительность одной основной технологической машины;

$N$  – количество основных технологических машин, одновременно включенных в систему;

$D_{\text{к}}$  – календарная длительность выполнения задания;

$K_{\text{пог}}$  – коэффициент погодности за период  $D_{\text{к}}$ ;

$K_{\text{г}}$  – коэффициент готовности техники.

Если технологическая система предназначена для выполнения нескольких операций разнотипными машинами, то условие (3.1) относится прежде всего к основной операции и соответствующему типу машин.

Изучению взаимосвязи указанных выше параметров посвящено множество работ по эксплуатации машинно-тракторного парка. Однако научный анализ и практика эксплуатации техники в современных формах машиноиспользования постоянно открывают новые аспекты в неоднократно рассматриваемых вопросах.

Ключевым из них, определяющим потребность в машинах и состав систем, является обоснование сроков проведения работ. Продолжительность выполнения технологических процессов сейчас определяется, как правило, на основе агротехнических рекомендаций или путем проведения технико-экономического обоснования и соответствующих расчетов. При этом важное место отводится учету и оценке потерь урожая, зависящих от сроков выполнения технологического процесса.

Агротехническое обоснование этих сроков базируется именно на анализе степени изменения потерь, а рациональная длительность работ определяется по приемлемому уровню потерь урожая.

При проведении технико-экономических расчетов длительность выполнения процессов находят из условия минимума удельных затрат на 1 га, включая и потери урожая.

Чаще всего удельные потери урожая  $P_y$  оцениваются выражением [53]:

$$P_y = K_{\pi} \cdot U \cdot D_p, \quad (3.2)$$

где  $K_{\pi}$  – относительная доля потерь урожая за каждый день,  $\frac{1}{\text{день/га}}$ ;

$U$  – расчетная урожайность без учета потерь, ц/га;

$D_p$  – продолжительность периода работы, рабочих дней.

Это выражение обладает рядом достоинств, в числе которых простота и возможность количественной оценки потерь, т.к. экспериментальные данные по величине  $K_{\pi}$  накоплены и обобщены по многим процессам.

Одновременно выражение (3.2.) основывается на ряде допущений, с которыми в случае проведения обобщенного анализа трудно согласиться.

Некоторое развитие этот вопрос получил в работе Ф.С. Завалишина [24], где он рассмотрен применительно к разным вариантам динамики накопления урожая. Однако здесь принята постоянной величина прироста (потерь) урожая, не учитываются изменение площадей в ходе работ и некоторые другие факторы.

Такое же положение сохраняется и в ранее опубликованных работах сотрудников ГОСНИТИ (под руководством доктора технических наук Х.Г. Барама) в связи с разработкой методики оценки потерь от простоев сельско-

хозяйственных агрегатов [5-8]. К тому же потери отнесены здесь к часу простоя машин и не учитывают физической картины хода работ в хозяйстве.

Таким образом, отмеченные работы базируются на ряде допущений. В частности, величина  $K_p$  принимается независимой от сроков, потери учитываются только в рабочие дни, хотя они имеют место в период всего календарного времени  $D_k$ , не учитывается динамика подготовки (созревания) полей к работам и темпы их выполнения. В силу этого выражение (3.2.) недостаточно точно отражает сущность хода производственных процессов и механизм образования потерь, а следовательно, и не полностью раскрывает пути возможного их снижения. Например, при возделывании зерновых культур с различными сроками вегетации даже за длительный период уборки потери могут быть минимальными.

Имеется ряд исследований, в которых авторы стремились уменьшить степень допущений и более точно учесть характер производственных процессов. Однако эти работы освещают, как правило, отдельные процессы и содержат некоторые из уже названных допущений [9, 11, 12, 14, 36 и др.].

Оптимальную длительность периода  $D_p^{\text{опт}}$  на основе обобщения работ, посвященных этому вопросу, можно представить в развернутом виде следующим образом:

$$D_p^{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2(Z_{\text{тз}} + Z_{\text{рз}})}{W_{\text{дн}} \cdot K_p \cdot U(C_{\text{и}} - C_{\text{рс}})}}, \quad (3.3)$$

где  $Z_{\text{тз}}$  – зависящая от сроков работ доля приведенных затрат на эксплуатацию техники, занятой на выполнении данного процесса, руб/га;

$Z_{\text{рз}}$  – зависящие от сроков работ затраты, связанные с привлечением дополнительных ресурсов, руб/га;

$C_{\text{и}}$  – цена готовой продукции, с получением которой

связан данный процесс, руб/ц;  
 $C_{pc}$  – стоимость работ на всех операциях, следующих  
за рассматриваемой, до получения конечного  
продукта, руб/га.

Обоснованию величины  $D_r^{opt}$  посвящены (наряду с  
отмеченными ранее) работы [4, 10, 11, 13, 17, 18, 34, 36, 62,  
63, 64 и др.].

Однако аналитическое исследование взаимозависимости сроков работ и потерь урожая целесообразно, по нашему мнению, продолжить и углубить.

При этом важно включить в анализ все основные факторы, влияющие на величину потерь урожая, с тем, чтобы получить наиболее полную аналитическую зависимость. Не ставится задача получить расчетную формулу, а надо иметь принципиальную возможность для анализа сущности процесса и возможности влияния на его протекание.

Требует более полного методического обоснования и учет урожайности при расчете  $D_r$  для процессов уборки, особенно при определении потребности в технике на перспективу.

Величина коэффициента погодности ( $K_{пог}$ ) обычно в расчетах принимается постоянной. В то же время опыт и статистические данные говорят о значительной изменчивости погодных условий во времени. Возникает необходимость дифференцированного подхода к величине  $K_{пог}$  по временному и территориальному признакам.

Весьма глубокие исследования по проектированию технологических процессов и систем в зависимости от складывающихся погодных (и в более широком смысле от климатических) условий выполнены А.Н. Важениным и его учениками [13, 14 и др.]. Разработаны ситуационные методы повышения эффективности для различных произ-

водственных процессов, основанные на довольно сложных математических моделях и использовании ЭВМ.

В нашей работе ставится задача обоснования метода дифференцированного учета метеорологических условий (через коэффициент  $K_{\text{пог}}$ ), простого и доступного для широкого практического применения. Обосновываются и некоторые другие методы использования агрометеорологической информации.

В частности, при планировании работ и проектировании технологических систем зачастую возникает необходимость корректировки числа включаемых в систему основных технологических машин. Особенно важно это при уборке урожая и, прежде всего, при неблагоприятных погодных (или хозяйственных) условиях. Такую ситуацию мы предполагаем проанализировать более детально для того, чтобы получить соответствующий метод повышения надежности системы с учетом неопределенности условий.

Важные и обоснованные рекомендации по проектированию технологических процессов в растениеводстве вытекают из работ [26, 55, 56]. В нашей работе рассматриваются аналогичные задачи, однако анализ проводится несколько с иных точек зрения, что обеспечивает в целом более полное освещение проблемы, решение которой далеко еще не завершено.

В данной главе рассматриваются некоторые разработанные нами методы, которые расширяют теоретическую и методологическую базу для принятия решений при проектировании процессов и технологических систем в растениеводстве. Они в целом не повторяют, а дополняют известные (опубликованные) подходы и вносят, по нашему мнению, вклад в совершенствование методов расчетов по машиноиспользованию с целью повышения надежности функционирования технологических комплексов машин и систем.



### **3.2. Аналитическое исследование и анализ зависимости потерь урожая от продолжительности выполнения технологических процессов**

Аналитическое исследование предусматривало получение более полной и общей математической модели названной зависимости. При этом мы стремились охватить и отразить наиболее общие черты и закономерности [45].

В частности, исследование величины потерь урожая, зависящих от сроков выполнения процессов, осуществлено с учетом следующих факторов:

- непостоянства величины относительных потерь, которая в ходе работ изменяется:  $K_{\pi} \neq \text{const}$ , т.е.  $K_{\pi} = f(t)$ ;
- неодновременной готовности полей к выполнению технологического процесса;
- темпов ведения работ и изменения площади, на которой учитываются потери;
- потерь урожая из-за несвоевременного выполнения последующего технологического процесса;
- потерь за весь календарный период работ ( $D_k$ ), длительность которого зависит не только от производительности техники, но и от организации работ, погодных условий и т.д.

В общем случае потери урожая  $P_y$  равны:

$$P_y = P_d + P_{\pi}, \quad (3.4)$$

где  $P_d$  – потери, зависящие от сроков выполнения данного технологического процесса;

$P_{\pi}$  – потери, связанные с изменением сроков выполнения последующего процесса.

Обычно величина  $P_{\pi}$  не учитывается. Для работ, предшествующих уборке урожая, такое допущение оправданно, так как экспериментальные данные, характеризующие величину относительных потерь, определяются в пе-

риод уборки и, таким образом, уже учитывают весь комплекс работ.

Однако при уборке урожая, когда несвоевременность выполнения последующих процессов (например, вспашки зяби) скажется только на урожае будущего года, величину  $\Pi_{\text{п}}$  целесообразно учитывать. И на практике, планируя уборку сельскохозяйственных культур, обычно это обстоятельство учитывается.

Величину потерь  $\Pi_{\text{д}}$  надо, очевидно, определять с площади, которая на данный (i-й) день ( $D_i$ ) технологически готова к обработке, но в силу ряда причин не была обработана ( $F_{\text{ост}}^i$ ):

$$F_{\text{ост}}^i = (\gamma \cdot F_0 - W_{\text{днт}}) D_i, \quad (3.5)$$

где  $\gamma$  – степень (коэффициент) неравномерности подготовки (созревания) полей, день<sup>-1</sup>;

$F_0$  – общая площадь в рассматриваемом процессе, га;

$W_{\text{днт}}$  – дневной темп выполнения процесса, га.

Неодновременная готовность полей к той или иной работе не вызывает сомнения. На уборке это связано с неодновременностью созревания, на посеве – с темпами предпосевной подготовки почвы и т.д. Однако в общем виде надо учесть и такой случай, когда вся площадь  $F_0$  одновременно готова (для отдельного поля, небольшого производственного подразделения и т.п.).

Величину  $\gamma$  в целях упрощения, но с достаточной точностью можно принять:

$$\gamma = \text{const} = \frac{1}{D_c}, \quad (3.6)$$

где  $D_c$  – длительность созревания (подготовки) полей.

Дневной темп работ при анализе также целесообразно принять постоянным, равным математическому ожиданию действительной величины:

$$W_{\text{днт}} = \frac{F_0}{D_k}, \text{ га/день}, \quad (3.7)$$

где  $D_k$  – календарная длительность выполнения процесса.

Характер протекания производственного процесса в этом типичном случае изображен на рис. 3.1. Линия ОА представляет в координатах площадь (F), время (t) – интенсивность созревания (подготовки) полей. Вид этой функции в пределах от 0 до  $t_c$ :

$$F_1 = F_c = \gamma F_0 t = \frac{F_0}{D_c} t. \quad (3.8)$$

Линия ОВ характеризует темпы выполнения процесса:

$$F_{\text{обр}} = W_{\text{днт}} t = \frac{F_0}{D_k} t. \quad (3.9)$$

Естественными ограничениями здесь являются условия:

$$F_c \leq F_0; F_{\text{обр}} \leq F_c.$$

Суммарная величина площади, с которой необходи-

мо учесть потери ( $F_{\text{пот}} = \sum_0^{D_k} F_{\text{ост}}^i$ ), может быть определена

интегрированием в пределах от 0 до  $t_c$  и от  $t_c$  до  $t_{\text{кд}}$ :

$$F_{\text{пот}} = \int_0^{t_c} (\gamma F_0 - W_{\text{днт}}) t \cdot dt + \int_{t_c}^{t_{\text{кд}}} (F_0 - W_{\text{днт}} t) dt. \quad (3.10)$$

Решение этого уравнения показывает, что площадь, с которой необходимо учесть потери за весь период работ, равна площади треугольника ОАВ (рис. 3.1), т.е.

$$F_{\text{пот}} = S_{\Delta \text{ OAB}} = 1/2 F_0 (D_k - D_c). \quad (3.11)$$

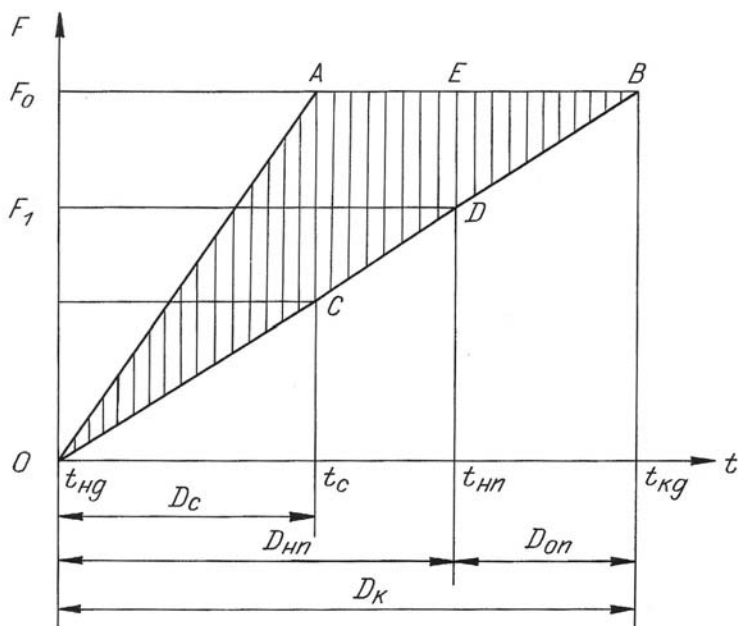


Рис. 3.1. Графическое изображение динамики созревания и уборки посевов

В период созревания (подготовки полей), т.е. в период времени от начала работ (готовности первого поля) до  $t_c$  (готовности всех полей, площадью  $F_0$ ), величину относительных потерь для данного процесса ( $K_{пд}$ ) можно принять постоянной, учитывая, что разрыв во времени между готовностью поля и его обработкой не будет значительным даже при разных темпах созревания и обработки.

Можно взять любую зависимость  $K_{пд} = f(t)$ , однако пределы интегрирования определить будет трудно. Начало отсчета времени «простоя» будет скользящим, так как очевидна последовательность обработки полей — по мере их созревания. Поэтому усложнение модели вряд ли будет оправданным.

Вполне обоснованно, учитывая кратковременность периода простоя, принять на отрезке времени от  $t_{\text{нд}} = 0$  до  $t_c$  значение  $K_{\text{пд}} = \text{const}$ .

В период от  $t_c$  до  $t_{\text{кд}}$ , когда созревание закончено, а длительность обработки оставшихся полей (их площадь равна  $F_0 - F_1 = W_{\text{днт}} D_c$ ) может быть продолжительной, целесообразно значение  $K_{\text{пд}}$  принять в виде функции  $K_{\text{пд}} = f(t)$ . Для зерновых культур после наступления спелости потери зависят от длительности перестоя, и эта зависимость не линейная [60, 63]. Для некоторых других процессов зависимость  $K_{\text{пд}} = f(t)$  носит линейный характер [24].

В общем случае принимаем:

$$K_{\text{пд}} = a t^n, \quad (3.12)$$

где  $a$  – постоянный параметр, зависящий в основном от культуры (сорт, агробиологические свойства) и природных условий;

$t$  – длительность периода от готовности площади к выполнению данного процесса до его завершения (например, от момента созревания культуры до окончания ее уборки);

$n$  – показатель степени.

Величины  $a$  и  $n$  определяются экспериментально. Тогда суммарные потери  $\Pi_d$  за весь период работ будут равны:

$$\Pi_d = \int_0^{t_c} K_{\text{пд}} U(\gamma F_0 - W_{\text{днт}} t) dt + \int_{t_c}^{t_{\text{кд}}} U(F_0 - W_{\text{днт}} t) a \cdot t^n \cdot dt. \quad (3.13)$$

Решение этого уравнения приводит к выражению:

$$\Pi_d = \frac{1}{2} K_{\text{пд}} \cdot U \cdot D_c^2 (\gamma \cdot F_0 - W_{\text{днт}}) + \frac{a F_0 U}{n+1} (D_k^{n+1} - D_c^{n+1}) - \frac{a U W_{\text{днт}}}{n+2} (D_k^{n+2} - D_c^{n+2}). \quad (3.14)$$

Полученное выражение представляет собой наиболее общую зависимость потерь данного года от длительности выполнения процесса (с учетом принятых допущений). Из него можно получить зависимость  $\Pi_d = f(\gamma, F_0, W_{\text{днт}}, D_k, D_c)$  для следующих частных случаев:

1. При  $n = 2$ . Ряд исследователей [60] приходят к выводу, что такой характер потерь имеет место при уборке зерновых культур. Тогда

$$P_d = \frac{1}{2} K_{\text{пл}} \cdot U \cdot D_c^2 (\gamma \cdot F_0 - W_{\text{днт}}) + \frac{1}{3} a F_0 (D_k^3 - D_c^3) - \frac{1}{4} a W_{\text{днт}} (D_k^4 - D_c^4). \quad (3.15)$$

2. При  $n = 1$ . Этот случай приемлем для посева, уборки корнеплодов и, вероятно, некоторых других процессов [24]:

$$P_d = \frac{1}{2} K_{\text{пл}} \cdot U \cdot D_c^2 (\gamma \cdot F_0 - W_{\text{днт}}) + \frac{1}{2} a F_0 (D_k^2 - D_c^2) - \frac{1}{3} a W_{\text{днт}} (D_k^3 - D_c^3). \quad (3.16)$$

3. При  $n = 0$ . Это означает, что в период от  $t_c$  до  $t_{\text{кд}}$  (как для периода от 0 до  $t_c$ ) средние потери не зависят от времени, т.е.  $K_{\text{пл}} = at^0 = a$ :

$$P_d = \frac{1}{2} K_{\text{пл}} \cdot U \cdot D_c^2 (\gamma \cdot F_0 - W_{\text{днт}}) + K_{\text{пл}} \cdot U \cdot F_0 (D_k - D_c) - \frac{1}{2} K_{\text{пл}} \cdot W_{\text{днт}} \cdot U (D_k^2 - D_c^2). \quad (3.17)$$

$$\text{Если учесть, что } \gamma = \frac{1}{D_c}, \text{ а } W_{\text{днт}} = \frac{F_0}{D_k}, \text{ то после}$$

подстановки и преобразования получим:

$$P_d = 1/2 K_{\text{пл}} \cdot U \cdot F_0 (D_k - D_c). \quad (3.18)$$

Мы имеем произведение  $K_{\text{пл}} \cdot U$  и суммарной площади  $F_{\text{пот}}$  (в соответствии с формулой (3.11) и рис. 3.1). Это является также своеобразной проверкой правильности и общности полученного выражения (3.14).

4. При  $D_c = 0$ . Этот случай соответствует такой ситуации, когда весь объем  $F_0$  одновременно готов к началу работы. Тогда при  $n = 2$ :

$$P_d = 1/12 \cdot a \cdot U \cdot F_0 \cdot D_k^3, \quad (3.19)$$

при  $n = 1$ :

$$P_d = 1/6 a \cdot U \cdot F_0 \cdot D_k^2, \quad (3.20)$$

при  $n = 0$  ( $a = K_{\text{пл}}$ ):

$$P_d = 1/2 K_{\text{пл}} \cdot U \cdot F_0 \cdot D_k. \quad (3.21)$$

Последнее выражение представляет собой наиболее частный случай, когда вся площадь готова к работе одновременно ( $D_c = 0$ ), а относительные потери не зависят от

времени ( $n = 0$ ) и остаются постоянными. Если потери отнести к единице площади, то мы получим формулу (3.2). В настоящее время почти во всех случаях используют эту формулу, отражающую процесс только в указанной частной ситуации.

Относительная величина потерь (в долях за день) от возможного смещения сроков последующего производственного процесса ( $\Pi_n$ ) в общем случае будет определяться аналогично рассмотренному выше. Однако реально мы можем выделить только потери на операциях, следующих за уборкой (потери будущего урожая). Чтобы чрезмерно не загромождать расчет, можно принять  $K_{пп} = \text{const}$ .

Тогда  $\Pi_{ni} = K_{пп} \cdot I_n \cdot F_{опi}$ ,

где  $F_{опi}$  – площадь, которая на данный день готова к последующей операции;

$I_n$  – плановая урожайность культуры в следующем году (условно принимается та же культура).

Величину  $F_{опi}$  можно выразить через дневную производительность на предшествующей операции:  $F_{опi} = W_{днт} t_i$ .

Приращение потерь за каждый день будет  $d \Pi_{ni} = K_{пп} \cdot I_n \cdot F_{опi} \cdot dt$ , а общие потери определяются интегрированием в пределах изменения времени от 0 до некоторой величины  $D_{оп}$ , равной количеству дней запаздывания от планового начала последующей операции.

Если за начало отсчета принять время начала данной операции ( $t_{нд}$ ), то в общем случае  $D_{оп} = D_k - D_{пп}$  (см. рис. 3.1), где  $D_{пп}$  – период времени (в днях) от начала данной операции ( $t_{нд}$ ) до планового начала последующей ( $t_{пп}$ ).

Таким образом, величина потерь  $\Pi_n$  определится из выражения:

$$\Pi_n = \int_{t_{пп}}^{t_{кд}} K_{пп} \cdot U_n \cdot W_{днт} \cdot t \cdot dt = \frac{1}{2} K_{пп} \cdot U_n \cdot W_{днт} (D_k - D_{пп})^2 \cdot \quad (3.22)$$

Из графика также следует, что  $S_{\Delta} \text{ВДЕ} = (F_0 - F_2) D_{оп} = 1/2 W_{днт} D_{оп}^2$ , умножив на которую относительные поте-

ри  $K_{пп}$  и  $U_{п}$ , получим величину  $\Pi_{п}$  в соответствии с выражением (3.4).

Общая зависимость потерь урожая от сроков выполнения технологического процесса на основании рассмотренного будет определяться выражением:

$$\begin{aligned} \Pi_y = & \frac{1}{2} K_{пд} \cdot U \cdot D_c^2 (\gamma \cdot F_0 - W_{днт}) + \frac{a F_0 U}{n+1} (D_k^{n+1} - D_c^{n+1}) - \\ & - \frac{a U W_{днт}}{n+2} (D_k^{n+2} - D_c^{n+2}) + \frac{1}{2} K_{пп} \cdot U_{п} \cdot W_{днт} (D_k - D_{пп})^2. \end{aligned} \quad (3.23)$$

Проанализируем полученные выражения с тем, чтобы определить возможности и условия снижения потерь урожая.

Анализ показывает, что величина потерь прежде всего зависит от длительности выполнения данного технологического процесса.

Во всех случаях чем короче период работы, тем меньше потери. Особенно резко потери возрастут на уборке зерновых культур (для которых характерна зависимость  $K_{пд} = a t^n$ ). Конечно, это при условии полного созревания полей.

Теоретически потери, зависящие от сроков работы, будут отсутствовать при равенстве темпов созревания или подготовки полей ( $\gamma F_0$ ) и фактического хода работ ( $W_{днт}$ ). Для многих технологически связанных процессов, когда подготовка объемов работы для основного технологического процесса осуществляется в ходе предшествующего (вспомогательного), это условие означает требование точной организации производства, т.е. одинаковых темпов работы во всех звеньях процесса. По существу в этом случае  $D_k = D_c$ , что обеспечивает отсутствие потерь. Это означает, что работы выполняются в оптимальный срок.



Таким образом, широко применяемый принцип точности, вытекающий из требований агротехники, требует в выражении (3.18) достаточно строгое математическое обоснование.

Как выглядит его реализация, например, в технологических системах для посева, когда одновременно выполняется несколько технологических операций? Во-первых, при организации подсистемы ТКМ суммарная производительность агрегатов на предпосевной подготовке должна быть равной производительности посевных агрегатов. Во-вторых, фактические темпы работ также поддерживаются одинаковыми. На практике иногда сознательно сдерживают темпы предпосевной подготовки почвы, если, например, по каким-либо причинам происходит отставание в темпах посевных работ.

Полученные выражения представляют собой теоретическое обоснование и другого очень важного фактора, обеспечивающего снижение потерь на уборке урожая, а именно, посева культур с разными сроками вегетации.

Если длительность периода вегетации культур одинакова, то темпы созревания будут зависеть от темпов сева:

$$F_{\text{созр}} = \frac{F_0}{D_c},$$

где  $D_c$  – продолжительность сева, дней;

$F_{\text{созр}}$  – площадь посевов, ежедневно созревающих (готовых) для уборки.

Чтобы исключить потери, необходимо и уборку закончить за период такой же длительности. Однако для обеспечения одинакового темпа посевных и уборочных процессов потребуется значительное количество уборочных машин. Из этого вытекает целесообразность возделывания культур с разной длительностью периода вегетации. Смысл такого решения заключается в снижении темпов со-

зревания культур, что позволяет увеличивать длительность уборочных работ (и снизить потребность в технике) без возрастания потерь урожая. Такой прием все шире применяется на практике.

Отметим также, что увеличение дневной производительности машин, повышение уровня их надежности и готовности техники будут приводить к уменьшению потерь, так как при этом сокращается продолжительность выполнения процесса.

По существу уравнение (3.23) представляет собой развернутую математическую модель для определения зависимых от сроков работы потерь урожая. Ее можно использовать для решения различных задач:

- для расчета уровня потерь при известных условиях и различных вариантах интенсивности ведения работ;
- для определения предельной длительности выполнения процесса (а следовательно, и необходимого количества машин) при условии ограничения потерь заданным уровнем;
- для оценки величины потерь при изменении продолжительности выполнения технологических процессов.

Полученная модель охватывает наиболее существенные факторы, определяющие величину зависимых от сроков работ потерь урожая. Она может рассматриваться как основа для последующего совершенствования и конкретизации применительно к отдельным процессам, особенностям и условиям.

Для выполнения практических расчетов необходимо располагать соответствующими экспериментальными данными, характеризующими относительные потери урожая –  $K_{\text{пд}} = f(t)$ ,  $K_{\text{пп}}$ .

### **3.3. Метод определения рациональной длительности выполнения процессов и потребности в технике по минимуму среднестатистических потерь урожая**

Рациональная длительность выполнения производственного процесса обычно определяется с учетом динамики потерь урожая.

Однако здесь важным методическим вопросом является правильный учет урожайности. Особую целесообразность это имеет для обоснования потребности в технике на некоторую перспективу.

При расчетах потребности в технике, как правило, принимается среднее значение урожайности. Однако обычно колебания урожайности значительны, и такой подход методически не является строго обоснованным. Действительно, в годы высокого урожая будет ощущаться острая нехватка техники, тогда как в неблагоприятные по урожайности годы может быть избыток ее.

Избежать этого в полной мере трудно, однако можно снизить степень погрешности в определении рациональной длительности технологических процессов, а следовательно, и уровня оснащения техникой, если использовать показатель среднестатистического минимума потерь. Такой подход известен под названием «байесовского подхода».

Минимум средних потерь можно найти для различных вариантов сочетаний  $D_k$  и урожайности (для разных лет) при известной величине вероятности того или иного урожая.

Нами осуществлена разработка этого методологического приема применительно к рассматриваемой задаче. Ниже излагается сущность этого приема.

Обозначим  $\Pi(U, D) = B(U, D) - B(U, D_0)$  – функцию потерь урожая. В этой формуле:

$B(U, D)$  – функция выигрыша (дохода);

$U = \Omega_u$  – множество состояний определяющего фактора – величины урожайности;

$D = \Omega_D$  – множество хозяйственных решений по длительности рабочего периода  $D_k$ ;

$D_0$  – оптимальное хозяйственное решение ( $D_k^{\text{опт}}$ ).

В данном случае имеем дискретные множества:  $\Omega_u \{U_i; i = 1, m\}$ ;  $\Omega_D \{D_j; j = 1, n\}$ , для которых

$$B = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n D(U_i, D_j) P_s(U_i, D_j). \quad (3.24)$$

Здесь:  $P_s(U_i, D_j)$  – зависящие от стратегии совместные вероятности различных сочетаний хозяйственных решений  $D_j$  и фактических урожайностей  $U_i$ ;

$B(U_i, D_j)$  – элементы исходной матрицы полезности.

Установлено, что стратегия  $S_0$ , обеспечивающая получение максимального выигрыша, будет одновременно и минимизирующей потери –  $\Pi_{\text{ср}}$  [47].

Кроме того, байесовский подход имеет в виду только однозначные стратегии. Значит выражение (3.24) можно аналогично записать для потерь –  $\Pi_{\text{ср}}$ :

$$\Pi_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \Pi(U_i, D_j) P_s(U_i, D_j). \quad (3.25)$$

Для недифференцированной стратегии (когда решение принимается однократно), что имеет место в данном случае, т.к. при определении потребности в технике будет принято конкретное значение  $D_j$ , формула (3.25) может быть записана так:

$$\Pi_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \Pi(U_i, D_j) P_s(U_i). \quad (3.26)$$

Задача состоит в отыскании такого хозяйственного решения ( $D_k^{opt}$ ), при котором достигается минимум средних потерь  $\Pi_{cp} = \Pi(U, D)$ .

Алгоритм решения этой задачи состоит в следующем.

На основе расчетов величины  $\Pi_y$  строится матрица потерь для различных лет по урожайности ( $U_i$ ) и возможных решений по продолжительности периода работ ( $D_j$ ). Общий вид ее представлен в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Общий вид матрицы потерь урожая при разных сочетаниях урожайности и длительности периода работ

$U_i$	$D_j$				$P(U)$
	$D_1$	$D_2$	$D_i$	$D_n$	
$U_1$	$\Pi_{11}$	$\Pi_{12}$	$\Pi_{1j}$	$\Pi_{1n}$	$P(U_1)$
$U_2$	$\Pi_{21}$	$\Pi_{22}$	$\Pi_{2i}$	$\Pi_{2n}$	$P(U_2)$
$U_i$	$\Pi_{i1}$	$\Pi_{i2}$	$\Pi_{ij}$	$\Pi_{in}$	$P(U_i)$
$U_m$	$\Pi_{m1}$	$\Pi_{m2}$	$\Pi_{mi}$	$\Pi_{mn}$	$P(U_m)$

Как уже было отмечено ранее, природная повторяемость различных урожайностей  $U_i$  должна быть известна, т.е. известны значения  $P(U_1)$ ,  $P(U_2)$ ,  $P(U_i)$ ,  $P(U_m)$ .

Используя формулу (3.26), можно найти средние значения величины потерь  $\Pi_y = \Pi(U, D)$ , соответствующие недифференцированным стратегиям  $S_{D1}$ ,  $S_{D2}$  и т.д., учитывая конкретные значения вероятностей  $P(U_i)$ . Сравнивая полученные данные, находят значение  $D_j^{opt}$ , которое соответствует минимуму усредненных потерь и которое можно считать оптимальным расчетным  $D_k^{opt}$ .

Таким образом, алгоритм нахождения оптимальной стратегии  $S_0$  сводится к перебору всевозможных вариантов

хозяйственных решений  $D_j$  с последующим сопоставлением соответствующих им средних потерь. При определении потребности в каком-либо определенном виде техники (например, зерноуборочных комбайнов) в расчетах применяется найденное значение  $D_k^{opt}$ .

### **3.4. Дифференцированный учет метеорологических условий при проектировании технологических систем**

В расчетах при проектировании технологических процессов и комплексов машин для их выполнения учет метеоусловий осуществляется через так называемый коэффициент погодности, величина которого обычно принимается постоянной для заданного вида работ. Однако не только в исследованиях, но и для обычных практических целей более целесообразен дифференцированный подход применительно к различным зонам и календарным срокам. Особое значение это имеет при расчетах потребности в уборочной технике.

Предложенный нами вариант такого дифференцированного учета был опубликован также относительно давно [44]. В последующий период необходимость и целесообразность учета агрометеорологической информации неоднократно подтверждалась многими авторами [1, 22, 30, 35, 43, 58, 60 и др.].

Чаще всего это относилось применительно к прогнозам урожая, срокам выполнения технологических процессов, к определению темпов ведения работ.

Как мы уже отмечали, для целей проектирования технологических процессов наиболее полно методы учета погодных условий обоснованы в исследованиях А.Н. Важенина. Однако эти методы являются довольно сложными.

Для оценки влияния метеоусловий на производительность техники в обычных эксплуатационных расчетах нет необходимости использовать сложные математические модели и ЭВМ. Считаем, что в принципе учет метеоусловий через корректирующий коэффициент является достаточным, однако величина этого коэффициента должна более адекватно их отражать.

Ограничения в использовании сельскохозяйственной техники, как правило, могут быть по выпадающим осадкам, влажности воздуха, влажности почвы или температуры воздуха [42].

Очевидно, что вероятность этих ограничений не будет постоянной для длительного периода или для разных природно-климатических зон. Однако при практической реализации идеи дифференцированного подхода возникают определенные трудности.

В методологическом плане здесь необходимо решить два основных вопроса:

- определить степень дифференциации по территориальному и временному признакам;
- выработать методику преобразования учитываемой и известной метеоинформации в величину коэффициента погодности ( $K_{\text{пог}}$ ) или вероятности благоприятной погоды ( $P_{\text{бп}}$ ), которые можно использовать в различных расчетах.

Для того, чтобы определить степень дифференциации в учете погодных условий, нами на примере Новосибирской области были обобщены и проанализированы данные 40 метеостанций за 10 лет (с учетом средних многолетних данных) [44].

При этом был сделан вывод, что определенной единицей длительности периода стабильных погодных условий можно считать календарную декаду. Этот период принимается и метеослужбой при прогнозировании погодных

условий. Территориально степень дифференциации может соответствовать делению рассматриваемого региона на природно-климатические зоны, что обычно известно для каждого административного региона (области, края). При решении оперативных вопросов по проектированию ТСМПР каждое хозяйство может также руководствоваться данными ближайшей метеостанции.

Результаты анализа погодных условий за период уборки (август - сентябрь) по отдельным природно-климатическим зонам области и по декадам сгруппированы и обобщены в табл. 3.2. В данном случае принято рекомендованное [45, 58] распределение территории области на зоны. Уборочный период выбран потому, что он является наиболее продолжительным, а погодные условия здесь менее стабильны. К тому же уборочные процессы и техника более сложные, и влияние погодных условий здесь проявляется особенно чувствительно.

Таблица 3.2. Климатические условия периода уборки по декадам (Новосибирская область)

Показатель Зона	Август, декада									Сентябрь, декада								
	1-я			2-я			3-я			1-я			2-я			3-я		
	$\Sigma t^o$	$\Sigma H$	Doc	$\Sigma t^o$	$\Sigma H$	Doc	$\Sigma t^o$	$\Sigma H$	Doc	$\Sigma t^o$	$\Sigma H$	Doc	$\Sigma t^o$	$\Sigma H$	Doc	$\Sigma t^o$	$\Sigma H$	Doc
I	149	26,7	3,6	143	27,7	3,9	127	20,7	3,7	114	10,2	2,36	86	13,3	3,6	52	10,8	2,16
II	159	34,0	3,7	145	17,3	3,1	127	18,4	3,2	117	11,8	2,4	85	13,1	2,5	54	9,6	2,6
III	158	22,4	3,2	153	23,0	3,1	134	18,4	2,8	124	9,3	2,7	92	14,7	2,6	59	8,8	1,78
IV	168	22,7	3,0	158	26,0	3,3	138	14,2	3,0	129	12,3	2,24	96	10,9	2,3	64	14,0	2,63
V	157	20,3	3,1	155	17,8	2,6	137	15,7	2,5	128	12,0	1,97	95	11,0	2,17	63	5,6	1,53
VI	162	19,9	2,9	164	17,8	2,4	144	15,4	2,4	137	11,0	1,92	102	8,1	1,76	70	4,8	1,32
По области	159	24,4	3,25	153	21,6	3,1	134	17,2	2,9	125	11,0	2,16	93	11,9	2,43	60	8,95	2,0

Переход от метеорологической информации к величине расчетного коэффициента можно сделать на основе анализа ограничительных условий, откуда следует, что из числа календарных дней необходимо вычесть число дней, в которых хотя бы один из рассматриваемых параметров выходит за допускаемые границы.



Для многих процессов установлено, что ограничивающим фактором может быть уровень осадков более 1 мм. Для таких процессов (посев, скашивание зерновых, подбор и обмолот валков) вероятность благоприятной погоды можно определить так:

$$P_{\text{он}} = K_{\text{пог}} \equiv 1 - 0,1D_{\text{ос}}, \quad (3.27)$$

где  $D_{\text{ос}}$  – количество дней с осадками более 1 мм.

Главный ограничивающий фактор – влажность, может быть учтен также через коэффициент увлажнения ( $K_y$ ), который, как установлено исследованиями, имеет высокую корреляционную связь с возможностью качественного выполнения сельскохозяйственных процессов [58-63]:

$$K_y = \frac{\sum H D_{\text{ос}}}{\sum t^{\circ}}, \quad (3.28)$$

где  $\sum H$  – сумма осадков за декаду, мм;

$\sum t^{\circ}$  – сумма среднесуточных температур за декаду.

Можно использовать в расчетах следующие примерные соотношения коэффициентов  $K_{\text{пог}}$  и  $K_y$  (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Примерные соотношения коэффициентов  $K_{\text{пог}}$  и  $K_y$

$K_y$	$K_{\text{пог}}$	$K_y$	$K_{\text{пог}}$
		0,7	0,80
0,3	0,92	0,8	0,75
0,4	0,90	0,9	0,71
0,5	0,88	1,0	0,67
0,6	0,85		

В некоторых литературных источниках дается такая обобщенная зависимость для определения коэффициента увлажнения [3]:

$$K_y = \Sigma H_{\Gamma} / 0,177 \Sigma t^{\circ} > 0^{\circ},$$

где  $\Sigma H_{\Gamma}$  – сумма годовых осадков, мм;

$\Sigma t^{\circ}$  – сумма температур выше  $0^{\circ}\text{C}$ ;

0,177 – эмпирический коэффициент испаряемости.

Кстати, в этой же монографии [3] дается более точное территориальное распределение агроландшафтов, которое рекомендуется использовать в основном в целях выбора агротехнических мероприятий.

Таким образом, при проектировании технологических систем на предстоящий рабочий период целесообразно на основе прогнозов погоды с учетом средних многолетних данных ближайшей территориальной метеостанции уточнять возможное количество рабочих дней в предстоящем периоде, что позволит более достоверно осуществлять оперативное планирование использования техники в технологических системах.

### **3.5. Методы оптимизации решений по продолжительности выполнения технологических процессов и потребности в технике**

Известно, что сокращение сроков полевых работ требует увеличения количества привлекаемой техники. Обратно пропорциональная зависимость этих факторов видна из формулы (3.1). Эквивалентной мерой для поиска оптимальных решений, как правило, служат стоимостные показатели.

В настоящее время при проведении технико-экономических расчетов обычно рациональная длительность периода работ ( $D_{\text{к}}^{\text{опт}}$ ) определяется из условия минимума удельных затрат на 1 га, включая потери урожая.

Такой подход экономически будет оправдан, если цены на сельскохозяйственную технику и продукцию сельского товаропроизводителя сбалансированы и справедливы. В настоящее время этот баланс нарушен. И хотя сейчас

это объективная реальность, она не вытекает из объективных экономических закономерностей.

Конечно, расчеты, исходя из анализа затрат по существующим ценам, не дадут экономически оптимальных решений. Вместе с тем, с точки зрения теории расчетные методы в принципе позволяют проводить необходимый анализ закономерностей и стремиться к поиску оптимальных решений.

В расчетах обычно используют приведенные или дифференциальные затраты, связанные с содержанием техники. Обстоятельные исследования по этой проблеме выполнены в СибИМЭ под руководством доктора технических наук Б.Д. Докина [17, 18, 19 и др.].

Здесь целесообразно несколько более подробно рассмотреть различие в сложившихся методических подходах к определению потребности в технике. Имеется значительное количество работ (в основном они связаны с обоснованием систем машин и определением их экономической эффективности), где предлагаются довольно различные подходы. Основное их различие заключается в выборе критериев оптимальности. Мы эти работы здесь не анализируем – это не входит в нашу задачу. Сошлемся только на публикации, где такой анализ имеется. Это, в частности, анализ Б.Д. Докина [17], а также монография Л.М. Пилюгина [48]. Наиболее приемлемыми (по мнению многих авторов) критериями оптимизации являются минимум дифференциальных затрат (с учетом потерь урожая) [18, 19, 25, 27, 29, 42, 53, 61, 64].

Мы предлагаем дополнить известные подходы более полным учетом потерь урожая в соответствии с установленными зависимостями, а также некоторыми другими методическими приемами.

С использованием полученной в (3.2) математической модели для потерь ( $\Pi_y$ ) более обоснованным стано-

вится аналитическое определение  $D_k^{\text{опт}}$ . Правда, в общем случае оно усложняется и будет, видимо, целесообразным в основном для целей научного анализа.

Для отдельных случаев (3.18)-(3.21) после исследования на экстремум функции полных затрат мы получим решение по  $D_k^{\text{опт}}$ , аналогичное выражению (3.3):

$$D_k^{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2(3_{\text{тз}} + 3_{\text{рз}})}{W_{\text{дн}} P_{\text{бп}} K_{\text{пд}} U(C_u - C_q)}}, \text{ дней.} \quad (3.29)$$

Здесь обозначения в основном те же, что и в формуле (3.3), за исключением следующих:

- коэффициент погодности  $K_{\text{пог}}$  заменен вероятностью благоприятных метеоусловий –  $P_{\text{бп}}$ ;
- вместо относительных потерь  $K_{\text{п}}$ , определяемых по (3.2), учитывается величина потерь  $K_{\text{пд}}$ .

Надо отметить, что определение календарной (полной) длительности периода работ представляет наибольший интерес, особенно для целей технологического проектирования. Число рабочих дней в этом периоде определяется выражением:  $D_p = D_k P_{\text{бп}}$ .

Для уборки зерновых культур без учета потерь урожая будущего года ( $K_{\text{пп}} = 0$ ,  $n = 2$ ) экстремум функции полных затрат будет при значении:

$$D_k^{\text{опт}} = 4 \sqrt{\frac{4(3_{\text{тз}} + 3_{\text{рз}})}{W_{\text{дн}} P_{\text{бп}} K_{\text{г}} a U(C_y - C_q)}} + D_{c^2} \left( D_{c^2} - 2 \frac{K_{\text{пд}}}{a} \right). \quad (3.30)$$

Использовать эту формулу для практических расчетов достаточно сложно. К тому же полученный результат может оказаться (при нынешних соотношениях затрат на содержание техники и стоимости потерь урожая) далеко не оптимальным.

Однако из этой формулы следует (как теоретически доказанный) один принципиальный вывод, что мы уже от-

мечали в (3.2). А именно, из формулы (3.30) следует, что на величину рациональной длительности уборки в значительной степени влияет продолжительность периода созревания массивов (от начала уборки): чем медленнее темпы созревания и больше период  $D_c$ , тем большим может быть срок уборки, без увеличения потерь урожая.

Это обстоятельство в полной мере соответствует физической картине процесса созревания и уборки зерновых культур. С другой стороны, выражение (3.30) дает наглядное теоретическое обоснование важному фактору уменьшения потерь и снижения потребности в технике, которым является возделывание культур с разным периодом вегетации.

На основе исследования функции полных затрат с учетом полученной модели для потерь могут быть найдены аналитические выражения для  $D_k^{\text{опт}}$  применительно к другим технологическим процессам и вариантам.

В наших исследованиях был обоснован еще один графоаналитический метод совместной оптимизации решений по продолжительности работ и потребности в технике. Рассмотрим существо данного подхода и принципиальную возможность его использования [46].

В данном случае мы имеем ситуацию, когда заданный объем работ ( $F_o$ ) можно выполнить при различных сочетаниях числа машин ( $N$ ) и продолжительности периода работ ( $D_k$ ).

Для аналитического решения надо иметь дополнительное условие связи, служащее мерой эквивалентности величин  $N$  и  $D_k$ . Такой мерой является стоимостный показатель. Далее схема поиска рационального решения сводится к следующему.

Полагая, что денежные средства  $C$  и время  $D_k$  являются функциями одной переменной – числа машин  $N$ , выразим эти зависимости:

$$D_k = F_0 / W_{\text{дн}} N P_{\text{бп}} K_{\Gamma}, \quad (3.31)$$

$$C = C_1 N, \quad (3.32)$$

где  $C_1$  – затраты, отнесенные к одной машине и зависящие от их количества.

В соответствии с формулой (3.3)

$$C_1 = Z_{\text{гз}} + Z_{\text{рз}}. \quad (3.33)$$

Далее необходимо найти стоимостный эквивалент времени, его можно выразить через стоимость потерь урожая. Например, в соответствии с формулой для потерь (3.21) будем иметь:

$$C_2 = 1/2 (C_y - C_q) K_{\text{пд}} U F_0. \quad (3.34)$$

Тогда полные затраты будут:

$$C_{\text{п}} = C_1 N + C_2 D_k. \quad (3.35)$$

Выразив величину  $N$  из уравнения (3.31) и подставив это выражение в (3.35), получим дополнительное соотношение величин  $C_{\text{п}}$  и  $D_k$ :

$$C_{\text{п}} = C_1 F_0 / W_{\text{дн}} D_k P_{\text{бп}} K_{\Gamma} + C_2 D_k. \quad (3.36)$$

Интересный результат можно получить, если продолжить аналитическое исследование этого метода.

Продифференцируем формулу (3.36) по времени  $D_k$ , чтобы получить экстремум:

$$\frac{dC_{\text{п}}}{dD_k} = -C_1 F_0 / W_{\text{дн}} D_k^2 P_{\text{бп}} K_{\Gamma} - C_2 = 0.$$

Из этого выражения находим значение  $D_k$ , соответствующее максимальной полезности (т.е. можно считать, что это  $D_k^{\text{опт}}$ ):

$$D_k^{\text{опт}} = \sqrt{\frac{C_1 F_0}{C_2 W_{\text{дн}} P_{\text{бп}} K_{\Gamma}}}. \quad (3.37)$$

Учитывая, что  $C_1 = Z_{\text{тз}} + Z_{\text{рз}}$ , а  $C_2$  – в соответствии с формулой (3.34), получим:

$$D_{\text{к}}^{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2(Z_{\text{тз}} + Z_{\text{рз}})}{W_{\text{дн}} P_{\text{бп}} K_{\text{г}} K_{\text{пд}} U(C_{\text{и}} - C_{\text{q}})}}. \quad (3.38)$$

Следовательно, другим путем получена формула, аналогичная (3.30). Это является подтверждением правильности проведенных рассуждений.

Изложенный метод, на наш взгляд, лучше подчеркивает смысл оптимизации решения по длительности выполнения технологического процесса и требуемому количеству машин. Он дополняет имеющийся арсенал методических приемов оптимального проектирования механизированных процессов и технологических систем.

### **3.6. Методы анализа обеспеченности хозяйства техникой для формирования надежных технологических систем**

Достаточная обеспеченность хозяйства (имеются в виду все виды и формы сельскохозяйственных предприятий) основными технологическими машинами является одним из главных условий формирования надежных технологических систем, способных своевременно выполнять процессы растениеводства.

Следовательно, уровень этой обеспеченности должен периодически определяться и анализироваться для того, чтобы заблаговременно принимать соответствующие меры.

Методы проектирования состава МТП для хозяйства (или региона) разработаны достаточно полно и находят применение на практике. Однако фактическая укомплектованность парка машин большинства хозяйств далека от оптимальной (или даже рациональной).

Наиболее простым и доступным методом анализа обеспеченности сельскохозяйственной техникой является

расчет на основе известных нормативов, которые получили довольно широкое распространение.

Вместе с тем, известно, что точность нормативов относительна, особенно для отдельного хозяйства. Например, в рекомендациях [41] подчеркивается, что погрешность при этом достигает 10%. Эта погрешность носит объективный характер, если учесть, что нормативы разработаны на примере отдельных модельных хозяйств (объектов-представителей) для крупных сельскохозяйственных зон.

Естественно, что конкретные природно-производственные условия данного хозяйства, как правило, не будут совпадать с расчетными. И при анализе обеспеченности хозяйства техникой на основе нормативов эту особенность надо учитывать.

В уже упоминавшихся рекомендациях [41] норматив потребности в технике в данном хозяйстве ( $q_x$ ) предлагается определять в зависимости от его нормативных групп:

$$q_x = q_{\text{тх}} \frac{W_{\text{тх}}}{W_x}, \quad (3.39)$$

где  $q_{\text{тх}}$  – норматив потребности в технике для типичного хозяйства данной однородной группы хозяйств;  $W_{\text{тх}}$ ,  $W_x$  – производительность машин данного вида в условиях типичного и конкретного хозяйства.

Этот шаг, безусловно, необходимый, но недостаточный. Дело в том, что не только производительность (в связи с разными нормативными группами) может отличаться в данном хозяйстве от расчетных. Необходимо учитывать и ряд других обстоятельств, определяющих норматив удельной нагрузки на технику.

Затрудняет использование нормативов при анализе обеспеченности техникой и то, что для выполнения одного процесса может быть рекомендована не одна, а 2-3 (а то и больше) марки машин, а в хозяйстве может быть в наличии



еще большее количество различных типоразмеров машин данного назначения, в том числе и таких, которых нет в нормативных документах. Так, например, сейчас многие хозяйства приобретают зарубежную технику, которая при разработке нормативов, конечно, не предполагалась.

Таким образом, оценка обеспеченности техникой при известных нормативах – вопрос не простой, и в методологическом плане требует уточнения. Рассмотрим вариант методики решения этого вопроса, который представляется нам целесообразным. В общем случае подход может быть следующим.

Достаточность технологических машин для выполнения данного процесса определяется из того условия, что суммарная их производительность за принятую (плановую) продолжительность периода работы в данных условиях будет больше или равна объему работы ( $F$ ), т.е.

$$F \leq D_{кр} K_{смп} P_{бп} K_{гр} \sum_{i=1}^s W_{ti} N_{fi} . \quad (3.40)$$

Расчет нормативов производился исходя из аналогичного условия:

$$F_o \leq D_{кн} K_{смн} K_{пн} K_{гн} \sum_{j=1}^r W_{nj} q_{nj} . \quad (3.41)$$

В этих формулах:

$D_{кн}$ ,  $D_{кр}$  – календарная длительность периода работы, принятая при определении нормативов (нормативная) и принимаемая при анализе обеспеченности техникой (расчетная);

$K_{смн}$ ,  $K_{смп}$  – коэффициент сменности нормативный и расчетный;

$K_{пн}$ ,  $P_{бп}$  – нормативный коэффициент погодности и вероятность благоприятной погоды на предстоящий период работы;

$K_{гн}, K_{гр}$  – коэффициент готовности техники (нормативный и расчетный);

$N_{фi}, W_{тi}$  – фактическое наличие и сменная норма выработки машин  $i$ -й марки в предстоящих условиях работ;

$i = \overline{1, S}$  – количество марок машин данного типа, имеющихся в хозяйстве;

$q_{нj}, W_{нj}$  – рекомендуемый норматив потребности техники  $j$ -й марки и нормативная (сменная) производительность ее в условиях типичного хозяйства;

$j = \overline{1, r}$  – количество рекомендуемых марок машин для выполнения данного процесса.

С учетом того, что норматив дается на 1000 га посевной площади, после несложных преобразований (3.40) и (3.41) получим:

$$\delta_{от} = \frac{1000 D_{кр} K_{смп} P_{бп} K_{гр} \sum_{i=1}^s W_{тi} N_{фi}}{F D_{кн} K_{смн} K_{пн} K_{гн} \sum_{j=1}^r W_{нj} q_{нj}} \geq 1. \quad (3.42)$$

Это выражение представляет собой условие достаточной обеспеченности хозяйства технологическими машинами данного вида, а  $\delta_{от}$  – коэффициент обеспеченности техникой.

Из анализа этого выражения вытекает ряд выводов по более обоснованному использованию нормативов, а также их разработке.

Прежде всего, отметим, что приведенная ранее формула (3.39), рекомендуемая способ использования нормативов, будет приемлемой только для частного случая, когда величины  $D_{к}, K_{см}, K_{п}, K_{г}$ , принятые при расчете нормативов и для анализируемых условий хозяйства, равны (полностью соответствуют друг другу), а также если в

хозяйстве имеется именно тот тип машин, который рекомендован нормативами.

Действительно, обозначим:

$$\frac{F}{1000} = \delta_{\text{пл}}; \quad \frac{D_{\text{кр}}}{D_{\text{кн}}} = \delta_{\text{дл}}; \quad \frac{K_{\text{смп}}}{K_{\text{смн}}} = \delta_{\text{см}}; \quad \frac{P_{\text{бп}}}{K_{\text{пн}}} = \delta_{\text{п}}; \quad \frac{K_{\text{гр}}}{K_{\text{гн}}} = \delta_{\text{г}}.$$

Величину  $\delta_{\text{пл}}$  назовем коэффициентом наличия площадей, а величины  $\delta_{\text{дл}}$ ,  $\delta_{\text{см}}$ ,  $\delta_{\text{п}}$ ,  $\delta_{\text{г}}$  будут коэффициентами соответствия условий конкретного и типичного хозяйства по длительности и сменности работы, метеоусловиям, готовности техники.

Тогда получим:

$$\delta_{\text{от}} = \frac{\delta_{\text{дл}} \delta_{\text{см}} \delta_{\text{п}} \delta_{\text{г}} \sum_{i=1}^S W_{\text{ти}} N_{\text{фи}}}{\delta_{\text{пл}} \sum_{j=1}^r W_{\text{нж}} q_{\text{нж}}} \geq 1. \quad (3.43)$$

Если величины коэффициентов  $\delta_{\text{дл}}$ ,  $\delta_{\text{см}}$ ,  $\delta_{\text{п}}$ ,  $\delta_{\text{г}}$  будут каждая равна единице, а также  $S = r = 1$ , то учитывая, что

$\frac{N_{\text{ф}}}{\delta_{\text{пл}}}$  представляет собой норматив обеспеченности техни-

кой ( $q_{\text{ф}}$ ), и из условия достаточного обеспечения получим

$$q_{\text{ф}} = q_{\text{н}} \frac{W_{\text{н}}}{W_{\text{т}}}, \text{ т.е. получена формула (3.39), отличающаяся}$$

только принятыми обозначениями индексов.

Конечно, такие случаи будут достаточно редкими. Значит, в общем случае, для обоснованного использования нормативов нужен более точный подход, позволяющий учесть отличие условий данного хозяйства от типичного. При этом выражение (3.43) может быть принято за основу, поскольку оно обеспечивает выполнение указанного условия.

Далее вытекает следующий важный вывод: разработчикам нормативов необходимо наряду с рекомендуемым нормативом потребности в технике указывать дополнительные условия, которым он соответствует, а именно величины:  $W_n$ ,  $D_{kn}$ ,  $K_{cmn}$ ,  $K_{пн}$ ,  $K_{гн}$ .

Только при этом норматив обоснованно может быть использован в хозяйстве. И если производительность  $W_n$ , как правило, задается, то другие величины остаются неизвестными. Из них наибольшую изменчивость могут иметь величины  $D_k$  и  $K_{cm}$ . Прежде всего их необходимо указывать для уборочных машин, включая сюда дополнительно и урожайность культуры.

На основе формулы (3.43) может быть скорректирован норматив потребности в технологических машинах для хозяйства ( $q_\phi$ ) или в целом потребность в них ( $N_\phi$ ).

$$q_\phi = \frac{W_n q_n}{\delta_{дл} \delta_{см} \delta_{п} \delta_{г} W_t}, \quad (3.44)$$

$$N_\phi = \frac{\delta_{пл} W_n q_n}{\delta_{дл} \delta_{см} \delta_{п} \delta_{г} W_t}. \quad (3.45)$$

Формулы (3.44) и (3.45) могут быть использованы для случая, когда потребность определяется применительно для той марки машин, которая рекомендована нормативным документом. Если в хозяйстве имеется несколько марок машин того же назначения, то они могут быть приведены к рекомендованному следующим образом:

$$N_{пр} = \frac{\sum_{i=1}^s W_{ti} N_{\phi i}}{W_n}. \quad (3.46)$$

Тогда должно соблюдаться условие:

$$N_{\text{пр}} = \frac{\delta_{\text{пл}} q_{\text{н}}}{\delta_{\text{д}} \delta_{\text{см}} \delta_{\text{п}} \delta_{\text{г}}}. \quad (3.47)$$

Для практического использования приведенных формул необходимо кратко остановиться на особенностях определения расчетных величин  $D_{\text{кр}}$ ,  $K_{\text{см}}$ ,  $P_{\text{бп}}$ ,  $K_{\text{г}}$  и  $W_{\text{т}}$ . Другими словами, речь идет о том, как более точно учесть особенности данного конкретного хозяйства.

Теоретические основы и методология определения  $D_{\text{кр}}$  подробно рассмотрены выше. Подчеркнем, что наиболее важное значение здесь имеет неравномерность созревания культур (подготовки полей), зависящая от соотношения возделываемых сортов различной длительности вегетационного периода, урожайности и приемлемого уровня потерь.

Величина  $K_{\text{см}}$  зависит от ряда организационно-хозяйственных условий и прежде всего от обеспеченности кадрами механизаторов.

Чаще всего именно увеличение длительности рабочего времени в течение суток является главным резервом повышения дневной (по сути суточной) производительности машин, обеспечивая сокращение сроков выполнения производственных процессов. Таким образом, за счет различных организационно-хозяйственных (а не технических) мер может быть значительно повышена надежность технологических систем.

Определение величины  $P_{\text{бп}}$  (или расчетного значения  $K_{\text{пр}}$ ) может осуществляться по данным прогноза метеоусловий на предстоящий период работы в соответствии с (п. 3.4).

На величину  $K_{\text{г}}$  влияет ряд факторов, из которых наиболее объективным и требующим учета является возрастная структура парка машин. О существенности этого влияния (и особенно для уборочных машин) свидетель-

ствуют многие исследования. Предложения об учете этого фактора при определении потребности в технике (или анализе обеспеченности ею) содержатся, например, в работах [6, 7].

Так, в работе [6] предложено вводить в расчеты поправочный коэффициент, который для зерноуборочных комбайнов, в частности, рекомендован следующий: при сроке эксплуатации до 2 лет – 1,0; 3-4 года – 0,8; 5-6 лет – 0,7; 7-8 лет – 0,65; более 8 лет – 0,6.

В общем случае средневзвешенная величина поправочного коэффициента ( $\delta_{\text{вг}}$ ) может быть определена так:

$$\delta_{\text{вг}} = \frac{\sum_1^n N_i \delta_{\text{вг}i}}{\sum_1^n N_i}, \quad (3.48)$$

где  $N_i$  – количество машин одной возрастной группы;

$\delta_{\text{вг}i}$  – поправочный коэффициент (учитывающий длительность эксплуатации) для  $i$ -й возрастной группы машин;

$n$  – количество выделенных возрастных групп.

Еще более решительно настаивает на учете возраста техники при анализе уровня обеспеченности ею доктор экономических наук В.А. Семейкин [50]. Он приводит ряд статистических данных, которые говорят о том, что за последние 20 лет имеющийся парк машин морально и физически устарел, средневзвешенный возраст тракторов и комбайнов в 2-2,5 раза больше амортизационных сроков их эксплуатации, а готовность парка машин к полевым работам не превышает 70-75%. В этой же публикации [50] автор приводит сведения об уровне обеспеченности машинами, который без учета возраста (по его данным) составляет (в 2008 г.) 56%, а с учетом возраста – всего 14%. Величина корректирующего

коэффициента, с помощью которого следует учитывать возраст машин, равна 1,9-2,7.

В целом с таким подходом мы согласны и поддерживаем его.

Возрастную структуру парка можно учесть, если в формуле (3.43) использовать коэффициент  $\delta_{\text{вг}}$  вместо  $\delta_{\text{г}}$ .

Очень важное значение имеет определение величины  $W_{\text{т}}$  – технической производительности машин в данных условиях.

В общем случае она должна быть равна сменной норме выработки, так как при установлении норм учитываются все существенные нормообразующие факторы. Основной путь дифференциации норм – это, как известно, распределение хозяйств по группам применительно к пахотным и непашотным работам [8, 18, 41 и др.].

Для уборочных машин должна быть учтена и урожайность культуры.

Особенно заметно влияние конкретных условий проявляется в отношении производительности зерноуборочных комбайнов. Во многих публикациях отмечается, что их расчетная производительность (или сменная норма выработки) должна быть скорректирована с учетом соломистости и влажности массы, засоренности и полеглости хлебных массивов.

Нам представляется, что определение оптимального состава МТП и обоснование нормативов для отдельных сельскохозяйственных зон должны рассматриваться не в рамках одной общей задачи, а дифференцированно для отдельных определяющих групп машин, среди которых следует выделить зерноуборочные, кормоуборочные, картофелеуборочные и некоторые другие в зависимости от специфики сельскохозяйственного производства в той или иной зоне. Интересным представляется предложение об

учете сельхозтехники в условных эталонных единицах [20].

Определять потребность в технике по нормативам или на их основе анализировать обеспеченность машинами, видимо, целесообразно при расчетах на некоторую перспективу.

При оперативном планировании на предстоящий рабочий период более целесообразным может быть проведение достаточно простых расчетов непосредственно в процессе технологического проектирования производства и организации соответствующих технологических систем.

Основными исходными данными при этом будут следующие: объем работы (по выполнению соответствующего технологического процесса) –  $F_o$ , наличие основных технологических машин для данного процесса (инвентарный парк) –  $N_u$ , планируемая длительность периода работ –  $D_k$ , дневная производительность имеющихся машин (возможный дневной темп работ) –  $W_{\text{днм}}$ .

Условие достаточной обеспеченности техникой (расчетное значение –  $N_p$ ) будет таким:

$$N_p \leq \frac{F_o}{W_{\text{днм}} D_k P_{\text{бп}}} \leq N_u K_r. \quad (3.49)$$

Величину  $W_{\text{днм}}$  при расчете можно брать исходя из действующих норм выработки (при необходимости с корректировкой по фактически достигнутому уровню за прошедший год).

Коэффициент технической готовности  $K_r$  может быть определен исходя из фактического технического состояния машин с учетом возрастного состава парка, т.е. экспертным путем.

Вероятность благоприятной погоды  $P_{\text{бп}}$  (или коэффициент погодности  $K_p$ ) – по прогнозу метеоусловий на предстоящий период.



Если условие (3.49) не выполняется, то возможные компенсационные меры сводятся в основном к повышению дневной производительности машин ( $W_{\text{днм}}$ ) за счет увеличения продолжительности рабочего дня, сведения к минимуму простоев техники или увеличению периода работ:  $D_p = D_k \cdot P_{\text{оп}}$ , если это не приведет к чрезмерным потерям.

Если все возможные планируемые меры не подтверждают достаточный (расчетный) уровень обеспеченности техникой, то необходимо искать возможность дополнительного привлечения техники со стороны.

Возможность и экономическая целесообразность такого маневра техникой на основе вероятностных методов учета неопределенности условий будут рассмотрены далее.

### **3.7. Обоснование вероятностных методов учета неопределенности условий при маневрировании техникой с целью повышения надежности технологических систем**

Необходимость в маневрировании техникой носит объективный характер, поскольку многие факторы, определяющие потребность в ней, имеют вероятностную характеристику.

Как правило, хозяйства укомплектованы техникой не по максимальной потребности (в расчете на самые жесткие условия), что объясняется не только недостатком техники, но и необходимостью рационального ее использования. Поэтому всегда возможны ситуации, когда даже при хорошей обеспеченности техникой в среднем будет ощущаться дефицит ее в отдельные годы, по отдельным хозяйствам, подразделениям, административным районам и т.п. Объяснением этому обстоятельству, как известно, является колебание объемов и сроков работ, которые дале-

ко не всегда соответствуют планируемым (нормативным) условиям.

С другой стороны, также объективно существует возможность привлечь технику из тех хозяйств (районов), где она в данное время оказывается менее загруженной. Причем эта возможность главным образом обеспечивается за счет несовпадения сроков выполнения одинаковых технологических процессов, особенно если речь идет о межрайонном маневрировании техникой. Как показывает практика, маневрирование техникой является важным резервом снижения «пиковых» нагрузок, увеличения загрузки машин и повышения эффективности их использования.

Особую актуальность этот вопрос приобретает на уборке урожая. Именно здесь возможны значительные колебания как объемов работ (в зависимости от выращенного урожая), так и сроков их выполнения, определяемых погодными условиями. И именно на примере уборки урожая накоплен значительный опыт маневрирования техникой [21, 28, 31, 32, 51, 54].

Так, в публикации [51] автор вводит для такого маневра техникой новый термин: «широтное» использование МТП. По опыту Оренбургской области предлагается перемещать зерноуборочные комбайны с юга на север по мере созревания хлебов. При этом на расстояние 400-500 км комбайны перевозятся на КамАЗах и полуприцепах.

В целом эта проблема не простая и имеет много важных аспектов. Мы касаемся ее только частично, рассматривая маневр техникой как дополнительный фактор, обеспечивающий выполнение заданного процесса в условиях, когда в технологической системе ощущается функциональный недостаток, т.е. она не обеспечивает необходимого темпа работ и является недостаточно надежной.

Не рассматривая подробно организационно-хозяйственные аспекты маневрирования техникой, отме-

тим только, что мы исходим из наличия необходимости и принципиальной возможности осуществления такого маневра. Проанализируем этот вопрос с теоретической и методологической точек зрения.

Одним из важных методологических вопросов является определение условий и границ экономически целесообразного маневра техникой.

В настоящее время маневр техникой обычно рассматривается как вынужденное мероприятие аварийного характера, которое применяется как средство предотвращения возможной потери урожая. Однако целесообразно рассматривать маневрирование как средство более рационального использования имеющихся ресурсов техники.

Исходим из следующих предпосылок:

- маневр техникой необходим и организационно возможен, однако он приводит к дополнительным затратам ( $Z_{\text{мт}}$ ), связанным с осуществлением маневра;

- привлечение дополнительной техники приводит к сокращению сроков работ, а вследствие этого и потерь урожая на величину  $\Delta\Py$ .

Экономически целесообразным условием маневра будет, очевидно, следующее: величина полученного эффекта  $\Delta\Py$  должна быть больше затрат  $Z_{\text{мт}}$ .

В случае, когда погодная и хозяйственная ситуация однозначна, этого условия может быть вполне достаточно, чтобы принять решение. Однако трудность состоит в том, что чаще всего ситуация неопределенна и может рассматриваться только на вероятностной основе.

Применительно к маневрированию техникой в принципе возможны несколько вариантов ситуаций, которые будут различаться по методике обоснования хозяйственного решения. Наиболее распространенным будет случай, когда возможны 2 хозяйственные ситуации: благоприятные ( $B_y$ ) и неблагоприятные условия ( $H_y$ ) и намеча-

ются соответственно два решения: осуществлять маневр техникой ( $O_{MT}$ ) и не проводить его ( $H_{MT}$ ). Причем если будут благоприятные условия, то необходимость в маневре отпадает, а если неблагоприятные, то маневр может быть целесообразным.

Предсказать возможные условия ( $B_y$  или  $H_y$ ) можно только с некоторой вероятностью  $P_{by}$ ,  $P_{ny}$ , которые полагаются известными. Потери урожая, не связанные с маневрированием техникой, целесообразно не учитывать. Таким образом, если условия благоприятные, то считаем, что имеет место какой-то уровень потерь, который в данном случае оценивается как «нулевой». При неблагоприятных условиях при отсутствии маневра будут иметь место дополнительные потери урожая  $\Delta P_y$ . В методологическом плане – это задача принятия решения в условиях неопределенности.

Матрица полезности (или матрица потерь) для принятия решения может быть представлена следующим образом (табл. 3.4).

Таблица 3.4. Матрица для принятия решения

Условия	Решение		Вероятности условий
	$O_{MT}$	$H_{MT}$	
$B_y$	$З_{MT}$	$O$	$P_{by}$
$H_y$	$З_{MT}$	$\Delta P_y$	$P_{ny}$

Общие потери от решения  $O_{MT}$  ( $\Pi_{OM}$ ) будут следующими:

$$\Pi_{OM} = З_{MT} P_{by} + З_{MT} P_{ny} = З_{MT} (P_{by} + P_{ny}) = З_{MT}, \text{ т.к. } P_{by} + P_{ny} = 1. \quad (3.50)$$

При отсутствии маневра техникой потери от решения  $H_{MT}$  ( $\Pi_{HM}$ ) определяются так:

$$\Pi_{HM} = \Delta P_y P_{ny} + O P_{by} = \Delta P_y P_{ny}. \quad (3.51)$$

Таким образом, если  $\Pi_{OM} < \Pi_{HM}$ , то надо осуществлять маневр, если  $\Pi_{OM} > \Pi_{HM}$ , то маневр техникой экономически не оправдывается.

Значит необходимое условие маневра будет таким:

$$P_{\text{ом}} < P_{\text{нм}} \text{ или } Z_{\text{мт}} < \Delta P_y P_{\text{ну}}, \text{ откуда } P_{\text{ну}} > Z_{\text{мт}} / \Delta P_y. \quad (3.52)$$

Следовательно, в зависимости от того, какие составляющие этой формулы известны, задачу о целесообразности маневрирования техникой можно рассматривать в различных вариантах. Например, по известным  $P_{\text{ну}}$  и  $\Delta P_y$  определять, при каких затратах, связанных с осуществлением маневра техникой ( $Z_{\text{мт}}$ ), он будет экономически оправданным. Или по известным  $P_{\text{ну}}$  и  $Z_{\text{мт}}$  можно определить, что маневр целесообразен, если уровень потерь превысит величину  $\Delta P_y > Z_{\text{мт}} / P_{\text{ну}}$ .

Выразим  $Z_{\text{мт}}$  и  $\Delta P_y$  через другие физические величины, которые могут быть известны при решении вопроса о целесообразности маневра техникой.

Затраты  $Z_{\text{мт}}$  пропорциональны числу машин, которые предполагается включить в маневр ( $N_{\text{м}}$ ):

$$Z_{\text{мт}} = Z_{\text{м}} N_{\text{м}},$$

где  $Z_{\text{м}}$  – связанные маневром удельные затраты на одну машину.

К определению числа машин  $N_{\text{м}}$  можно подойти следующим образом.

Обычно сигналом о потребности в маневре является предварительный расчет, который показывает, что при неблагоприятных условиях некоторая часть площади (обозначим ее  $F_{\text{а}}$ ) может быть не убрана в заданный срок, в связи с чем могут возникнуть дополнительные потери (а иногда и гибель урожая).

Зная возможные календарные сроки работы привлеченной техники  $D_{\text{м}}$  и дневную производительность машин ( $W_{\text{дн}}$ ), можно определить требуемое число машин  $N_{\text{м}}$ :

$$N_{\text{м}} = \frac{F_{\text{а}}}{W_{\text{дн}} D_{\text{м}}}.$$

$$\text{Следовательно: } Z_{\text{мт}} = \frac{Z_{\text{м}} F_{\text{а}}}{W_{\text{дн}} D_{\text{м}}}. \quad (3.53)$$

Величину возможных потерь можно определить на основе такого рассуждения: если не сделать маневра (т.е. не привлечь дополнительную технику), то на площади  $F_{\text{а}}$  будут дополнительные потери. Их величину в принципе можно определить на основе аналитической модели, полученной в п. 3.2.

Однако можно в данном случае пойти более простым путем и считать, что

$$\Delta\Pi_{\text{у}} = K'_{\text{п}} C_{\text{у}} F_{\text{а}}, \quad (3.54)$$

где  $K'_{\text{п}}$  – средние возможные потери урожая с 1 га с учетом фактической урожайности, сорта, складывающихся условий и других факторов, ц/га;

$C_{\text{у}}$  – стоимость 1 ц урожая, руб.

Величина  $K'_{\text{п}}$  может быть определена экспертным путем на основе имеющегося опыта и с учетом конкретных условий.

Тогда условие целесообразности маневра будет следующим:

$$P_{\text{ну}} = \frac{Z_{\text{мт}}}{\Delta\Pi_{\text{у}}} = \frac{Z_{\text{м}} F_{\text{а}}}{W_{\text{дн}} D_{\text{м}} K'_{\text{п}} C_{\text{у}} F_{\text{а}}} = \frac{Z_{\text{м}}}{W_{\text{дн}} D_{\text{м}} K'_{\text{п}} C_{\text{у}}}. \quad (3.55)$$

Знаменатель этой формулы представляет собой возможные потери (в стоимостном выражении) на площади, которую машина может убрать в другом хозяйстве.

Таким образом, при решении вопроса о целесообразности маневра не обязательно точно знать величину площади  $F_{\text{а}}$  (которая может оказаться в аварийном состоянии) и число машин, привлеченных к маневру.

Вопрос решается на основе сопоставления следующих величин: затрат, связанных с перебазированием одной

машины –  $Z_m$ , возможных потерь урожая на той площади, которую эта машина может убрать в другом хозяйстве –  $F_m = W_{\text{дн}} D_m$ , и вероятности неблагоприятных условий –  $P_{\text{ну}}$ .

Из неравенства (3.55) следует, что чем больше затраты  $Z_m$ , тем большей должна быть вероятность  $P_{\text{ну}}$ . И наоборот, возможность сокращения больших потерь урожая, зависящих от убранной на новом месте площади и удельных потерь  $K'_n$ , уменьшает предельное значение вероятности. В этом состоит здравый смысл рассматриваемого условия. Чем большую площадь, например, могут убрать в другом хозяйстве комбайны и чем меньше затраты на их перебазирование, тем больше априорная вероятность маневра.

Выполненный анализ и полученные расчетные формулы являются основой для принятия решений на более строгой методологической основе.

Для практического использования целесообразно иметь номограммы. В качестве примера на рис. 3.2 приведена принципиальная схема предлагаемой номограммы для принятия и анализа решений о маневре (предположительно уборочной) техники. Для ее построения потребуются данные для конкретных условий и сложившейся ситуации.

В первой четверти в зависимости от возможной длительности работы техники в другом подразделении (хозяйстве) и ее дневной производительности определяется площадь, которая будет убрана одной машиной (на основе формулы  $F_m = W_{\text{дн}} D_m$ ).

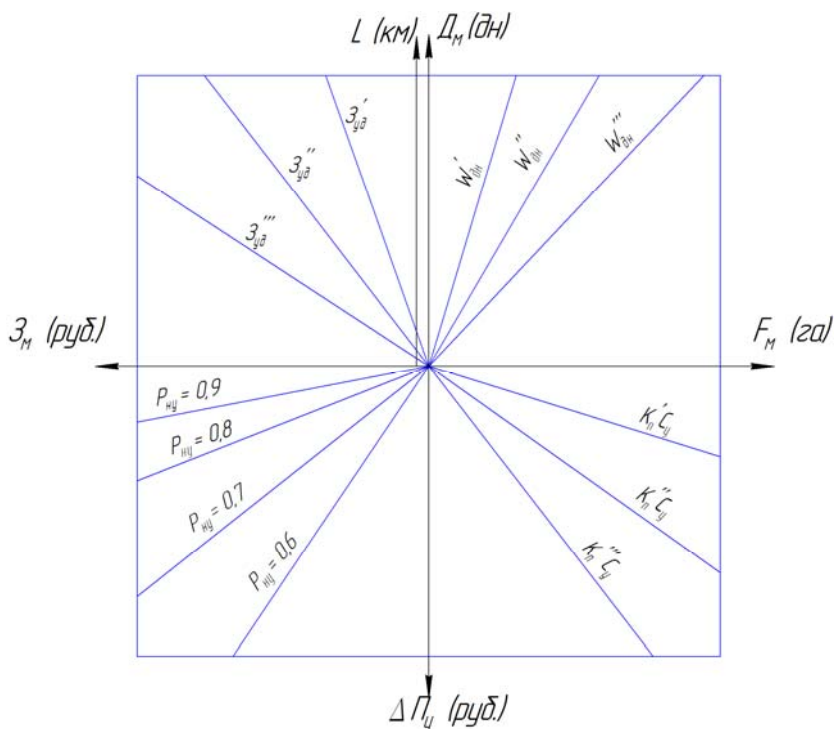


Рис. 3.2. Принципиальная схема номограммы для принятия и анализа решений о маневре техникой

Во второй четверти для различных уровней возможных потерь урожая ( $K'_\Pi$ ) и с учетом стоимости 1 ц продукции определяется величина  $\Delta\Pi_y$  (по зависимости  $\Delta\Pi_y = F_M K'_\Pi C_y$ ).

При определении затрат  $Z_M$  несколько расширим возможность анализа и включим дополнительно величину расстояния, на которое предполагается осуществить перебазирование техники, полагая, что  $Z_M = Z_{уд}L$ , где  $Z_{уд}$  – удельные затраты, отнесенные условно к расстоянию в 10 км. Необходимые построения выполнены в четвертой



четверти, а в третьей четверти построены лучи различных вероятностей  $P_{\text{ну}} = \frac{Z_m}{\Delta\Pi_y}$ .

Варианты использования номограммы могут быть различными в зависимости от постановки задачи и требуемого решения. В частности, могут быть такие вопросы:

- о целесообразности маневра по известным значениям  $Z_m$ ,  $\Delta\Pi_y$ ,  $P_{\text{ну}}$ ;
- о целесообразной длительности направления техники ( $D_m$ );
- об экономически целесообразном радиусе маневрирования ( $L$ ) при данном уровне потерь урожая и вероятности неблагоприятных условий.

Возможны и другие варианты использования номограммы.

В общем случае хозяйственная ситуация, соответствующая неблагоприятным условиям, не означает обязательно неблагоприятные погодные условия. Это могут быть просто недостаток техники, невысокая ее надежность и другие причины, препятствующие выполнению требуемого объема работ в установленные сроки.

Вероятность наступления такой ситуации может быть оценена только на основе знания конкретных условий, интуиции и опыта руководителей и специалистов. Однако именно неблагоприятные погодные условия являются (или могут быть) наиболее частой причиной потребности в маневрировании техникой, особенно на межрайонном уровне.

Вероятность наступления неблагоприятных условий обычно определяется метеорологическим прогнозом. Однако прогноз погоды пока не является абсолютно надежным и оправдывается только с некоторой вероятностью. При решении вопроса о маневре техникой в этих

условиях возникает дополнительная трудность, связанная с необходимостью учета ненадежности метеорологического прогноза. Можно использовать такой подход к определению условий целесообразности маневра техникой.

Альтернативный прогноз обычно характеризуется матрицей сопряженности, показанной в форме табл. 3.5 [22, 23].

Таблица 3.5. Матрица анализа прогноза

Фактически осуществившиеся условия	Прогноз погоды		$\Sigma$
	$\Pi_1$	$\Pi_2$	
$F_1$	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_1$
$F_2$	$P_{21}$	$P_{22}$	$P_2$
$\Sigma$	$P_1^*$	$P_2^*$	1

В этой таблице:

$P_{ij}$  – вероятности различных сочетаний прогнозов и фактических погодных условий;

$P_1, P_2$  – климатическая повторяемость погодных условий  $F_1, F_2$ ;

$P_1^*, P_2^*$  – повторяемость прогнозов  $\Pi_1, \Pi_2$ .

Условные вероятности правильного прогноза будут соответственно  $P_{1/1} = P_{11}$  и  $P_{2/2} = P_{22}$  (в свою очередь,  $P_{1/2}$ ;  $P_{2/1}$  – условные вероятности ошибок прогнозов).

При методически обоснованном прогнозе величина  $P_{1/1} > P_1$  или  $P_{2/2} > P_2$ .

В работе [23] показано, что область доверия альтернативному прогнозу и его хозяйственной полезности определяется следующими условиями:

$$P_{1/1} \geq \frac{\beta}{\beta + 1} - \text{при } \beta > \frac{P_1}{P_2}. \quad (3.56)$$

$$P_{2/2} \geq \frac{1}{1 + \beta} - \text{при } \beta < \frac{P_1}{P_2}. \quad (3.57)$$

Здесь  $\beta$  является хозяйственным показателем и определяется через элементы матрицы потерь. Для нашего случая  $\beta = \frac{\Delta\Pi_y - Z_{\text{MT}}}{Z_{\text{MT}}}$ .

Значит условия (3.55) и (3.56) можно записать по-другому:

$$P_{1/1} > P_{1/1}^{\min} = 1 - \frac{Z_{\text{MT}}}{\Delta\Pi_y} - \text{при } \beta > \frac{P_1}{P_2}. \quad (3.58)$$

$$P_{2/2} > P_{2/2}^{\min} = \frac{Z_{\text{MT}}}{\Delta\Pi_y} - \text{при } \beta > \frac{P_1}{P_2}. \quad (3.59)$$

Таким образом, прогнозу погоды целесообразно доверять и пользоваться им при принятии решения о маневре техникой, если отношение затрат, связанных с маневром, к возможным потерям меньше, чем вероятность правильного предсказания неблагоприятных метеорологических условий ( $P_{2/2}$ ).

При  $\frac{Z_{\text{MT}}}{\Delta\Pi_y} > P_{2/2}$  экономические последствия при

маневре будут худшими, т.е. затраты не окупятся сокращением потерь.

Следовательно, можно определить и требования к точности прогноза (при известных  $Z_{\text{MT}}$  и  $\Delta\Pi_y$ ), которая необходима для правильного решения вопроса о маневрировании техникой при возможном наступлении неблагоприятных метеорологических условий.

Сравнивая рассмотренный ранее подход и возможные коррективы его с учетом неточности прогнозов, можно отметить, что во втором случае обосновать решение уже сложнее и условия более жесткие.

Если обозначить  $P_{2/2} = P'_{\text{ну}}$  – вероятность правильного предсказания неблагоприятных условий, то общее условие целесообразности маневрирования техникой можно представить так:

$$P'_{\text{ну}} > P_{\text{ну}} > \frac{Z_{\text{мт}}}{\Delta\Pi_y}, \quad (3.60)$$

где  $P_{\text{ну}}$  – природная повторяемость определяемых прогнозом неблагоприятных метеорологических условий.

В заключение выскажем некоторые соображения по вопросу о маневрировании техникой на межхозяйственном уровне.

Теоретические предпосылки здесь таковы, что маневрирование техникой целесообразно рассматривать не только как вынужденную меру при аварийной ситуации, но и как важную экономически обоснованную меру рационального использования материально-технических ресурсов. В первую очередь это должно относиться к машинам сезонного пользования, потребность в которых по годам может значительно меняться.

### **3.8. Заключение**

Одним из основных путей обеспечения надежности ТСМПР на этапе проектирования является обоснование состава подсистемы ОТМ, которая определяет структуру всего комплекса машин и системы в целом. По существу здесь анализируются связи строения и состава подсистемы ОТМ с подсистемой ПТП и средой системы, т.е. наиболее многочисленные системообразующие связи.

Ключевым моментом в этой в целом многогранной задаче и в научно-методологическом и практическом смысле является анализ взаимосвязи и взаимного влияния

двух факторов: продолжительности выполнения производственного процесса и количества привлекаемой техники.

Совершенствование методов этого анализа проведено с учетом стохастического характера системы и ее неопределенности, что позволит пополнить методологическую базу рационального машиноиспользования.

Основную трудность при этом представляет количественная оценка потерь урожая. Выявленный характер закономерностей важен, он дает качественную оценку и позволяет сделать ряд полезных выводов. Но крайне необходимы конкретные данные о потерях, которые можно получить только опытным путем. Поэтому важно накапливать и обобщать такие данные.

Относительно возможных изменений ситуации в ходе выполнения процессов и вариантов их урегулирования отметим, что в основном их два – это маневрирование технологиями или техникой. Применительно к уборке зерновых культур в сложных условиях Сибири варианты технологических решений достаточно подробно исследованы в СибИМЭ (П.Н. Федосеев, Г.Е. Чепурин, их последователи и ученики). Маневр техникой на практике в сибирских условиях (в смысле «широтного» использования комбайнов) применялся ранее на межрегиональном уровне. Возвратиться к такой схеме сейчас, вероятно, не удастся, но маневр техникой на районном (и даже межрайонном) уровне применяется достаточно успешно. Особенно целесообразно, на наш взгляд, создавать определенные резервы на уровне района.

В настоящее время в связи с созданием машинно-технологических станций появились лучшие организационные предпосылки для решения такой задачи. Районные резервы могут использоваться в форме межхозяйственных отрядов на основе кооперации, в виде проката, аренды или в других организационно-экономических формах.

Особенно важным этот вопрос стал для фермерских хозяйств, где техники в целом явно недостаточно. А отдельные машины при небольшой земельной площади иметь в хозяйстве экономически нецелесообразно.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аблина С.Л.* Обоснование и разработка методики оптимального использования машинно-тракторных агрегатов на полевых работах в растениеводстве: автореф. дис... канд. техн. наук. – Челябинск, 1995. – 22 с.
2. *Абаев В.В.* Обоснование структуры комбайнового парка // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2009. – № 4. – С. 7.-9.
3. *Адаптивно-ландшафтные системы земледелия* Новосибирской области / В.И. Кирюшин, А.Н. Власенко, В.К. Каличкин и др.; под ред. В.И. Кирюшина, А.Н. Власенко; РАСХН. Сиб. отд-ние. СибНИИЗХим. – Новосибирск, 2000. – 388 с.
4. *Антипин В.Г.* Влияние сроков уборки на потери зерна и потребность в зерноуборочных комбайнах // Тр. НИПТИМЭСХ. – 1976. – Вып. 20. – С. 88-96.
5. *Бабченко Л.А.* Определение потерь от простоев сельскохозяйственной техники // Тр. ГОСНИТИ. – М., 1977. – Т. 54. – С. 74-77.
6. *Бабченко Л.А.* Уточнение методики определения потерь урожая от простоев сельскохозяйственной техники // Тр. ГОСНИТИ. – М., 1979. – Т. 61. – С. 76-79.
7. *Барам Х.Г.* Методика определения величины потерь за час простоя мобильной сельскохозяйственной техники / Х.Г. Барам, Н.Н. Потапков, Е.П. Бардина.– М.: ГосНИТИ, 1975. – 50 с.
8. *Барам Х.Г.* Оценка потерь от простоев агрегатов / Х.Г. Барам, Н.Н. Потапков, Е.П. Бардина // Механи-

зация и электрификация сел. хоз-ва. – 1977. – № 2. – С. 4-6.

9. *Баширов Р.М.* Минимизация потерь от недобора урожая / Р.М. Баширов, Д.Б. Дунюшкин // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2005. – № 1. – С. 23.
10. *Бейлис В.М.* Продолжительность проведения механизированных полевых сельскохозяйственных работ. – М.: ВИМ, 2005. – 164 с.
11. *Беляев В.И.* Оценка биологических потерь урожая пшеницы в Алтайском крае / В.И. Беляев, С.А. Камша // Вестник АГАУ. – 2009. – № 2. – С. 51-55.
12. *Бледных В.В.* Обоснование продолжительности уборки зерновых культур / В.В. Бледных, Ю.Е. Михайлов // Экономика сел. хоз-ва. – 1971. – № 9. – С. 80-82.
13. *Важенин А.Н.* Обоснование состава и календарного использования технологических комплексов в полеводстве. – Горький, 1989. – 81 с.
14. *Важенин А.Н.* Обоснование технологических уровней и разработка ситуационных методов повышения эффективности производственных процессов в растениеводстве: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Челябинск, 1993. – 38 с.
15. *Виноградов В.Б.* Определение потерь урожая из-за простоев сельскохозяйственной техники // Тр. ВИМ. – М., 1979. – Т. 85. – С. 11-21.
16. *Войцеховский В.В.* Определение потерь урожая зерновых колосовых культур в зависимости от темпов уборки // Совершенствование средств механизации возделывания зерновых культур. – Зерноград: ВНИИТИМЭСХ, 1984. – С. 142-151.
17. *Докин Б.Д.* Анализ методик оптимизации состава МТП колхозов и совхозов // Оптимизация некоторых процессов с.-х. производства. – Новосибирск, 1976. – С. 3-35.

18. *Докин Б.Д.* Методика исчисления дифференциальных затрат при оптимизации параметров МТА и состава МТП хозяйств с учетом особенностей Сибири // Вопросы рационального использования техники в сельском хозяйстве: науч. тр. / ВАСХНИЛ. Сиб. отделение. – 1976. – Вып. 12, ч. 1,2. – С. 180-193.
19. *Докин Б.Д.* Зональная система машин для интенсификации растениеводства Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Новосибирск, 1988. – 39 с.
20. *Елизаров В.П.* и др. Аспекты использования условных коэффициентов перевода сельхозтехники в эталонные единицы // Техника в сел. хоз-ве. – 2009. – № 6. – С. 5-9.
21. *Желобов А.Ф.* Об эффективности использования межхозяйственных и общерайонных формирований на уборке зерновых // Совершенствование средств механизации возделывания зерновых культур. – зерноград, 1984. – С. 39-45.
22. *Жуковский Е.Е.* Методы оптимального использования метеорологической информации при принятии решений / Е.Е. Жуковский, А.Ф. Чудновский. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 52 с.
23. *Жуковский Е.Е.* Метеорологическая информация и экономические решения. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 303 с.
24. *Завалишин Ф.С.* Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве. – М.: Колос, 1973. – 320 с.
25. *Завора В.А.* Основы эксплуатации мобильных сельскохозяйственных агрегатов. – Барнаул, 2004. – 256 с.
26. *Зангиев А.А.* Обоснование рекомендаций по эффективному использованию МТА // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1981. – № 3. – С. 40-42.



27. *Зангиев А.А.* Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка / А.А. Зангиев, Г.П. Лышко, А.Н. Скороходов. – М.: Колос, 1996. – 320 с.
28. *Иванов Б.Л.* Экономическая целесообразность проката сельскохозяйственной техники // Экономические методы хозяйствования в инженерной службе АПК: сб. науч. тр. / АгроНИИТЭИТО. – М., 1989. – С. 7-11.
29. *Иофинов С.А.* Оптимальный состав машинно-тракторных агрегатов в технологических звеньях поточных линий / С.А. Иофинов, В.Ф. Скробач, Т.Т. Исаева // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1983. – № 3. – С. 33-35.
30. *Кардаш В.А.* Экономика оптимального погодного риска в АПК (теория и методы). – М.: Агропромиздат, 1989. – 167 с.
31. *Колмаков М.А.* Маневрирование сельскохозяйственной техники в период уборки / М.А. Колмаков, В.Д. Ребизов // Автоматизация управления инженерным обслуживанием сельского хозяйства. – Владимир; Суздаль, 1984. – С. 210-212.
32. *Кононенко А.Ф.* Состояние и перспективы механизации уборки зерновых культур. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1976. – 95 с.
33. *Лачуга Ю.Ф.* Совершенствование лизинга сельскохозяйственной техники / Ю.Ф. Лачуга, В.И. Драгайцев // Техника в сел. хоз-ве. – 2009. – № 1. – С. 3-6.
34. *Лисунов Е.А.* Оптимизация продолжительности уборки зерновых культур // Вестн. с.-х. науки. – 1985. – № 10. – С. 147-151.
35. *Лубнин М.Г.* Влияние агрометеорологических условий на работу сельскохозяйственных машин и орудий. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 116 с.
36. *Машков Е.А.* Расчет продолжительности уборки по минимуму потерь зерна / Е.А. Машков, К.С. Орман-

- джил, З.И. Финкельберг // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1976. – № 4. – С. 40-41.
37. *Методика* определения размера недобора урожая основных сельскохозяйственных культур при опоздании с агротехническими сроками работ и разработке нормативов оптимальных сроков проведения полевых работ. – М., 1972. – С. 5-25.
38. *Методика* определения продолжительности проведения полевых сельскохозяйственных работ. – М.: ВИМ, НИИПиН, 1977.
39. *Михайлов Ю.Е.* Технико-экономическое обоснование парка зерноуборочных комбайнов / Ю.Е. Михайлов, Н.Н. Чуркин // Актуальные вопросы эксплуатации МТП: науч. тр./ ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1977. – Вып. 124. – С. 78-84.
40. *Нефедов Б.Б.* Анализ и определение потерь от простоев сельскохозяйственных агрегатов / Б.Б. Нефедов, А.Т. Остапко // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1966. – № 3. – С. 16-20.
41. *Обоснование* системы машин для комплексной механизации растениеводства Западной Сибири: метод. рекомендации. – Новосибирск, 1977. – 97 с.
42. *Павлов Б.В.* Проектирование комплексной механизации сельскохозяйственных предприятий / Б.В. Павлов, П.В. Пушкарева, П.С. Щеглов. – М.: Колос, 1982. – 287 с.
43. *Пасечная Л.Д.* О математическом моделировании технологических комплексов машин с учетом переменных условий внешней среды // Инженер.-техн. обеспечение с.-х. пр-ва. – Зерноград, 1983. – С. 120-129.
44. *Пискарев А.В.* Учет климатических условий при расчете потребности в уборочной технике / А.В. Пискарев, А.Е. Варивода // Эксплуатация и ремонт машинно-

тракторного парка: тр. Новосиб. СХИ. – Новосибирск, 1976. – Т. 91. – С. 8-11.

45. *Пискарев А.В.* Аналитическое исследование зависимости потерь урожая от продолжительности выполнения технологических процессов // Совершенствование средств механизации сельскохозяйственного производства в условиях Западной Сибири / Новосиб. с.-х. ин-т. – Новосибирск, 1983. – С. 57-66.
46. *Пискарев А.В.* Обоснование продолжительности выполнения технологических процессов при их проектировании и определении потребности в технике // Система машин в растениеводстве / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1983. – С 20-31.
47. *Пискарев А.В.* Вероятностные методы учета неопределенности условий при маневрировании техникой // Совершенствование технологии и средств механизации сельскохозяйственного производства / Новосиб. с.-х. ин-т. – Новосибирск, 1986. – С. 27-33.
48. *Пилюгин Л.М.* Обоснование систем сельскохозяйственной техники. – М.: Агропромиздат, 1990. – 209 с.
49. *Почвенно-климатический атлас Новосибирской области.* – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. – 122 с.
50. *Семейкин В.А.* Оценка уровня механизации в сельском хозяйстве // Сельский механизатор. – 2010. – № 2. – С. 12-13.
51. *Стрижаков А.С.* «Широтное» использование МТП машинно-технологических станций // Техника и оборудование для села. – 2009. – № 10. – С. 31-35.
52. *Ребизов В.Д.* Методика оценки биологических потерь зерна во время уборки / В.Д. Ребизов, М.А. Колмаков // Науч.-техн. бюл. / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – 1985. – Вып. 42. – С. 36-44.

53. *Саклаков В.Д.* Техничко-экономическое обоснование выбора средств механизации / В.Д. Саклаков, М.Д. Сергеев. – М.: Колос, 1973. – 200 с.
54. *Сергеева Л.М.* К оптимизации комбайнового парка хозяйств с учетом использования межхозяйственных комплексов // Оптимизация процессов механизации сельскохозяйственного производства. – Зерноград, 1984. – С. 25-36.
55. *Скорыходов А.Н.* Оптимальная организация использования техники в отрядах и комплексах. – М.: МИИСП, 1986. – 88 с.
56. *Скорыходов А.Н.* Обоснование методов повышения эффективности использования технологических комплексов в растениеводстве: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1997. – 37 с.
57. *Стопалов С.Г.* Определение потерь, вызванных простоями сельскохозяйственной техники / С.Г. Стопалов, Л.Ф. Кормаков // Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. – 1967. – № 12. – С. 25-28.
58. *Федосеев А.П.* Агротехника и погода. – Л.: Гидрометеопиздат, 1979. – 240 с.
59. *Федосеев А.П.* Использование гидрометеорологической информации для обоснования агротехнических решений / А.П. Федосеев, Е.Е. Жуковский // Вестн. с.-х. науки. – 1983. – № 2. – С. 138-143.
60. *Федосеев П.Н.* Уборка зерновых культур в районах повышенной влажности. – М.: Колос, 1969. – 172 с.
61. *Финн Э.А.* Обоснование состава МТП в хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1985. – 159 с.
62. *Щеглов П.С.* Оценка простоев сельскохозяйственной техники // Сб. науч. тр. / СибИМЭ. – 1971. – Вып. 7. – С. 150-156.
63. *Чепурин Г.Е.* Методика оценки погодных условий при определении продолжительности уборки зерновых

культур, количество уборочной техники для различных технологий уборки // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 1988. – № 6. – С. 54-58.

64. *Чепурин Г.Е.* Оснащение сельхозпроизводителей Западной Сибири зерноуборочной техникой с учетом зональных условий // С.-х. машины и технологии. – 2008. – № 3(4). – С. 20-26.

## **4. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И СБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

### **4.1. Ретроспективный обзор выполненных исследований и решаемых задач**

Как мы уже подчеркивали, основное внимание при изучении различных производственно-технологических процессов и технологических систем нами уделялось уборке урожая. Взаимодействие уборочных и транспортных машин во многом определяет надежность и эффективность уборочно-транспортных технологических систем (УТС). Как показывает практика, да и полевые производственные эксперименты, взаимообусловленные простои достигают у уборочных машин – до 20% времени смены, для транспортных средств – до 25.

Начало наших исследований в этом направлении относится ко второй половине 60-х годов (XX в.) при подготовке кандидатской диссертации (защищена в феврале 1966 г.). Наиболее активно исследования с нашим участием проводились до конца 70-х годов, хотя на кафедре эксплуатации МТП Новосибирского СХИ (ГАУ) это направление продолжали разрабатывать, да и сейчас исследования проводятся аспирантами и соискателями (под руководством доктора технических наук Ю.Н. Бlynского).

В данном параграфе мы сделаем обзор исследований данного направления, относящихся к указанному (начальному) периоду, так как, во-первых, эти исследования и обоснования были выполнены либо лично нами, ли-

бо под нашим научным руководством и при участии, а во-вторых, именно тогда был заложен фундамент общей программы исследований и были сформулированы основные идеи и гипотезы, получившие разработку в последующие годы. Следует оговориться, что и мы, естественно, не считаем себя в этой проблеме первооткрывателями. К названному периоду кроме трудов общеизвестных основоположников науки эксплуатации МТП уже было довольно много крупных обобщающих работ и исследований по отдельным конкретным вопросам [9,11,16,25,47 и др.].

Начальным этапом было обобщение и анализ ранее опубликованных научных работ и передового опыта по данному направлению исследований.

Основные результаты этого этапа работы заключались в следующем:

1. Подтверждены актуальность, научная и практическая значимость изучения данной проблемы, сформировалось и конкретизировалось направление дальнейших поисков, определились некоторые научные гипотезы.

2. В рамках детерминированного подхода были систематизированы методы анализа и расчета взаимодействия уборочных и транспортных машин, разработаны графоаналитические методы (номограммы) для различных типов машин и условий работы.

3. Опубликованы некоторые работы, где были изложены конкретные результаты и выводы по этому этапу исследований.

Среди этих публикаций особо выделим изданную в 1970 г. Россельхозиздатом книгу (хотя и небольшую) «Использование транспортных средств при уборке урожая» [33].

Какие основные выводы и задачи вытекали для последующих исследований?

Во-первых, это изучение возможности разорвать «жесткую» связь комбайна и транспортного средства и

прежде всего автомобильного, сделать их работу более независимой. В принципе этого можно добиться, если ввести промежуточную емкость, которая будет выполнять роль компенсатора при колебаниях производительности комбайнов и транспорта.

Эта емкость должна обеспечивать возможность быстрой перегрузки урожая в транспортное средство или быть приспособленной для транспортировки (вместе с накопленной в ней партией урожая). На практике уже появились многочисленные варианты конструкций зернонакопителей – перегружателей, технологические схемы с использованием в качестве накопителей прицепов, контейнеров и т.п. Все это требовало научного изучения и обоснования.

Необходимо отметить, во-вторых, что при этом помимо сглаживания процесса взаимодействия комбайна и транспортного средства (т.е. выполнения функций компенсатора) в определенной мере решается и другой принципиально важный вопрос – это отделение операций сбора и накопления урожая от непосредственно перевозки его, так как выполнять эти операции целесообразно разными (наиболее соответствующими) средствами механизации.

Одновременно с обоснованием новых технологических схем транспортного обслуживания уборочных машин надо создавать и средства для их осуществления. Это третье направление поисков уже в плане практической реализации названных выше принципиальных положений и идей.

И последнее направление (из числа основных) – это анализ различных технологических схем (способов и средств) и обоснование рациональных пределов их применения, т.е. наиболее эффективных и экономичных для разных условий работы.



Прежде всего, эти задачи мы планировали решать применительно к уборке урожая зерновых культур.

Это и стало не только темой, но и целым научным направлением (как оказалось в дальнейшем) для аспиранта В.Д. Игнатова, который поступил в очную аспирантуру в конце 1968 г. (научный руководитель А.В. Пискарев).

Исследования в целом проводились по вышеизложенной программе. Для автора это был, по существу, второй этап работы по рассматриваемой проблеме. Определенная новизна здесь состояла в том, что мы стремились учесть стохастический характер процессов. В связи с этим были использованы методы теории вероятностей и статистических исследований, для выбора оптимальных схем транспортного обслуживания зерноуборочных комбайнов использовалась вычислительная техника (в то время это было более значимо, чем сейчас).

Надо сказать, что В.Д. Игнатов работал достаточно целеустремленно и результативно. Для выполнения кандидатской диссертации ему оказалось достаточно аспирантского срока (3 года), что удастся далеко не всем. Диссертация была защищена в 1971 г. [ 21 ].

Особенно трудоемкими, организационно и технически сложными были научно-производственные эксперименты по определению эффективности использования различных зернонакопителей, а также прямых и комбитрейлерных перевозок зерна от комбайнов на ток. Были также экспериментально (на основе хронометражных наблюдений) установлены статистические параметры распределения элементов времени, определяющих технологическое взаимодействие уборочных и транспортных машин.

Исследования подтвердили, что при прямых перевозках зерна автомобилями (которые и в то время, да и сейчас еще являются основными) простой из-за ожидания взаимодействия в технологической системе довольно зна-

чительные: для комбайнов – 11,5-18,9%, для автомобилей – 10,8-17,7. Это реальные резервы повышения производительности и надежности технологических систем.

Применение промежуточных компенсаторов снижает суммарные простои до 70% (по сравнению с методом прямых перевозок), а производительность технологической системы возрастает до 25%. Причем наибольший прирост производительности был достигнут при работе четырех комбайнов в звене с компенсатором вместимостью 6-8 т, а при работе шести комбайнов желательно иметь компенсатор вместимостью 8-12 т. При этом потребность автомобилей в комбайнотранспортном звене сокращается на 1-2 единицы.

Более подробные результаты исследований взаимодействия зерноуборочных машин и сборочно-транспортных средств изложены в наших совместных публикациях [20,34,35,37,38,40], а также в работах В.Д. Игнатова (например [22]).

После завершения наших исследований по транспортному обслуживанию зерноуборочных комбайнов стало ясно, что изучение этой «транспортной» проблемы надо продолжить применительно к безбункерным уборочным машинам (силосоуборочным и другим кормоуборочным комбайнам).

Специфика взаимодействия ОТМ и СТС при уборке силосных культур состоит, как известно, в том, что уборочные машины не имеют бункеров, и постоянно требуется средство для сбора урожая, его накопления и последующей транспортировки. Кроме того, здесь имеет место значительно больший грузопоток, чем при уборке зерновых культур, т.к. масса урожая, требующая перевозки, более чем в 10 раз превышает урожай зерна. Путь, проходимый транспортом по полю, значительно больше. Это также надо учитывать при рационализации и обосновании схем

транспортного обслуживания. Было очевидно, что эта проблема актуальна и требует разработки путем проведения специальных исследований. Решение комплекса задач, вытекающих из отмеченной специфики, стало программой исследований для следующего нашего аспиранта очной формы обучения Ю.Н. Блынского.

Здесь уместно отметить, что в то время в этом направлении исследования еще почти не проводились (не только в Сибири, но и в других регионах страны), практически не было и публикаций. Это в отличие от перевозок зерна, которыми занимались многие научные коллективы. Наша работа стала в своем роде пионерской, что определило и свои дополнительные трудности.

В исследованиях Ю.Н. Блынского получили дальнейшее развитие возможности применения методов теории массового обслуживания и имитационного моделирования для изучения процесса взаимодействия уборочных и транспортных машин, обоснованы новые схемы транспортного обслуживания безбункерных комбайнов с применением оборотных прицепов и прицепов-компенсаторов, изучены статистические параметры условий работы и взаимодействия машин в процессе уборки. Подтверждена достаточно высокая эффективность предложенных способов организации перевозок урожая.

Важным практическим результатом была разработка комбинированного агрегата для одновременной уборки (скашивание, измельчение) и сбора урожая, а также была создана (сконструирована, изготовлена и опробована) гидрофицированная сцепка к комбайну СК-2,6 для обеспечения работы этого комбинированного агрегата [1].

Ю.Н. Блынский уже тогда проявил себя как способный и перспективный исследователь, трудолюбивый и целеустремленный человек. Кандидатскую диссертацию по теме «Исследование и рациональное построение транс-

портного обслуживания при уборке силосных культур в условиях Западной Сибири» он защитил в 1976 г.[2], т.е. к концу пребывания в аспирантуре. Эти качества еще в большей степени были подтверждены и усилены в последующие годы и в научной, и в других видах деятельности.

Проблема использования транспортных средств при уборке урожая оказалась весьма многогранной, она открывала все новые, недостаточно изученные грани. После защиты кандидатских диссертаций и В.Д. Игнатов, и Ю.Н. Блынский, расширяя и углубляя подходы и развивая научные методы, продолжили исследования по существу по прежним темам и, решив новые задачи, выполнили и защитили докторские диссертации (В.Д. Игнатов– в 1986, а Ю.Н. Блынский– в 1991 г.)

По проблеме совершенствования технологии и технических средств транспортного обеспечения уборки урожая выполнили (под руководством Ю.Н. Блынского) и защитили кандидатские диссертации Ю.А. Гуськов, С.А. Голубь, И.В. Тихонкин.

Результаты этого (более позднего) периода исследований, выполненных по проблеме перевозок урожая на кафедре эксплуатации МТП, в данной монографии не рассматриваются, так как наше участие при этом ограничивалось обсуждением хода и результатов работ, отдельными консультациями и советами.

#### **4.2. Анализ подходов и методов оптимизации взаимодействия основных технологических машин и сборочно-транспортных средств**

Рассмотрим основные подходы и методы анализа и расчета (оптимизации) взаимодействия указанных групп машин, одна из которых представляет основное звено, а другая – обслуживающее. Эти подходы и методы не оста-

вались неизменными за прошедший период исследований, во-первых, потому, что они за этот период сами развивались и совершенствовались (несмотря на относительно небольшой временной интервал), а во-вторых, на их основе решались различные задачи.

Мы выделили три наиболее общих принципиальных подхода (модели) к рассматриваемому взаимодействию:

- детерминированная модель;
- стохастическая модель;
- имитационная модель

Эти подходы нами применялись на разных этапах или независимо, или дополняя друг друга. Неизменной для всех моделей является необходимость обеспечения поточной работы всех агрегатов технологического комплекса. Это требование обычно выражается равенством:

$$n_1 W_1 T_1 = n_2 W_2 T_2 = \dots = n_i W_i T_i, \quad (4.1)$$

где  $n_i$  – число агрегатов  $i$ -го типа;

$W_i$  – часовая производительность каждого агрегата  $i$ -го типа;

$T_i$  – продолжительность рабочего дня.

*Детерминированная модель* строится из предположения, что все параметры взаимодействия в процессе работы не меняются, они «жестко» связаны и эту взаимосвязь можно выразить аналитически.

Поскольку такого постоянства в действительности нет, то фактически мы оперируем с математическими ожиданиями анализируемых величин, что приводит не к абсолютно точному результату. В этом заключается главный недостаток такого подхода (и этой модели). Однако при использовании его применительно к расчету уборочно-транспортного звена (или комплекса) погрешность расчетов вполне допустима, а относительная простота и доступность используемого аналитического аппарата является достаточной компенсацией имеющихся недостатков.

Такой подход был традиционным в течение многих лет, да и сейчас еще не время его «сдавать в архив», особенно если иметь в виду не исследовательские задачи, а широкую практику использования в реальных условиях производства. Этот подход мы использовали на начальном этапе исследований и обобщения передового опыта, а некоторые конкретные методы аналитического и графоаналитического расчета при проектировании рациональных технологических систем будут рассмотрены далее.

*Стохастические модели* описывают процесс взаимодействия уборочных машин и сборочно-транспортных средств с учетом вероятностного характера пространственно-временных характеристик основных факторов (параметров). Здесь необходимо применять несоизмеримо более сложный математический аппарат, при этом возникает необходимость вводить ряд ограничений относительно закономерностей движения грузопотоков, продолжительности и дисциплины обслуживания, которые могут существенно исказить реальный характер взаимодействия уборочных и транспортных машин. Стохастические модели дают возможность формализовать факторы среды, которые играют важную роль в сборочно-транспортном процессе. Это, конечно, относится к достоинствам подхода. Учет конкретных условий того или иного хозяйства усиливает практическую значимость любой модели.

Наибольшее распространение получила стохастическая модель, основанная на математическом аппарате теории массового обслуживания (ТМО). В этой теории обычно рассматривается поток случайных событий, различающихся моментами их появления, причем этот поток принято считать простейшим. К этому допущению о применимости ТМО и адекватности описания сборочно-транспортного процесса следует отнести с большой

осторожностью и даже с определенным сомнением. Мотивы этого заключаются в следующем.

Обычно принимается условие, что поток заявок на обслуживание (которыми считаются наполненные бункеры комбайнов) имеет распределение Пуассона, а продолжительность обслуживания подчинена показательному закону. В то же время еще Ф.С. Завалишиным и другими исследователями было установлено, что эти потоки (заявок и продолжительности обслуживания) имеют нормальное распределение [16, с. 140-150].

Это вытекает и из простого логического анализа процесса. Возьмем продолжительность наполнения бункера комбайна (или кузова транспортного средства) урожаем. Разве следует эту величину считать случайной? Фактически здесь проявляется детерминированная связь. Конечно, этот промежуток времени не будет всегда одинаков, но обычно с точностью до нескольких минут можно предсказать появление этого события. А отклонения вероятнее всего описываются именно законом нормального распределения (как и обычно для ряда измерений одной и той же величины).

Не вполне корректно также считать поток заявок простейшим, который, как известно, должен обладать ординарностью, стационарностью и отсутствием последействия. Если эти свойства наложить на реальный физический процесс, то можно сказать, что в некоторой степени подтверждается только условие ординарности (вероятность того, что одновременно намотят полные бункеры два комбайна, мала). Стационарность потока означает, что вероятность появления некоторого числа событий зависит только от продолжительности интервала времени и не зависит от начала отсчета этого времени. Реальная картина процесса уборки не всегда такова. Например, в связи с изменением влажности и других условий (при уборке зерно-

вых культур) продолжительность наполнения бункера комбайна зерном утром, днем и в вечерние часы может значительно колебаться.

Свойство отсутствия последствия означает, что события за один период времени не зависят от событий за другой период. Такое условие также не всегда выполняется, особенно при групповой работе комбайнов и транспортных средств.

Таким образом, сомнение в адекватности отражения реальной картины процесса методами ТМО является, на наш взгляд, вполне обоснованным. И еще по этому же поводу. Не очень убедительно звучат слова о «массовости» обслуживания в комбайнотранспортном звене, где работает, как правило, не более 8-10 единиц техники (а анализ взаимодействия на основе ТМО идет именно применительно к небольшим группам машин, работающих на одном поле). К числу недостатков этого подхода надо также отнести громоздкость и сложность аналитических выражений и расчетов по ним, что в условиях многообразия технологических систем (к тому же часто перестраиваемых) далеко не всегда будет оправдываться. Для примера назовем формулы для определения средней длины очереди на обслуживание или вероятности того, что все каналы обслуживания свободны (эти формулы являются типичными для этого анализа). В них по 15-20 математических символов, сложные степенные функции, круглые и квадратные скобки и т.п. А ответ практически ясен и без расчетов: в первом случае (для звена) – это, как правило, одна машина (максимум две), а второй вопрос для функционирующей ТС вообще не имеет реального смысла.

В целом мы не отрицаем возможности использования положений ТМО для предварительных и прогнозных расчетов с использованием ЭВМ, при разработке плановых стратегий, для обоснования выбора рациональных решений



по вариантам различных технологических схем обслуживания и в некоторых других случаях, когда речь идет о действительно массовых потоках.

Несмотря на изложенные критические замечания, в порядке «самокритики» отметим, что мы тоже в достаточной мере пользовались ТМО, потому что в этом было много привлекательного: элементы новизны, эти методы хорошо разработаны и изложены в соответствующей литературе, удобны для использования, и др.

Просто мы считаем, что применение в этом случае ТМО недостаточно убедительно и увлекаться ее использованием вряд ли целесообразно. Хотя это частное мнение вполне можно считать дискуссионным.

*Имитационные модели* многими исследователями признаются самым совершенным на данном этапе способом описания процесса, так как эти модели располагают очень широкими возможностями [31]. В них может быть использована любая информация, только бы она была доступна для регистрации и последующей обработки.

Элементы технологической системы представлены своими моделями, и эти частные модели взаимодействуют между собой по законам, которые связывают в действительности их физические прообразы. При этом как бы воспроизводится сам процесс. В этом смысле этот тип моделирования близок к натурному эксперименту, однако требует значительно меньших затрат труда и средств, а в ряде случаев полномасштабный эксперимент просто невозможен.

«В настоящее время имитационное моделирование – наиболее эффективный метод исследования больших систем, а часто и единственный практически доступный метод получения информации о поведении системы на этапе проектирования». Так оценивает этот метод наш коллега доктор технических наук И.Я. Федоренко [50].

Лидером в разработке имитационных моделей для отображения и исследования сельскохозяйственных механизированных систем в последние годы является, по нашему мнению, доктор технических наук А.М. Криков (СибИМЭ), с которым мы достаточно тесно сотрудничали и консультировались. Его монография [31] является своеобразным справочным пособием по имитационному моделированию механизированных сельскохозяйственных систем.

Имитационное моделирование позволяет учитывать и стохастическую (вероятностную) природу переменных факторов при функционировании системы. Этим объясняется применение термина «статистическое имитационное моделирование» [10, 27, 30, 31, 49, 51].

В нашем случае на основе имитационного моделирования изучались технологические схемы транспортного обслуживания зерноуборочных комбайнов (аспирант В.Д. Игнатов), а также безбункерных уборочных машин (аспирант Ю.Н. Бlynский). Надо сказать, что тогда и позднее – уже на стадии работы над докторскими диссертациями – они внесли несомненный вклад в развитие метода имитационного моделирования применительно к исследованию уборочно-транспортных процессов [4, 6, 7, 21, 44 и др.].

### **4.3. Методы согласования работы уборочных и транспортных машин: детерминированная модель**

Согласование работы этих групп машин определяет оптимальное сочетание количества машин в группах, а также четкость и ритмичность их работы.

Количество транспортных средств, необходимое для обслуживания уборочных машин, определяют:

1) расчетом на основе формул, характеризующих взаимосвязь основных параметров уборочно-транспортного процесса (аналитический метод);

2) построением специальных графиков (номограмм), определяющих взаимосвязь работы уборочных и транспортных машин (графоаналитический метод);

3) с помощью вычислительной техники (персональных компьютеров);

4) на основе табличных данных, полученных при помощи аналитического расчета или вычислительной техники.

Аналитический метод позволяет наиболее полно и точно выявить влияние различных факторов на взаимодействие уборочных машин и транспортных средств. Однако при этом методе необходимо выполнять достаточно большие расчеты, что не всегда удобно.

Вопросы рационального взаимодействия машин на уборке и транспортировке урожая можно решать быстрее и проще при помощи номограмм, заранее составленных и построенных на основе расчетов. Только в номограммах трудно учесть непрерывное изменение отдельных факторов, поэтому можно получить предварительный, во многом ориентировочный ответ. Вместе с тем на практике этот метод можно использовать, так как его точность вполне достаточна.

Наиболее удобным, конечно, является компьютерный вариант, однако проблема в необходимости разработки соответствующих программ.

Необходимое количество транспортных средств на практике можно определить по таблицам, составленным для конкретных условий. Такие таблицы могут оказать существенную помощь работникам, занимающимся использованием транспортных средств на перевозках урожая.

Ниже более подробно рассматриваются первый и второй методы определения количества транспортных средств, так как они являются наиболее общими.

При аналитическом описании взаимодействия уборочной техники с транспортом мы не предлагаем каких-либо новых подходов, а просто систематизировали расчетные формулы применительно к разным условиям и типам машин. Но его нельзя было исключить, поскольку он наиболее полно раскрывает закономерности взаимодействия, а также является основой для построения номограмм, в разработку которых автором внесен определенный вклад [34].

#### ***4.3.1. Аналитический метод расчета***

Общим принципом расчета количества машин при поточной организации уборочно-транспортных процессов является равенство производительности в различных звеньях [16,17,19, 32, 51 и др.].

Взаимодействие уборочных и транспортных машин выражается формулой

$$n_k W_k U_k = \frac{n_T q_T}{t_{об}} \pi, \quad (4.2)$$

где  $n_k$ ,  $n_T$  – соответственно количество комбайнов и транспортных средств;

$W_k$  – производительность комбайна, га/ч;

$U$  – урожайность перевозимой продукции, ц/га;  
 $q_T$  – фактическая грузоподъемность транспорта, ц;  
 $t_{об}$  – время полного оборота транспортного средства, ч.

Отсюда количество необходимых транспортных средств равно:

$$n_T = \frac{n_k W_k U t_{об}}{q_T}. \quad (4.3)$$

Часовая производительность комбайна определяется по формуле:

$$W_k = 0,1 B_p V_p \tau, \text{ га/ч}, \quad (4.4)$$

где  $B_p$  – фактическая ширина захвата жатки комбайна или среднее расстояние между осями смежных валков, м;

$V_p$  – средняя рабочая скорость движения комбайна, км/ч;

$\tau$  – коэффициент использования рабочего времени.

Время оборота транспортного средства ( $t_{об}$ ) складывается из времени движения (с грузом и без груза) –  $t_{дв}$  и времени на погрузку и разгрузку продукции урожая (с учетом времени на взвешивание груза и оформление документов) –  $t_{пв}$ .

Если скорость движения груженого и порожнего транспорта при отвозке урожая принять одинаковой ( $V_T$ ), то время оборота транспортного средства будет равно:

$$t_{об} = \frac{2S}{V_T} + t_{пв},$$

где  $S$  – расстояние перевозки урожая, км.

Таким образом, количество транспортных средств, необходимое для обслуживания комбайнов, зависит от количества работающих комбайнов и их производительности, урожайности убираемой культуры, фактической грузоподъемности транспорта, расстояния перевозок, скорости

движения, зависящей от дорожных условий, а также от длительности погрузки и разгрузки транспорта. Однако для рационального использования и ритмичной работы необходимо более детально проанализировать взаимную работу комбайнов и транспортных средств при уборке различных культур.

Транспортное средство должно подходить к зерноуборочному комбайну после наполнения бункера зерном. Таким образом, продолжительность наполнения бункера комбайна определяет ритм взаимодействия комбайна и обслуживающего транспорта.

Время ( $t_6$ ) наполнения бункера зерном определяется по формуле:

$$t_6 = 0,1 \frac{V_6 \gamma}{B_p V_p U}, \text{ ч},$$

где  $V_6$  – емкость бункера комбайна,  $\text{м}^3$ ;

$\gamma$  – объемная масса зерновых культур.

Если скорость движения комбайна обеспечивает полное использование пропускной способности молотилки ( $Q_M$ ), то время ( $t_6$ ) определяется по формуле:

$$t_6 = \frac{V_6 \gamma (1 + \delta_c)}{3600 \cdot Q_M}, \text{ ч},$$

где  $\delta_c$  – коэффициент соломистости (отношение массы соломы к массе зерна).

Ритм движения транспортных средств ( $R_T$ ) зависит от времени их оборота и количества. Чтобы комбайны не простаивали, необходимо через время ( $t_6$ ) к ним подавать транспортные средства для разгрузки бункеров.

Однако после разгрузки одного бункера транспорт не будет полным и будет ожидать последующей разгрузки бункеров. Если работает один комбайн, то время ожидания будет равно времени набора бункера ( $t_6$ ). В этом случае

возрастает время оборота транспорта и его количество. Поэтому одиночная работа комбайнов допускается только в отдельных случаях на небольших участках.

Для создания благоприятных условий работы транспорта комбайны должны работать в таком количестве, чтобы суммарная емкость их бункеров была не менее емкости транспортных средств. При такой организации работы транспорт должен работать с ритмом  $R_T = t_6$ .

При крупногрупповой работе комбайнов за ритм движения транспорта можно принимать время, необходимое для намолота количества зерна, равного грузоподъемности транспортного средства:

$$R_T = \frac{q_T}{n_k W_K U}, \text{ ч.} \quad (4.5)$$

В рассмотренных вариантах имеется в виду, что согласованная работа уборочных и транспортных машин возможна при постоянстве времени оборота ( $t_{об}$ ) и времени намолота бункера ( $t_6$ ). В противном случае в поточной работе машин будут перебои – простои комбайнов или транспортных средств.

В связи с этим на уборочно-транспортных линиях применяют промежуточные (компенсирующие) емкости, тогда работа комбайна и транспорта становится более независимой. Роль емкостей выполняют прицепы (полуприцепы), расставленные по полю на предполагаемых местах разгрузки комбайнов. При этом применение колесных тракторов при перевозке прицепов по стерне значительно снижает потребность в автотранспорте. В качестве промежуточной емкости широко применяются самоходные и стационарные бункеры-накопители. Такие схемы взаимодействия уборочных машин и сборочно-транспортных средств будут рассмотрены далее.

При обслуживании безбункерных комбайнов транспорт должен постоянно находиться около них. Время совместной работы комбайна и транспортного средства определяется продолжительностью наполнения его кузова продукцией урожая и зависит от ее количества, поступающего в единицу времени, и фактической грузоподъемности транспорта. Этот период времени определяет ритм работы комбайна и транспортных средств.

Непрерывность работы комбайна и транспортного средства обеспечивается при условии:

$$\frac{Q_T}{W_K U} = \frac{t_{об}}{n_T} \text{ или } \frac{Q_T}{0,1B_p V_p U} = \frac{t_{об}}{n_T}.$$

Количество транспортных средств определяют по формуле:

$$n_T = \frac{0,1B_p V_p U t_{об}}{Q_T}. \quad (4.6)$$

При обслуживании одного комбайна транспортные единицы должны двигаться с одинаковым интервалом, равным ритму процесса. Для выполнения этого требования желательно обслуживать комбайн однотипным по грузоподъемности и другим показателям транспортом. В противном случае время оборота транспорта будет различным, и ритмичность в работе нарушится. Общая потребность в транспортных средствах для обслуживания безбункерных комбайнов определяется по формуле:

$$n_T = \frac{n_k W_k U (2S + V_T t_{вр})}{Q_T V_T} + 1, \quad (4.7)$$

где  $t_{вр}$  – время для взвешивания и разгрузки транспорта.

Для того чтобы количество транспорта, рассчитанного по формуле (4.7), было достаточным, необходимо ра-



боту комбайнов начинать не одновременно, а с интервалом, равным ритму движения транспорта.

В случае невозможности укомплектования группы комбайнов однотипными автомобилями (или тракторными поездами) их количество должно быть подобрано из условия:

$$\frac{n_1'}{n_1} + \frac{n_2'}{n_2} + \frac{n_3'}{n_3} + \dots = 1, \quad (4.8)$$

где  $n_1' \ n_2' \ n_3' \dots$  – число имеющихся транспортных средств разных марок;

$n_1 \ n_2 \ n_3 \dots$  – число необходимых транспортных средств каждой марки.

Например, для обслуживания группы силосоуборочных комбайнов необходимо закрепить пять четырехтонных или семь трехтонных автомобилей. В хозяйстве имеется всего два четырехтонных автомобиля, поэтому необходимо направить трехтонных автомобилей в количестве:

$$n_2' = \frac{n_2}{n_1} (n_1 - n_1') = \frac{7}{5} (5 - 2) \approx 4.$$

Однако в этом случае ритмичность работы будет менее четкой, чем при работе однотипного транспорта.

В картофелеуборочных комбайнах клубни после очистки и сепарации поступают в копильник с подвижным дном. Таким образом, картофель в транспортные средства может поступать порциями, равными массе картофеля в копильнике, или непрерывно. Эти способы можно комбинировать. Выбор способа разгрузки определяется урожайностью и видом транспортных средств. Непрерывно разгружать комбайны можно при обслуживании тракторным транспортом.

В этих случаях в расчетах транспортных средств можно применять принципы и зависимости, рассмотренные при обслуживании безбункерных комбайнов.

Когда загрузка тракторного транспорта осуществляется комбинированно, т.е. некоторое время ( $t$ ) комбайн работает без транспорта, а затем непрерывно разгружает копильник в транспортное средство при одновременном движении, общая продолжительность загрузки ( $t_{\text{заг}}$ ) и время оборота ( $t_{\text{об}}$ ) уменьшаются. Наличие на комбайне бункера-копильника повышает производительность транспорта и обеспечивает менее «жесткую» взаимосвязь с ним. Простои комбайнов в ожидании транспорта при хорошо согласованной работе значительно уменьшаются.

Для определения емкости бункера-копильника ( $V_{\text{бк}}$ ), устанавливаемого на уборочной машине, Ф.С. Завалишин рекомендует следующую зависимость [16, с.154]:

$$V_{\text{бк}} = 0,2V_{\text{КТ}},$$

где  $V_{\text{КТ}}$  – объем кузова транспортного средства. При этом он исходит из полученных результатов определения закономерности распределения времени наполнения кузова транспортного средства ( $t_{\text{нап}}$ ). Было установлено, что при нормальном распределении среднее квадратическое отклонение

$$\delta = (0,05 \div 0,25) - \bar{t}_{\text{нап}}.$$

Такая рекомендация для картофелеуборочного комбайна является приемлемой. Однако здесь же он высказывает мысль (подразумеваются зерноуборочные комбайны) о том, что увеличивать емкость бункера, устанавливаемого на комбайнах, «едва ли есть смысл, так как это повлечет за собой значительное увеличение веса машин» [16]. Такое сомнение было впоследствии развеяно практикой комбайностроения (и прежде всего зарубежного).

#### ***4.3.2. Графоаналитические методы определения потребности в транспортных средствах для согласованной работы с комбайнами***

Определить количество транспортных средств и оценить различные варианты их применения можно при помощи специальных графиков-номограмм, построенных на основе расчетов по формулам. Основным показателем согласованной работы комбайнов и транспорта является оптимальное сочетание их количества. Решение этого основного вопроса обычно закладывается в методику построения номограмм.

В связи с изложением этого вопроса отдельно хочется сделать следующее отступление.

При изучении классической теории эксплуатации машинно-тракторного парка (особенно несколько десятилетий назад), изложенной в известных учебниках и пособиях, построение и использование номограмм было практически обязательным элементом. В основном номограммы были ориентированы на определение состава агрегата, где за основу принимались параметры трактора. Наиболее известными (и изучаемыми) были методы Б.С. Свирщевского, М.П. Сергеева, И.И. Киселева (см. например, [33]). Однако при агрегатировании специальных комбайнов (сiloуборочных, картофелеуборочных или свеклоуборочных) определяющим звеном в агрегате является уже уборочная машина. Прежние методы в этом случае были мало пригодны.

Тогда у нас появилась идея разработать для таких случаев специальную номограмму, а работа преподавателем на кафедре эксплуатации МТП стимулировала такую творческую деятельность. Разработанная нами номограмма (методика построения и использования) была включена в учебное пособие для вузов «Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка», изданное издательством

«Колос» в 1969 г. [33]. Но сейчас речь идет не об этой номограмме. Этот экскурс свидетельствует о некоторой склонности автора к разработке номограмм и имеющемуся опыте.

Применительно к обслуживанию зерноуборочных комбайнов разными авторами разработано и опубликовано несколько вариантов номограмм. Мы их не приводим и не анализируем, а отсылаем к авторам публикаций и первоисточникам (например, [15]).

Рассмотрим только два предложенных нами варианта номограмм: для безбункрных уборочных машин и так называемую универсальную номограмму [34, 37, 39].

Для безбункрных комбайнов номограмма приведена на рис. 4.1.

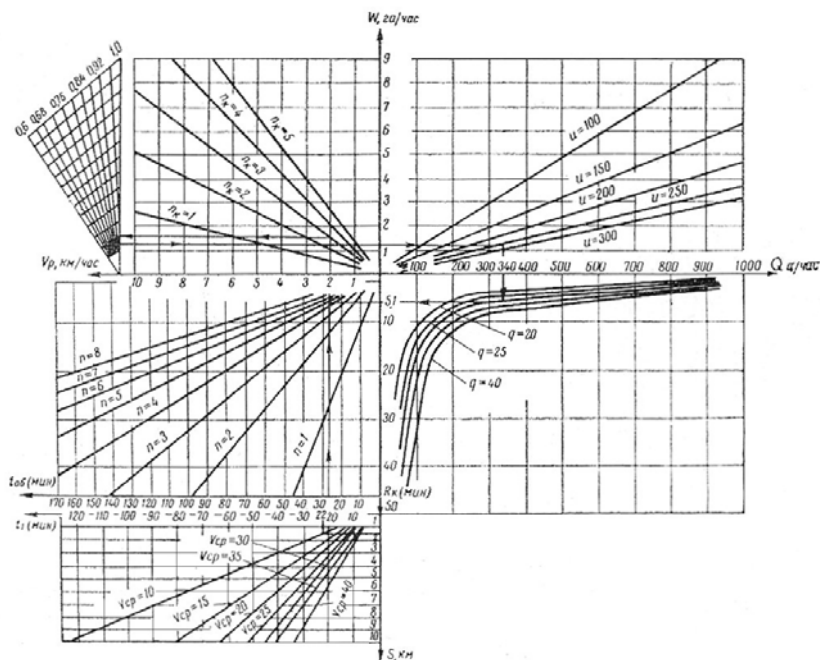


Рис. 4.1. Номограмма для определения потребности в транспортных средствах по обслуживанию комбайнов

По этой номограмме можно рассчитать количество транспортных средств для силосоуборочных (кормоуборочных) комбайнов.

Построение и использование номограммы начинается с определения часовой производительности комбайнов в зависимости от их количества, скорости движения и коэффициента использования времени смены:

$$W = 0,1 B_p V_p n_k \tau, \text{ га/ч.} \quad (4.9)$$

Графики этой зависимости представлены в левой верхней части номограммы.

В правой верхней части строят графики для определения количества полученной зеленой массы ( $Q$ ) в зависимости от величины убранной площади ( $W$ ) и урожайности ( $U$ ):

$$Q = W U.$$

В правой нижней части номограммы показано изменение продолжительности наполнения транспорта силосом (ритм работы –  $R_k$ ) в зависимости от величины ( $Q$ ) и грузоподъемности транспорта ( $q_T$ ):

$$R_k = \frac{q_T}{Q}, \text{ мин.}$$

Условно здесь принято, что масса от всех комбайнов поступает в одно транспортное средство, при этом будет определяться минимальное количество однотипного транспорта.

В нижней части построена зависимость времени движения (с учетом времени взвешивания и разгрузки) от расстояния перевозок и средней скорости движения транспорта:

$$t_1 = \frac{2S}{V_T} t_p, \text{ мин.}$$

На последнем графике показана зависимость количества транспортных средств от времени их оборота и продолжительности наполнения продуктами урожая:

$$n_T = \frac{t_{об}}{R_K} . \quad (4.10)$$

Шкала для  $t_{об}$  берется отдельно от шкалы времени  $t_1$  и учитывается, что  $t_{об} = t_1 + R_K$  ( $R_K = t_{нап}$ ). Покажем использование номограммы на примере.

Предположим, что на поле работают 3 комбайна в группе при урожайности зеленой массы 250 ц/га, которую отвозят тракторы с тележками грузоподъемностью 3 т на расстояние 1,5 км, при этом средняя скорость движения на отвозке составляет 10 км/ч.

Пропускная способность комбайнов при заданной урожайности позволяет работать со скоростью движения примерно 2 км/ч. Для определения производительности комбайнов из отметки на шкале скорости 2 км/ч проводим вертикальную линию до пересечения с лучом  $n_K = 3$ , а затем по горизонтали – до линии, соответствующей  $\tau = 1$ . Этот пример на номограмме показан сплошной линией, однако величина  $\tau = 0,76$ . Поэтому проводим линию параллельно угловым до отметки  $\tau = 0,76$  и затем по горизонтальной линии на шкале определяем техническую производительность агрегатов: она составляет 1,30 га/ч.

Горизонтальная линия продолжается до пересечения с линией, соответствующей урожайности, и из точки пересечения проводится вертикально вниз на ось Q. Здесь определяем, что за час будет убрано около 340 ц силосной массы.

Вертикальная линия продолжается до пересечения с линией грузоподъемности транспорта и из точки пересечения проводится горизонтальная линия до пересечения с осью  $R_K$ . На этой оси отмечаем, что условно транспорт будет напол-

няться в течение 5,1 мин, т.е. через каждые 5,1 мин должно подходить транспортное средство для погрузки.

В нижней части номограммы определяем суммарное время, затрачиваемое на движение и разгрузку. На графике продолжительность разгрузки принята 4 мин. Из отметки на шкале расстояния ( $S = 1,5$  км) проводим горизонтальную линию до пересечения с лучом скорости ( $V_T = 10$  км/ч) и на шкале  $t_1$  ( $t_1 = t_{\text{дв}} + t_p$ ) получаем продолжительность этих операций ( $t_1 = 22$  мин).

Условно время оборота транспорта будет равно:  $t + R_k$  ( $22 + 5,1 = 27,1$  мин). Из отметки на шкале  $t_{\text{об}}$ , соответствующей этому времени, проводим вертикальную линию, а из отметки  $R_k = 5,1$  – горизонтальную. Точка пересечения этих линий окажется в зоне, ограниченной лучами  $n = 4$  и  $n = 5$ . Это значит, что для отвозки силосной массы потребуются примерно 4-5 тракторов с тележками.

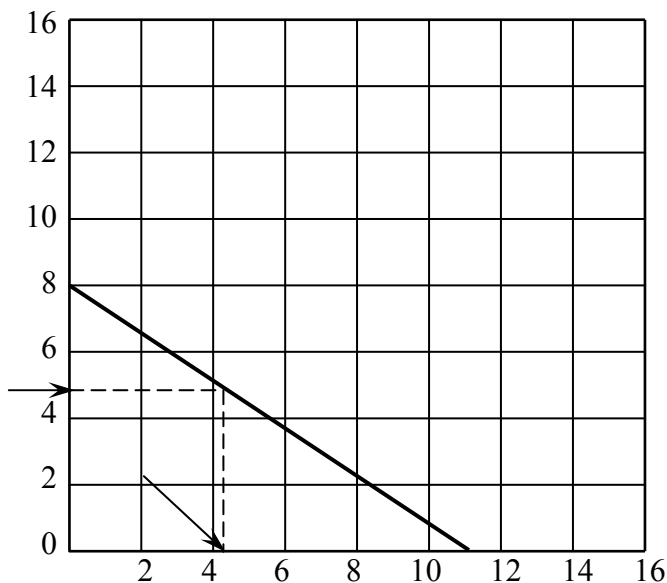
При этом необходимо соблюдать, чтобы комбайны начинали работу не одновременно, а с интервалом времени  $R_k = 5$  мин.

Таким образом, предлагаемая методика и номограмма позволяют планировать количество и работу транспортных средств в зависимости от конкретных хозяйственных условий.

Если для обслуживания комбайнов выделяется разнотипный транспорт (по грузоподъемности), то графически можно определить необходимое количество машин каждого типа [16]. Например, по номограмме или расчетом установлено, что для отвозки урожая потребуется 8 автомобилей ЗИЛ-130 или 11 автомобилей ГАЗ-53.

На специальном графике, представляющем координатную сетку с одинаковыми по масштабу и равномерными шкалами, откладывают на вертикальной и горизонтальной шкалах значения требуемого количества автомобилей разных типов (8 автомобилей I типа и 11 автомобилей II типа) и эти точки соединяют прямой линией (рис. 4.2).

*Tun I*



*Tun II*

Рис. 4.2. Координатная сетка для определения потребности в разнотипных транспортных средствах

Покажем порядок определения соотношения количества транспортных средств разных типов.

Допустим, вместо 8 автомобилей ЗИЛ-130 выделено только 5; необходимо определить количество автомобилей ГАЗ-53. Для этого из точки вертикальной шкалы, соответствующей делению 5, проводим горизонталь до пересечения с построенной прямой линией и опускаем перпендикуляр на горизонтальную шкалу. Ближайшее деление этой шкалы к перпендикуляру покажет необходимое количество автомобилей II типа. В этом случае оказалось, что при наличии 5 автомобилей ЗИЛ-130 потребуется еще 4 автомобиля ГАЗ-53.



В связи с многообразием технологических схем уборочно-транспортного процесса и типов машин разработана универсальная номограмма для определения необходимого количества транспортных средств (рис. 4.3). Естественно, что при этом невозможно учесть все детали, а только основные факторы. Такая номограмма может быть полезна для предварительных и ориентировочных расчетов.

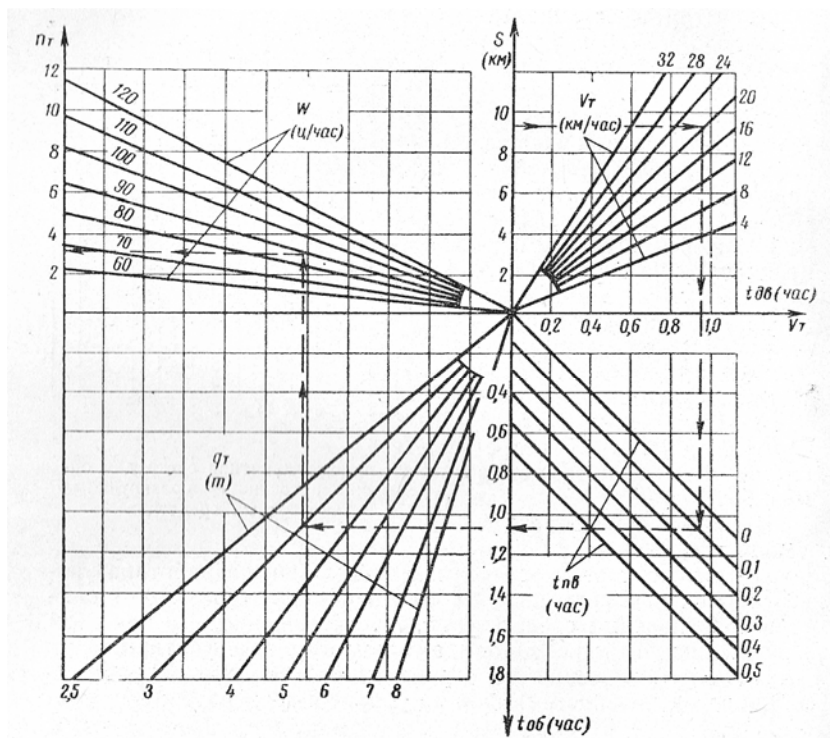


Рис. 4.3. Универсальная номограмма для определения необходимого количества транспортных средств

В основу построения номограммы положено условие равенства производительности машин на уборке и транспортировке урожая.

В правой верхней четверти устанавливаем время движения транспорта в зависимости от расстояния перевозок и скорости движения. В правой нижней четверти определяем время оборота транспортных средств: время движения суммируется с продолжительностью погрузки и разгрузки транспорта.

В левой нижней четверти построены лучи для различной грузоподъемности транспорта, а в левой верхней четверти – лучи для суммарной часовой производительности уборочных и погрузочных машин.

Количество транспортных средств ( $n_T$ ) определяем графически из уравнения: 
$$\frac{Q_T}{W_{\text{час}}} = \frac{t_{\text{об}}}{n_T}.$$

Достоинство номограммы состоит в том, что она применима не только к работе комбайнов, но и свеклопогрузчиков, зернопогрузчиков, бункеров-накопителей и других машин.

Порядок применения номограммы на рисунке показан штриховой линией со стрелками.

Из рисунка следует, что если расстояние перевозок составляет 9,5 км, среднетехническая скорость движения – 20 км/ч, продолжительность погрузки и разгрузки картофеля в контейнерах – 0,1 ч, грузоподъемность автомобилей – 3 т, производительность сортировального пункта – 90 ц/ч, то для перевозок потребуются три автомобиля.

Изложенные общие принципы и закономерности взаимодействия транспортных средств с уборочными и погрузочными машинами, а также методы расчетов и графических построений номограмм позволяют находить рациональные решения в конкретных случаях организации перевозок урожая.

#### **4.4. Повышение надежности систем путем резервирования технологических емкостей для сбора урожая**

Известно, что резервирование является одним из действенных методов повышения надежности любых систем. В рассматриваемых нами технологических системах временное отсутствие емкости для сбора урожая приводит к нарушению непрерывности технологического процесса, т.е. отказу, что снижает надежность и производительность системы.

Разделим все технологические емкости, в которые осуществляется сбор урожая, на три группы в зависимости от их функциональной роли в технологическом процессе:

- технологическая емкость для сбора урожая, размещаемая на уборочной машине, – это бункер, копильник, контейнер и т.п. (ЕУМ);

- технологическая емкость для сбора и последующей транспортировки урожая – это собственно кузов транспортного средства: автомобиля или прицепа (ЕСТ);

- промежуточная технологическая емкость для сбора и перегрузки урожая (ЕСП), причем перегрузка может осуществляться или в транспортные средства, или в полевые межоперационные пункты накопления урожая (в качестве последних можно рассматривать при уборке зерновых полевой микроток или стационарный зернонакопитель большой емкости).

Технологические емкости 3-й группы (для сбора и перегрузки урожая) представляют собой своеобразные «компенсаторы», поскольку главное их назначение – компенсировать возникающую нестабильность в изменении параметров процесса. Это основной способ резервирования технологических емкостей.

К этой же группе следует отнести и несамосвальные прицепы – компенсаторы (т.е. работающие без перегрузки урожая), которые могут применяться в некоторых технологических схемах транспортного обслуживания уборочных машин (оборотные прицепы).

Необходимость в резервировании возникает в случае, когда существующая емкость, куда поступал урожай, заполнена, а другая (свободная) отсутствует. Непрерывность уборочно-транспортного процесса при этом нарушается. В зависимости от характера и степени этого нарушения разделим их на два вида.

Первый вид – это *нарушение ритма* уборочно-транспортного процесса, когда изменяется время наполнения бункера комбайна или кузова транспортного средства (т.е. технологические емкости ЕУМ или ЕСТ), а также если увеличивается время оборота транспортного средства –  $t_{об}$ . Причин для этого достаточно много, в основном это факторы случайных изменений условий работы (исключая простои). Именно эти факторы прежде всего формируют и определяют стохастический (вероятностный) характер процесса и его параметры.

Второй вид – это *организационные сбои*, т.е. нарушения непрерывности процесса вследствие простоев техники (по различным причинам).

Нарушения ритма процесса наиболее просто можно компенсировать резервированием некоторых объемов в технологических емкостях первой группы (ЕУМ). Существо такого предложения и возможность его реализации заключаются в следующем.

Сначала надо определить необходимые объемы резервирования при нарушении ритма процесса. Можно считать, что объем компенсации (резервирования) должен

быть таким, чтобы вместить убранный урожай за время математического ожидания простоя  $\bar{t}_{\text{пр}}$ , т.е.

$$\bar{t}_{\text{пр}} = \bar{t}_{\text{нап}}^{\Phi} - \bar{t}_{\text{нап}}^{\text{P}},$$

где  $\bar{t}_{\text{нап}}^{\Phi}$ ,  $\bar{t}_{\text{нап}}^{\text{P}}$  – средние значения фактического и расчетного времени наполнения.

Мы придерживаемся точки зрения, что колебания времени наполнения бункера (кузова), а также оборота транспортного средства имеют закон нормального распределения.

Величину среднеквадратического отклонения ( $\sigma$ ) продолжительности операции можно определить по результатам статистической обработки наблюдений, или взяв наибольшее отклонение и поделив его на 3 (т.к. в диапазон отклонений  $\pm 3 \sigma$  при законе нормального распределения входит более 95% измеренных величин).

По опубликованным данным [16], при работе зерноуборочных и силосоуборочных комбайнов среднеквадратическое отклонение продолжительности операций колеблется в пределах от 5 до 25% от средней величины:

$$\sigma = (0,05 \div 0,25) \bar{t}.$$

Можно принять, что при рациональной организации процесса колебания времени наполнения бункера (или кузова) не превысят 10%. При этом учитываем отклонения только в меньшую сторону, т.е. бункер заполняется быстрее на величину  $0,1 \bar{t}_{\sigma}$ . Значит желательно резервировать объем  $V_{\text{рб}} = 0,1 V_{\sigma}$ .

Поскольку устанавливать на комбайнах резервные бункеры нецелесообразно, то можно этот резерв емкости предусмотреть в имеющемся бункере, если расчет потребности в транспорте осуществлять исходя из запаса в 10%. Таким образом, емкость резервируется «условно» путем увеличения расчетного количества транспортных средств.

Целесообразность такого подхода в ряде случаев можно мотивировать также и тем, что процесс расчета взаимодействия уборочных и транспортных машин мы переводим из сложной и громоздкой стохастической модели в более простую и понятную детерминированную модель.

Технологические емкости 3-й группы (ЕСП – т.е. компенсаторы) в большей мере предназначены для компенсации нарушений в поточном процессе второго вида, т.е. различных организационных сбоев, вызванных отказами техники или обслуживающего персонала, организационными, хозяйственными и другими причинами. Сюда можно отнести и элементарную нехватку транспортных средств. Этот способ резервирования технологических емкостей, как показывает практика, весьма эффективен. Если к тому же компенсаторы (различные зернонакопители) будут иметь стоимость, окупаемую снижением простоев (и связанных с ними потерь) уборочной и транспортной техники.

Подход к определению величины емкости компенсатора может быть тот же – она должна быть не менее объема урожая, который можно убрать за время отсутствия транспортных средств.

Однако этот период времени в общем случае трудно выразить какой-либо закономерностью, а значит трудно найти строго корректные теоретические методы обоснования емкости компенсаторов (именно на случай организационных сбоев).

В наших исследованиях (с В.Д. Игнатовым и Ю.Н. Блынским) по организации перевозок зерна от комбайнов и зеленой массы эта задача решалась в основном путем проведения полевых экспериментов и моделирования на ЭВМ. Приведем некоторые результаты (и выводы по ним), полученные в ходе исследований, связанных с применением емкостей – компенсаторов.

В частности, установлено, что на перевозках зерна максимальный прирост производительности поточной линии при работе 4 комбайнов (СК-5) достигается при применении компенсатора грузоподъемностью 8 т, при работе 6 комбайнов – 8-12 т и при работе 10 комбайнов – 12-16 т (урожайность убираемых культур – до 18 ц/га). При этом также установлено, что увеличение производительности поточной линии непропорционально увеличению емкости компенсатора.

Это означает, что для сглаживания «естественных» колебаний (отклонений) ритма процесса уборки при так называемых «прямых перевозках» зерна для звена из 4-5 комбайнов достаточным будет компенсатор емкостью до 8 т. Моделирование показало, что применение компенсаторов емкостью 20 т и более к дальнейшему снижению простоев комбайнов не приводит (при неизменном количестве обслуживающих транспортных средств).

Эффект от применения зернонакопителей большой емкости (стационарно-мобильных или стационарных) проявляется главным образом за счет сокращения потребности в транспортных средствах, а также создания условий для работы транспорта более длительное время (по сравнению с комбайнами). Такие зернонакопители выполняют по существу уже другую функцию – не «компенсатора», они являются межоперационными накопителями, чтобы сделать операции сбора и транспортировки урожая более (или полностью) независимыми.

Была предпринята попытка обосновать рекомендуемую емкость компенсатора на вероятностной основе. В результате получена следующая зависимость [20]:

$$V_{\text{ком}} = V_{\text{бк}} \left[ n_{\text{к}} - \frac{\lambda + \mu}{\lambda} (1 - P_0) \right], \quad (4.11.)$$

где  $V_{\text{ком}}$  – грузоподъемность компенсатора, т;

$V_{\text{бк}}$  – вместимость бункера комбайна,  $m^3$ ;  
 $n_k$  – количество комбайнов в группе;  
 $\lambda$  – интенсивность поступления заполненных бункеров на разгрузку;  
 $\mu$  – интенсивность обслуживания транспортом (величина, обратная среднему времени оборота);  
 $P_0$  – вероятность того, что в произвольный момент времени все комбайны работают.

Эта зависимость более справедлива для варианта, когда небольшая группа комбайнов ( $n_k = 2-3$ ) обслуживается одним транспортным средством. В иных случаях результат расчета будет завышенным.

Можно сказать, что в определении эффективности использования различных промежуточных накопителей главным «экспертом» выступает практика. При уборке зерновых культур накоплен достаточно большой опыт их применения. До недавнего времени в качестве емкостей, компенсаторов чаще всего применялись изготавливаемые в хозяйствах различные самоходные или прицепные емкости – перегружатели (так называемые бункеры-накопители), а также автомобильные и тракторные прицепы и полуприцепы [22, 25, 34 и др.], которые расставлялись на поле в местах предполагаемой разгрузки бункеров.

По данным М.С. Каплановича, который обобщил возможные схемы транспортного обслуживания зерноуборочных комбайнов с применением компенсаторов, разные варианты имеют примерно одинаковый результат по степени снижения простоев комбайнов [25 ].

В наших исследованиях (совместно с В.Д. Игнатовым) получены результаты, показывающие снижение суммарных простоев машин на 10-70% (по сравнению с прямыми перевозками) и повышение производительности точной линии до 24%.



Если применение компенсаторов при уборке зерновых уже прошло большую проверку практикой, то использование компенсаторов при уборке силосных культур пока не получило широкого применения, хотя эффективность этого доказана опытным путем. В полевых опытах Ю.Н. Блынского была применена такая технологическая схема транспортного обслуживания силосоуборочных комбайнов: в качестве промежуточных (резервных) технологических емкостей использовались тракторные прицепы. Процесс проходит следующим образом: когда закончилась загрузка транспортного средства, а следующее еще не подошло, к комбайну подходит резервный агрегат – трактор с прицепом. Загрузка урожая в прицеп идет до появления очередного транспортного средства, которое пользуется преимуществом, т.е. загрузка прицепа прекращается и начинается загрузка транспорта.

Таким образом, резервный прицеп обеспечивает сбор урожая в период отсутствия основного транспортного средства. Когда он будет заполнен, то его отвезут к месту закладки очередным транспортным средством. Таких прицепов-компенсаторов для обслуживания группы комбайнов должно быть несколько.

Анализ зависимостей эксплуатационных показателей поточной линии от изменения числа компенсаторов в группе свидетельствует о том, что с их увеличением простои комбайнов снижаются, а производительность растет. Оптимальным (для звена из двух комбайнов) оказалось число прицепов, равное четырем, грузопместимость компенсаторов равна 14-15 т.

Производственные экспериментальные испытания прямых перевозок в сравнении с использованием компенсаторов показали достаточную эффективность последних. Коэффициент простоя комбайнов равен 9,8% (против 17,4%), транспортных средств – 5,4 (против 13,2), произво-

дительность поточной линии выросла на 10,1% (число комбайнов – 2, урожайность – 16 т/га, расстояние перевозок – 3 км, прицепы-компенсаторы 2 ПТС-4М – четыре единицы).

В качестве кратких выводов по изучению эффективности резервирования технологических емкостей можно отметить следующее:

- резервирование желательно предусматривать, его эффективность в достаточной мере подтверждена;

- в современных отечественных и зарубежных зерноуборочных комбайнах таким резервом по существу является увеличенная емкость основного бункера, (что в основном достаточно для сглаживания колебаний ритма процесса);

- межсменные (да и межоперационные) зернонакопители большой емкости могут более глубоко разделить процессы сбора и транспортировки урожая и значительно снизить потребность в транспорте (выступая уже в качестве компенсаторов недостаточной обеспеченности транспортными средствами).

#### **4.5. Применение метода имитационного моделирования для исследования взаимодействия уборочных и транспортных машин**

Как мы уже отмечали (п. 4.2.), метод имитационного моделирования достаточно эффективно использовался в наших исследованиях процессов уборки и перевозки урожая зерновых и силосных культур.

Статистические характеристики основных элементов процесса взаимодействия машин, а также условий их работы были получены путем хронометражных наблюдений, сбора необходимых данных и соответствующих измерений в ходе полевых экспериментов. Алгоритмы моделирования создавались при консультации и с помощью специалистов вычис-

лительных центров, реализация машинных экспериментов осуществлялась на ЭВМ М-220, БЭСМ-4 и БЭСМ-6.

В целом имитационное моделирование позволяет решать достаточно широкий круг эксплуатационных задач. В нашем случае применение этого метода было ограничено исследованием параметров взаимодействия уборочных и транспортных машин, а также обоснованием рациональных схем транспортного обслуживания зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов.

Общая характеристика рассматриваемой уборочно-транспортной системы (УТС) сводится к следующему. В составе УТС выделяем уборочные машины (УМ), транспортные средства (ТС), накопители-компенсаторы (НК), автономные мобильные емкости (АЕ), стационарные пункты накопления (СП). Все элементы УТС могут находиться в различных состояниях. Используя терминологию А.М. Крикова [30, 31], наиболее типичными являются следующие состояния: автономное (АС), ожидания взаимодействия (ОВ), взаимодействия с другими агрегатами (ВД). Состояния АС и ОВ могут быть детализированы, например, прицеп-компенсатор может быть пустым, частично заполненным и ожидать догрузки и т.п. В целом функционирование УТС может быть сведено к многократному и циклическому чередованию множеств автономных состояний, ожидания взаимодействия и взаимодействия с другим агрегатом.

Первоначально метод имитационного (статистического) моделирования был применен для изучения взаимодействия зерноуборочных комбайнов и транспортных средств. Исходными данными для моделирования служили гистограммы распределения продолжительности выполнения основных элементов технологического процесса. Для комбайнов – это продолжительность намота бункера, разгрузки бункера, холостого хода, ожидания транспорта. Для

транспортных средств – это время оборота (для различных видов транспорта и расстояний перевозок), взвешивания и разгрузки, движения с грузом и без груза.

В этих исследованиях, в частности, также было установлено, что распределение времени наполнения бункера зерном, а также времени оборота транспортного средства «с достаточной точностью могут быть описаны как нормальным, так и логарифмически нормальным распределением» [21]. Это, кстати, дополнительный «штрих» к дискуссии о простейшем потоке и применимости ТМО (п. 4.2).

Исследовалась работа различных по составу групп комбайнов и транспортных средств при прямых перевозках зерна и перевозках с использованием промежуточных компенсаторов разной грузоподъемности. Частично результаты моделирования уже были отражены выше (п. 4.4). Исследования показали, что применение промежуточных компенсаторов снижает взаимообусловленные простои и повышает производительность поточной линии. При расстояниях перевозок до 10 км наиболее выгодным оказалось применение компенсатора грузоподъемностью 6-8 т, при больших расстояниях лучшие результаты достигаются при применении стационарно-мобильных емкостей большей грузоподъемности. Если условия работы позволяют использовать автомобили-тягачи с двумя прицепами, то уже при расстояниях более 6 км наиболее выгодным является комбинированный метод.

Рассмотрим далее результаты применения метода имитационного моделирования к изучению различных схем взаимодействия УМ, ТС, НК, АЕ на основе трех технологических схем перевозок зеленой массы – это прямые перевозки, перевозки с использованием прицепов-компенсаторов и оборотных прицепов [7].

При моделировании прямых перевозок рассматривается совместное функционирование К комбайнов и М

транспортных средств. При этом у комбайнов может быть два состояния: разгрузка или простой в ожидании транспорта. Транспортное средство может быть в трех состояниях: погрузки, собственно транспортировки, ожидания погрузки. Общее состояние модели в конкретный момент времени можно описать двумя очередями, состоящими из комбайнов, ожидающих транспорта, и из транспортных средств, ожидающих погрузки.

В фиксированный момент времени  $T$  может произойти смена состояний следующим образом. Если в обеих очередях имеются ожидающие машины, то первые по порядку комбайн и транспортное средство переходят в состояние погрузки и тем самым исключаются из очереди. Когда одна из очередей пуста, эта смена состояний прекращается. Комбайн, исключенный из очереди, будет находиться в состоянии погрузки в течение времени  $T_1$ , где  $T_1$  – случайная величина со ступенчатой функцией распределения, заданной экспериментально гистограммой времени заполнения кузова зеленой массой.

То же время  $T_1$  транспортное средство, выведенное из очереди, стоит у комбайна под погрузкой, по завершении которой оно находится в пути в течение времени  $T_2$ , где  $T_2$  – случайная величина со ступенчатой функцией распределения, задаваемой гистограммой времени оборота транспорта. Объем перевезенной силосной массы есть случайная величина  $F$ , заданная аналогичным образом.

В качестве критериев оценки этой (и других схем транспортного обслуживания) были приняты: суммарное время простоя всех комбайнов за рабочую смену, продолжавшуюся 420 мин; суммарное время простоя всех транспортных средств за смену; производительность поточной линии за смену.

В моделях второго типа, на которых исследовали перевозку оборотными прицепами, рассматривается совмест-

ное функционирование  $K$  комбайнов,  $M$  транспортных средств и  $N$  прицепов. Прицепы по  $M1$  штук (поездами) транспортируются трактором к месту складирования груза. При этом, как и в предыдущем случае, у комбайнов возможны два, у транспортных средств – три состояния, а у прицепа – четыре: он может быть под погрузкой, простаивать порожним и полным, находиться в пути. Общее состояние модели в данный момент времени описывается четырьмя очередями простаивающей техники: комбайнов (1), пустых прицепов (2), полных прицепов (3), транспортных тракторов (4). Смена состояний осуществляется следующим образом. Если очереди 1 и 2 непусты, то первые в них по порядку комбайн и прицеп переходят в состояние погрузки (т. е. исключаются из этих очередей); погрузка идет в течение времени  $T1$ . При наличии в очереди 3 не менее  $M1$  прицепов, а в очереди 4 ожидающих тракторов первые по порядку трактор и  $M1$  прицепов отправляются в рейс (также выбывая из этих очередей); в рейсе они пробудут в течение времени  $T2$ .

В моделях третьего типа, использованных для исследования перевозок с прицепами-компенсаторами, рассматривается совместное функционирование  $K$  комбайнов,  $M$  автомобилей и  $N$  прицепов-компенсаторов. При этом, как в моделях первого и второго типа, у комбайнов возможны два, у автомобилей три состояния, а у прицепа пять: он может быть под погрузкой, простаивать порожним, недогруженным, полным и находиться в пути. Для описания общего состояния модели в конкретный момент времени служат шесть очередей из простаивающих машин: комбайнов, ожидающих транспорта (1), порожних прицепов (2), недогруженных прицепов (3), полных прицепов (4), порожних автомобилей (5), комбайнов, занятых погрузкой прицепов (6).

Смена состояний уборочных и транспортных средств идет по правилам, вытекающим из существа технологии применения прицепов-компенсаторов. Блок-схемы алгоритмов перевода уборочных машин и сборочно-транспортных средств в новое состояние при различных схемах организации перевозок приведены в опубликованных работах [6-8].

Результаты моделирования оказались близкими к данным, полученным в ходе полевых производственных экспериментов. Ранее (п. 4.4) мы их рассмотрели применительно к прицепах-компенсаторам, а ниже (табл. 4.1) приводятся сравнительные результаты для прямых перевозок и с использованием оборотных прицепов.

Таблица 4.1. Сравнение значений основных показателей по результатам моделирование и производственных данных

Показатель	Прямые перевозки		Перевозки оборотными прицепами	
	производственные данные	данные моделирования	производственные данные	данные моделирования
Число транспортных тракторов в группе	4	4	3	3
Число прицепов в группе	4	4	4	4
Коэффициент простоя комбайнов, %	10,0	11,1	12,1	11,8
Коэффициент простоя транспортных средств, %	19,4	17,2	16,8	15,1
Выработка транспортного средства, т за 1 смену	31,0	32,8	36,9	38,3
Выработка поточной линии, т за 1 смену	127,0	131,0	110,3	115,0

Производственный эксперимент проводился Кочковским ОПХ (при урожайности 20 т/га и расстоянии перевозок 3 км).

Таким образом, используя метод имитационного моделирования, была определена эффективность некоторых новых схем взаимодействия уборочных машин и сборочно-транспортных средств, а также области рационального их использования.

#### **4.6. Заключение**

В порядке краткого заключения к выполненным исследованиям по роли транспортного обеспечения надежной работы технологических систем (ТС), а также к материалам, изложенным в настоящей главе, сделаем следующие выводы:

1. Доля отказов ТС по причине недостаточной обеспеченности транспортным обслуживанием (НТО – п.2.2.) довольно велика. В уборочно-транспортных ТС она, в частности, составляет в среднем около 25% от времени смены. Это негативно отражается не только на надежности и производительности ТС (а следовательно, и на своевременности выполнения уборочных работ), но и на экономических показателях производства. Проблема была (да и сейчас остается) важной, особенно в плане практической реализации результатов исследований.

Нам представляется возможным и целесообразным рассматривать полученные ранее результаты как не потерявшие своей актуальности.

2. Уместно также отметить, что мы были в числе «первого эшелона» исследований по проблеме рационального использования транспортных средств на уборке урожая [34]. По широте охвата, разносторонности и длительности изучения этой проблемы на кафедре эксплуатации



МТП Новосибирского СХИ (ГАУ) можно сказать, что здесь сложилась довольно результативная научная школа, и автор был у ее истоков.

3. Из анализа подходов к изучению взаимодействия уборочных машин и СТС, на наш взгляд, можно сделать такие выводы:

- для практических целей в рамках проектирования отдельных ТС наиболее приемлемой является детерминированная модель расчета и согласования работы ОТМ и СТС;

- для учета стохастического характера процесса целесообразно делать некоторый запас (до 10%) обслуживающих транспортных средств или вводить межоперационные компенсаторы;

- для решения исследовательских задач целесообразно применять метод имитационного моделирования.

4. В качестве промежуточного результата по транспортному обслуживанию зерноуборочных комбайнов в свое время был сделан вывод о целесообразности коллективного учета намолота зерна и разгрузки неполных бункеров. Однако этот прием связан с организацией работы первичного трудового коллектива и потребовалось дополнительное изучение этого вопроса (это, кстати, одно из проявлений «парадоксов» системного подхода, о чем упоминалось в главе 1). Некоторые результаты этого изучения рассматриваются в главе 7.

5. Большинство практических рекомендаций, вытекающих из результатов выполненных нами исследований и обобщений, своевременно выносились на обсуждение (доклады на конференциях, научно-технических советах и в других формах), публиковались в журналах и сборниках трудов, специальных изданиях рекомендаций, т.е. они достаточно апробированы. Более того, многое уже используется на производстве и даже стало обыденным.

В исследовании взаимодействия уборочных машин и сборочно-транспортных средств за прошедшие годы, к сожалению, особого прогресса не произошло. Некоторое разнообразие технологических схем на перевозках зерна, отмечаемых в обзорных публикациях ученых ВИМ [23, 24], связано в основном с новыми техническими средствами (съемные бункеры и кузова, зернонакопители большой грузопместимости, средства для перегрузки и т.п.). Представляет интерес и направление, связанное с применением спутниковых навигационных систем для рационализации маршрутов движения транспорта при перевозках урожая [48]. По-прежнему мало внимания уделяется транспортному обслуживанию безбункерных уборочных машин.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Автоматическая сцепка для присоединения прицепа к комбайну* / Ю.Н. Блынский, В.И. Мяленко, А.В. Пискарев, А.В. Гранкин: а.с.1087109. – № 3315297/30-15; Заявлено 08.07.81; Оpubл. 23.04.84, Бюл. № 15.
2. *Блынский Ю.Н.* Исследование и рациональное построение транспортного обслуживания при уборке силосных культур в условиях Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 1976. – 24 с.
3. *Блынский Ю.Н.* Перспективные технологии транспортного обслуживания безбункерных уборочных комплексов на заготовке сочных кормов // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 1985. – № 4. – С. 78-83.
4. *Блынский Ю.Н.* Расчет и проектирование транспортного обслуживания безбункерных уборочных комплексов: учеб. пособие / Новосиб. с.-х. ин-т. – Новосибирск, 1986. – 92 с.
5. *Блынский Ю.Н.* Использование транспорта на уборке и организация перевозок урожая зерновых и силосных культур: рекомендации / Ю.Н. Блынский, А.В. Пис-

карев, Р.П. Голиков, А.М. Криков и др., НТОСХ. – Новосибирск, 1976. – 52 с.

6. *Блынский Ю.Н.* Применение метода имитационного моделирования для исследования технологических схем транспортного обслуживания уборочных машин / Ю.Н. Блынский, А.В. Пискарев // Тр. НСХИ. – Новосибирск, 1976. – Т. 101. – С. 95-101.
7. *Блынский Ю.Н.* Обоснование схем транспортного обслуживания безбункерных комбайнов / Ю.Н. Блынский, А.В. Пискарев // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1977. – № 8. – С. 34–36.
8. *Блынский Ю.Н.* Проектирование оптимального транспортного обслуживания уборочных машин / Ю.Н. Блынский, А.В. Пискарев // Совершенствование эксплуатации и ремонта техники в хозяйствах Западной Сибири. – Новосибирск, 1979. – Т. 126. – С. 104-107.
9. *Бурьянов А.И.* Проблемы развития сельскохозяйственного транспорта // Сб. науч. тр. ВНИПТИМЭСХ. – Зерноград, 1979. – Вып. 35. – С. 121-127.
10. *Гоberman В.А.* Статистическое моделирование транспортно–производственных процессов // Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. – 1981. – № 6. – С. 44-45.
11. *Гоberman В.А.* Вопросы проектирования и расчета транспорта в сельском хозяйстве // Науч. тр. ВИМ. – М., 1972. – Т. 47. – С. 3-139.
12. *ГОСТ 17460-72.* Транспортно-производственные процессы в механизированном сельскохозяйственном производстве: классификация, оценка и методы расчета. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 75 с.
13. *Гуськов Ю.А.* Автоматизированное тягово-сцепное устройство / Ю.А. Гуськов, Ю.Н. Блынский // Меха-

низация и электрификация сел. хоз-ва. – 2010. – № 11. – С. 2-3.

14. *Дубина В.И.* Статистическое моделирование уборочно-транспортных процессов // *Механизация и электрификация сел. хоз-ва.* – 1987. – № 10. – С. 4-6.
15. *Жуков В.Я.* Расчет по номограммам производительности комбайнов и потребности в транспорте / В.Я. Жуков, Э.И. Липкович // *Механизация и электрификация сел. хоз-ва.* – 1977. – № 8. – С. 30-32.
16. *Завалишин Ф.С.* Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве. – М.: Колос, 1973. – 319 с.
17. *Завора В.А.* Основы технологии и расчета мобильных процессов растениеводства: учеб. пособие/ В.А. Завора, В.И. Толокольников, С.Н. Васильев. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. – 263 с.
18. *Зангиев А.А.* Обоснование оптимальной вместимости технологических емкостей // *Механизация и электрификация сел. хоз-ва.* – 1982. – № 3. – С. 33-35.
19. *Зангиев А.А.* Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка / А.А. Зангиев, Г.П. Лышко, А.Н. Скороходов. – М.: Колос, 1996. – 320 с.
20. *Игнатов В.Д.* Технологический процесс уборочно-транспортных работ с применением зернонакопителей / В.Д. Игнатов, А.В. Пискарев // *Пути улучшения использования МТП. Совершенствование технологии уборки зерновых культур в условиях Сибири.* – Новосибирск, 1969. – С. 58-60.
21. *Игнатов В.Д.* Вопросы оптимизации транспортных процессов при уборке урожая зерновых культур в условиях Сибири: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 1971. – 24 с.
22. *Игнатов В.Д.* Транспорт на уборке зерновых в Сибири. – Новосибирск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1980. – 96 с.

23. *Измайлов А.Ю.* Эффективность новых транспортных технологий в АПК / А.Ю. Измайлов, В.Е. Евтюшенков // С.-х. машины и технологии. – 2009. – № 2 – С. 32–37.
24. *Измайлов А.Ю.* Методика исследования уборочно-транспортных процессов / А.Ю. Измайлов, В.Е. Евтюшенков // Техника в сел. хоз-ве. – 2010. – № 2. – С. 40–43.
25. *Капланович М.С.* Справочник по сельскохозяйственным транспортным работам. – М.:Россельхозиздат, 1982. – 315 с.
26. *Киртбая Ю.К.* Основные методы проектирования систем для механизации сельского хозяйства / Ю.К. Киртбая, Н.М. Шаров // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1979. – № 6. – С. 51-53.
27. *Коганов А.Б.* Методы расчета поточных производственных линий на уборке урожая // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1963. – № 3. – С. 18-19.
28. *Кононенко А.Ф.* Автоматизированное управление уборкой сельскохозяйственных культур / А.Ф. Кононенко, А.С. Каменской. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 120 с.
29. *Криков А.М.* Параметры взаимодействия агрегатов поточных линий // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1979. – № 3. – С. 50-53.
30. *Криков А.М.* Типичная имитационная модель производственных линий // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1982. – № 3. – С. 43-46.
31. *Криков А.М.* Имитационные модели сельскохозяйственных механизированных систем. Концептуально-алгоритмические основы построения/ РАСХН. Сиб. отд-ние. СибИМЭ. – Новосибирск, 1999. – 284 с.
32. *Пенкин М.Г.* О согласованном взаимодействии уборочных и транспортных агрегатов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1975. – № 1. – С. 9-11.

33. *Пильщиков Л.М.* Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка / Л.М. Пильщиков, В.Л. Березовский. – М.: Колос, 1969. – 254 с.
34. *Пискарев А.В.* Использование транспортных средств при уборке урожая. – М.: Россельхозиздат, 1970. – 107 с.
35. *Пискарев А.В.* Некоторые вопросы теории и расчета уборочно-транспортной линии с применением промежуточного компенсатора / А.В. Пискарев, В.Д. Игнатов // Тр. Новосиб. СХИ. – Новосибирск, 1969. – Т. 33. – С. 75-79.
36. *Пискарев А.В.* Организация перевозок зерна от комбайнов на ток комплексным методом / А.В. Пискарев, В.Д. Игнатов // Опыт организации единого оперативного руководства автомобильным транспортом на уборке урожая в Новосибирской области / Зап.-Сиб. ЦБТИ. – Новосибирск, 1968. – С. 42-47.
37. *Пискарев А.В.* Планирование работы транспорта при уборке кукурузы на силос// Там же. – С. 48-55.
38. *Пискарев А.В.* Новое в транспортировке зерна // А.В. Пискарев, В.Д. Игнатов // Сел.хоз-во России. – 1969.
39. *Пискарев А.В.* Номограмма для определения потребности в транспортных средствах на перевозках урожая // Механизация с.-х. пр-ва в условиях Западной Сибири: науч. тр. / Новосиб. с.-х. ин-т. – Новосибирск, 1970. – Т. 41. – С. 115-119.
40. *Пискарев А.В.* Технологический процесс уборочно-транспортных работ с применением зернонакопителей / А.В. Пискарев, В.Д.Игнатов // Тр. СибВИМ. – Новосибирск, 1969. – С. 58-60.
41. *Пискарев А.В.* Рациональное агрегатирование специальных комбайнов на основе графоаналитического метода // Пути рационального использования с.-х. техники: тр.

Новосиб. с.-х. ин-та. – Новосибирск, 1969. – Т. 33. – С. 63-68.

42. *Пискарев А.В.* Исследование поточной уборки силосной массы методами теории массового обслуживания / А.В. Пискарев, Ю.Н. Блынский // Механизация уборки и последующей подработки с.-х. продуктов в условиях Сибири: науч. тр./ Новосиб. с.-х. ин-т. – Новосибирск, 1973. – Т. 73. – С. 90-99.
43. *Пискарев А.В.* Исследование транспорта на перевозке силосной массы / А.В. Пискарев, Ю.Н. Блынский // Техника в сел. хоз-ве. – 1976. – № 8.
44. *Пискарев А.В.* Элементы теории уборочных поточных линий с использованием промежуточных компенсаторов / А.В. Пискарев, Ю.Н. Блынский // Эксплуатация и ремонт машинно-тракторного парка / НСХИ. – Новосибирск, 1975.- С. 9-14.
45. *Пискарев А.В.* Повышение эффективности и надежности уборочно-транспортных технологических систем в условиях Сибири / СО ВАСХНИЛ. НСХИ. – Новосибирск, 1981. – 42 с.
46. *Пискарев А.В.* Технологические системы машиноиспользования в растениеводстве, формирование и анализ с позиций системного подхода // Вестн. Алт. ГАУ. – 2009. – № 9. – С. 63-67.
47. *Рунчев М.С.* Взаимодействие зерноуборочной и транспортной линий / М.С. Рунчев, А.И. Бурьянов // Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. – 1975. – № 8. – С. 31-33.
48. *Тихоновский В.В.* Использование систем спутниковой навигации для интенсификации уборочно-транспортного процесса на уборке зерновых в Сибири / В.В. Тихоновский, А.В. Сухосыр // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2009. – № 2. – С. 14.
49. *Финн Э.А.* Статистическое моделирование процессов поточной уборки сельскохозяйственных культур / Э.А. Финн, Л.Н. Комзакова // Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. – 1970. – № 7. – С. 46-49.

50. *Федоренко И.Я.* Проектирование технических устройств и систем: принципы, методы, процедуры: учеб. пособие. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2003. – 282 с.
51. *Шавлохов А.Е.* Принципы проектирования поточных линий в растениеводстве // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1977. – № 8. – С. 5-8.



## **5. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ**

### **5.1. Общая характеристика выполненных исследований**

Одним из главных направлений наших исследований по проблеме надежности технологических систем было изучение фактического уровня эксплуатационной надежности основных технологических машин. Как показал анализ литературных источников и практики использования машин и технологических комплексов (и прежде всего на уборке урожая), именно на долю отказов по техническим причинам приходится наибольшая доля простоев техники, что существенно снижает общую надежность технологических систем [1, 3, 10, 15, 18, 20, 23, 25, 29, 42, 50, 52, 53, 55 и др.].

Для получения данных по эксплуатационной надежности машин проводились многолетние исследования в реальных условиях рядовой эксплуатации.

Объектом экспериментальных исследований были различные технологические системы (в основном уборочно-транспортные) и машины для уборки урожая. С точки зрения изучения их надежности решались, как правило, две взаимосвязанные задачи:

- определение фактических данных по эксплуатационной надежности основных технологических машин (а также систем в целом);
- поиск и обоснование путей и методов сокращения простоев для восстановления их работоспособности.

Экспериментальные исследования проводились в течение довольно длительного периода времени. Часть их выполнена лично, а часть под нашим научно-методическим

руководством и с нашим участием аспирантами Р.П. Голиковым, Ю.Н. Дементьевым, В.С. Кистановым.

В данной главе приводятся некоторые результаты этих исследований и сделанные на их основе обобщения, которые носят в основном принципиальный характер и не потеряли актуальности.

Проведем этот обзор в календарной последовательности выполнения исследований.

1. В начале 60-х годов XX в. наш Новосибирский СХИ получил от Министерства сельского хозяйства научно-производственное задание: изучить опыт работы в зоне Западной Сибири свеклоуборочных комбайнов. Этот регион (за исключением Алтайского края) ранее не был типичным для свеклосеяния, но именно в 60-е годы посевные площади под сахарную свеклу (причем на промышленные цели) здесь были значительно увеличены. В хозяйства поступила специальная техника, в т.ч. и свеклоуборочные комбайны КС-3 и СКН-2А. Необходимо было исследовать работу этих комбайнов, в том числе получить информацию об их эксплуатационной надежности в условиях этого региона.

Выполнение этой задачи в институте было поручено автору – тогда молодому ассистенту кафедры эксплуатации МТП.

В те годы исследования по надежности сельскохозяйственной техники только начали развиваться. Научным лидером этого направления в Сибири был кандидат технических наук Б.В. Павлов – директор СибВИМ (в последующие годы – СибИМЭ). Ориентировались в основном на публикации по общим вопросам надежности технических изделий [28, 56 и др.]. Методика таких исследований только отрабатывалась, в последующие годы появились и были приняты соответствующие стандартные методы. Основные

элементы методики исследований изложены в следующем параграфе.

Специальные наблюдения проводились в хозяйствах Новосибирской области. Общая характеристика результатов работы комбайнов за период наблюдений представлена в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Объем наблюдений и результаты работы комбайнов

Показатели	Марка комбайна	
	СКН-2А	КС-3
Количество комбайнов, находившихся под наблюдением	7	6
Общий объем наблюдений: часов дней	1325	885
	155	116
Выработка комбайнов за период наблюдений, га	255,4	226,9

Отчет о выполненной работе был своевременно представлен в МСХ СССР. Кстати, наши исследования по использованию свеклоуборочных комбайнов были расширены и продолжены, а по их результатам оформлена и в феврале 1966г. защищена в ученом совете ЧИМЭСХ кандидатская диссертация (научный руководитель – профессор М.П. Сергеев) [39].

2. Первые наши исследования надежности зерноуборочных машин (комбайнов СК-4 и жаток ЖВН-6) проводились по договору с ГОСНИТИ в качестве соисполнителей. Наблюдения проводились в совхозе «Бердский» Новосибирской области по методике, разработанной отделом надежности ГОСНИТИ. В частности, регистрировались не только факты отказов и временные параметры, но фиксировалась также величина износов и характер повреждений отказавших деталей, проводился микрометраж и описание характера поломок. Эта работа в целом выполнялась кол-

лективом кафедры ЭМТП под руководством кандидата технических наук Л.М. Пильщикова [38].

Объем наблюдений представлен в табл. 5.2, результаты мы приводим далее только по показателям надежности (что непосредственно входило в нашу задачу).

Таблица 5.2. Объем наблюдений по зерноуборочным машинам

Показатели	Наименование и марка машин	
	комбайны СК-4	жатки ЖВН-6
Количество машин, находившихся под наблюдением	10	10
Общая продолжительность наблюдений: число дней работы время чистой работы, ч	298 2826,9	124 1244,3
За период наблюдений убрано (га), в т.ч. по операциям: скашивание в валки подборка из валков прямое комбайнирование	2013,6 2581,4 255,5	2013,6 - -

Кстати, по этому же договору в программу работ входило изучение надежности тракторов ДТ-75 и МТЗ-50. Мы в выполнении этой работы также принимали участие, но результаты здесь не рассматриваются (так как это уже другая тематика).

3. Очередным этапом исследования надежности зерноуборочных комбайнов в условиях хозяйственной эксплуатации была программа наблюдения за работой комбайнов СК-6 «Колос» (ответственный исполнитель – аспирант Ю.Н. Дементьев). Продолжительность наблюдений составила примерно 660 ч. За время наблюдений зафиксировано 89 отказов, общее время восстановления работоспособности комбайнов составило 85,4 ч.

4. В начале 80-х годов основной машиной для уборки зеленой массы, предназначенной для приготовления сенажа, силоса, травяной муки и на зеленый корм, стал самоходный кормоуборочный комбайн КСК-100, выпускаемый производственным объединением «Гомсельмаш».

Первый опыт эксплуатации этих машин в хозяйствах Западной Сибири выявил недостаточно высокий уровень надежности и ряд особенностей, затрудняющих их эффективное использование. Эти трудности усугубились из-за отсутствия специализированной ремонтной базы и неудовлетворительного снабжения хозяйств запасными частями.

В связи с этими обстоятельствами мы предложили «Гомсельмашу» хозяйственный договор по специальному изучению проблемы надежности комбайнов КСК-100 в условиях хозяйственной эксплуатации. Предложение заводом было принято, и такой договор был заключен (научный руководитель А.В. Пискарев, ответственный исполнитель – аспирант В.С. Кистанов).

В течение двух сезонов работы были организованы специальные наблюдения за работой комплексов кормоуборочных комбайнов на базе совхозов «Витебский» Новосибирской области и «Искитимский» Кемеровской области. Эти хозяйства были выбраны не случайно. Именно здесь комбайны КСК-100 использовались концентрированно в составе специализированных кормозаготовительных комплексов с достаточно большой сезонной нагрузкой. В табл. 5.3 приведен объем работы, выполненной в течение только одного сезона наблюдений в совхозе «Витебский».

Таким образом, основные технологические процессы по уборке урожая были охвачены. Был получен фактический материал, характеризующий не только эксплуатационную надежность уборочных машин, но и уборочно-транспортных систем в целом.

Таблица 5.3 Показатели использования комбайнов КСК-100 в совхозе «Витебский»

Номер комбайна	Отработано дней	Убрано зеленой массы, т	Среднедневная выработка, т
№ 009492	57	5160	90,53
№ 011532	35	2640	75,43
№ 009327	57	4270	74,91
№002830	60	4870	81,17
В среднем на комбайн	52,5	4235	80,67

Одновременно было установлено, что при устранении отказов технического характера значительная доля времени уходит на поиск и доставку в поле запасной детали (узла), т.е. на действия, характеризующие оперативность работы технической службы хозяйства.

Отсюда вытекает задача обоснования оптимального объема запасных частей, распределения его по уровням хранения и, прежде всего, непосредственно в уборочном комплексе. В целом требовались рекомендации по организации всей системы технического обслуживания и эксплуатационного ремонта (ТОР) техники уборочных комплексов. Такие работы активно проводились во ВНИПТИМЭСХ, СибИМЭ и в других научных коллективах. Мы участвовали в комплексном эксперименте по организации обслуживания комплексов машин на уборке зерновых культур (программа в целом координировалась СибИМЭ).

5. Исследованию и обоснованию рациональных методов восстановления работоспособности зерноуборочных комбайнов были посвящены исследования нашего аспиранта (заочной формы обучения) Р.П. Голикова, которые проводились в тесном сотрудничестве с учеными СибИМЭ (А.М. Криков и др.). По результатам этих исследований Р.П. Голиковым была оформлена и успешно защищена диссертация.

ция на соискание ученой степени кандидата технических наук [4].

В ходе этой работы проведены специальные наблюдения за работой 156 комбайнов в течение 1059 дней и получена информация по возникающим отказам и по временным параметрам восстановления работоспособности комбайнов.

Исследования возможностей сокращения продолжительности процесса восстановления работоспособности зерноуборочных комбайнов за счет рациональной технологии и организации этого процесса проводились в ходе специального научно-производственного эксперимента на базе совхоза «Кремлёвский» и Коченевской райсельхозтехники Новосибирской области.

Проведение такого эксперимента, связанного с многочисленными организационными и материально-техническими трудностями, оказалось возможным во многом благодаря активной роли, в том числе и «административному ресурсу» Р.П. Голикова, работавшего в то время заместителем председателя областного объединения «Сельхозтехника».

## **5.2. Элементы методики экспериментального исследования надежности машин**

Одной из первоочередных задач изучения надежности машин является количественная оценка её уровня. Она необходима для определения влияния надежности на производственную эффективность машин, для сравнительного анализа машин и условий их использования, а также в ряде других случаев.

При разработке методики экспериментальной оценки надежности машин возникает необходимость решить следующие основные задачи [40]:

1. Выбрать критерии (показатели) количественной оценки надежности.

2. Определить необходимый объем испытаний (наблюдений).

3. Разработать методику испытаний и сбора исходной информации.

4. Установить способ обработки экспериментальных данных и оценки достоверности найденных параметров надежности.

Критерий (показатель) надежности является мерой, посредством которой производится количественная оценка надежности (численное значение какого-либо критерия называется также параметром надежности). Наличие количественных показателей позволяет определять требования по надежности машин, производить сравнительную оценку машин, а также дает основу для правильного решения различных вопросов их обслуживания. При этом количественные характеристики должны обеспечивать достаточную простоту получения и обработки исходных данных, а также возможность использования различных статистических сведений о надежности машин.

Анализируя специальную литературу, можно сделать вывод, что для общей оценки надежности машин с ограниченным периодом использования достаточно исчерпывающими могут быть следующие показатели: среднее время исправной работы –  $t_{cp}$ , интенсивность отказов –  $\lambda$ , вероятность безотказной работы –  $P(t)$ , интенсивность восстановлений –  $\mu$ , коэффициент готовности –  $K_G$ , вероятность надежного функционирования машинного агрегата –  $P_{нфа}$ .

Названные показатели не противоречат стандартам, вытекают из теоретических и методических подходов, из-



ложенных в главе 2 (в частности, соответствуют показателям надежности технологических систем и методам оценки надежности машинных агрегатов) [7, 8, 14, 31, 54].

### ***5.2.1. Определение необходимого объема наблюдений***

Для определения перечисленных критериев надежности решающими являются статистические методы исследования. Поэтому целесообразно установить необходимый и достаточный объем испытаний (наблюдений за работой машин).

Согласно ГОСТ 17510-79, установлены следующие планы испытаний (наблюдений), которые условно шифруются следующим образом: [NUN], [NUT], [NUR], [NRT], [NRr]. Символы здесь означают: N – количество испытываемых изделий (машин), U – что замена отказавших изделий не производится, T – величина наработки за период испытаний, R – отказавшие изделия заменяются новыми или ремонтируются, r – число отказов, до достижения которого проводятся испытания [24].

На начальных этапах наших исследований (60-е годы) указанных стандартов еще не было, однако и в то время, и позднее наблюдения велись по существу по плану [NRT], когда испытываются N машин, наблюдения ведутся в течение T наработки, отказавшие машины ремонтируются и снова участвуют в испытаниях.

В общем случае чем больше информации используется при установлении критериев надежности, тем меньше вероятность ошибки. Увеличить исходную информацию можно за счет увеличения объема выборки. Однако это приведет к большей продолжительности, трудоемкости и стоимости испытаний [24].

Таким образом, существо задачи определения необходимого и достаточного объема наблюдений состоит в том, чтобы с учетом ограничений, связанных с реальными

условиями, добиться наименьшего риска неправильных выводов. Необходимый объем наблюдений можно установить до опытов, если известна (или предполагается) закономерность распределения отказов. Такой метод нами использован при изучении надежности уборочных машин [40].

Необходимо отметить, что при работе сложных уборочных машин отказы имеют случайное (во времени) распределение, главным образом вследствие нестабильных условий работы и нагрузки.

В качестве критерия при выборе объема испытаний принимается некоторая ошибка в определении средней продолжительности безотказной работы –  $\varepsilon = \delta t_{\text{cp}}$ , где  $\delta$  – заданная предельная относительная ошибка.

Учитывая характер отказов, предполагаем, что параметр  $t_{\text{cp}}$  подчиняется экспоненциальному распределению. Такое предположение является наиболее вероятным для случайных отказов, что было обосновано нами в главе 2 (а также другими авторами) [36, 37 и др.].

Учитывая принятую точность ( $r_1 = 1 + \delta$ ) и задаваясь вероятностью получения числа отказов  $m$  не ниже  $\alpha$ , по справочным таблицам (например [28, 56]) находим значение  $m$ .

Математическое ожидание числа отказов за время испытаний равно:

$$m = \frac{NT}{t_{\text{cp}}^0},$$

где  $t_{\text{cp}}^0$  — ожидаемое значение времени работы между отказами.

Для предполагаемого распределения получим

$$\frac{1}{\varphi} = \frac{\chi_{\alpha}}{2m} = \frac{NT}{mt_{\text{ср}}^0},$$

откуда

$$NT = \frac{mt_{\text{ср}}^0}{\varphi}. \quad (5.1)$$

В этих выражениях  $\chi_{\alpha}$  – квантиль распределение хи-квадрат с  $2m$  степенями свободы, а  $\varphi$  – числовой коэффициент (определяется по справочным таблицам, в частности, нами использован источник [56]).

В соответствии с изложенным методом определим объем испытаний для получения параметров надежности комбайнов.

Для  $\delta = 15\%$  и  $\alpha = 0,95$  находим, что необходимо получить  $m = 150$  отказов, а для  $\alpha_1 = 0,90$  и  $m = 150$  получаем  $\varphi = 0,90$ . Опыт эксплуатации комбайнов показывает, что в течение рабочего дня бывает, как правило, несколько различных отказов. Следовательно, можно принять  $t_{\text{ср}}^0 = 4\text{-}5$  ч. Используя эти данные, по формуле (5.1) находим, что величина  $NT = 660\text{-}850$  машиночасов работы. Это общий объем испытаний.

Если принять продолжительность испытаний равной периоду уборки (200-250 ч), то для получения достоверных данных необходимо провести наблюдение за работой 3-4 комбайнов.

В наших программах исследований надежности различных уборочных машин (п. 5.1) объем наблюдений превышал расчетный минимум, поэтому полученную информацию можно считать достоверной.

### 5.2.2. Проверка гипотезы об экспоненциальном распределении средней наработки на отказ

Первым этапом обработки экспериментальных данных, в соответствии с принятыми нами методологическими предпосылками, должна быть проверка гипотезы о законе распределения параметра  $t_{\text{ср}}$ . Рассмотрим последовательность и практические приемы решения этого вопроса.

Допустим, что по опытам получена неупорядоченная статистическая совокупность из  $m$  случайных реализаций времени между отказами  $t_i$ . Так как ставится задача оценки вида функций  $f(t)$ , а не оценки ее параметров, то вводится безразмерная нормированная случайная величина

$$x = \frac{t_i}{t'_0}, \text{ где } t'_0 = \frac{1}{m} \sum_1^m t_i \approx t_0.$$

Разделив все числа  $t_i$  на  $t'_0$ , получим новую статистическую совокупность  $m$  реализаций:

$$x'_i = \frac{t_i}{t'_0}.$$

Далее определяем величину интервала группирования  $\Delta x$  и общее число интервалов  $k$ .

$$\Delta x = \frac{x'_{\max} - x'_{\min}}{1 + 3,3 \log m}; \quad k = \frac{x'_{\max} - x'_{\min}}{\Delta x}.$$

Затем все значения  $x'_i$  по своей величине распределяем по  $k$  интервалам и производим подсчет случайных чисел  $\Delta m'_i$ .

$$\text{Очевидно, что } \sum_1^k \Delta m_i^1 = m.$$

По соответствующим данным  $\Delta m'_i$  и  $x_i$  (значения середин интервалов) строится полигон распределения случайных чисел  $\Delta m'_i$  в координатных осях ( $x_i$  и  $\Delta m'_i$ ). Полученные точки соединяются ломаной кривой линией, которая дает первое наглядное представление о форме неизвестной функции  $f(t)$ .

Для нашего случая мы предполагаем, что это экспонента. Проверка этого предположения осуществляется по критерию согласия хи-квадрат Пирсона ( $\chi^2$ ).

В этом случае находят меру расхождения  $\chi^2$  между эмпирическим и теоретическим распределением по формуле:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(n_i - NP_i)^2}{NP_i},$$

где  $K$  - число интервалов группирования;  
 $n_i$  - число случаев попадания в  $i$ -й интервал по данным испытаний;  
 $P_i$  - теоретическая вероятность попадания отказа в  $i$ -й интервал;  
 $N$  - количество машин, участвовавших в испытаниях (наблюдениях).

Определив значение  $\chi^2$ , по специальным справочным таблицам находят вероятность совпадения экспериментальных и теоретических данных.

Для подтверждения принятого закона распределения граничное допустимое значение вероятности критерия хи-квадрат на практике часто считают равным  $P_{\chi^2} = (30 \div 40\%)$  [56].

Для свеклоуборочных комбайнов гипотеза о законе распределения  $t_{\text{ср}}$  подтвердилась с вероятностью более 80%. Это свидетельствует о справедливости исходных положений.

### ***5.2.3. Определение показателей надежности по результатам наблюдений и их достоверности***

Показатели надежности, установленные по результатам выборочных наблюдений, являются случайными величинами и располагаются в определенных интервалах, зависящих от объема выборки и рассеивания показателей. Для оценки точности найденных параметров пользуются понятиями доверительной вероятности  $\beta$  и доверительного интервала.

Доверительной называется вероятность нахождения показателя в заданном доверительном интервале. Границы этого интервала (верхняя и нижняя) называются также доверительными.

Мерой точности показателя (при заданной доверительной вероятности) является наибольшая абсолютная ошибка, т.е. величина отклонения доверительных границ от среднего значения показателя  $\bar{P}$ , и относительная ошибка  $\delta$ , которая определяется по формуле

$$\delta = (\bar{P} - P_{\text{max}}) / \bar{P},$$

где  $P_{\text{max}}$  – доверительная граница, наиболее далеко отстоящая от  $\bar{P}$ .

Далее коротко рассмотрим способы определения параметров безотказности и оценки их достоверности по экспериментальным данным.

Под средним временем безотказной работы мы понимаем математическое ожидание времени исправной работы машины.

Методику определения этого критерия рассматриваем для варианта фиксированного времени испытаний. Если при испытании одной машины получено  $m$  отказов за время работы  $t_p$ , то

$$t_{cp} = t_{cp}^{оп} = \frac{t_p}{m} \text{ или } t_{cp}^{оп} = \frac{\sum_{i=1}^m t_{pi}}{m},$$

где  $t_{pi}$  - время исправной работы между  $(i - 1)$  и  $i$ -м отказами.

При испытании  $N$  машин в течение  $t_{p1}, t_{p2}, \dots, t_{pN}$  часов получаем соответственно  $m_1, m_2, \dots, m_N$  отказов.

В силу свойств простейшего потока отказов является справедливым приближенное равенство

$$t_{cp} = \frac{t_{p1} + t_{p2} + \dots + t_{pN}}{m_1 + m_2 + \dots + m_N},$$

в котором  $t_{cp}$  – генеральная характеристика потока отказов. Это равенство можем записать в следующем виде:

$$t_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m t_{pi}}{\sum_{j=1}^N m_j} \quad (5.2)$$

Оценку точности уравнения (5.2) можно провести при помощи доверительных интервалов. Для случая  $m \neq 0$  их значения определяются по формулам:

$$t_H = r_2 t_{cp}^{оп}; t_B = r_1 t_{cp}^{оп}.$$

Коэффициенты  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  представляют собой вероятность попадания величины  $t_{cp}$  в заданный интервал и находятся по таблицам (например [28, 56]).

- Интенсивность отказов определяется как величина, обратная  $t_{cp}$ , т.е.

$$\lambda = \frac{1}{t_{cp}}. \quad (5.3)$$

- Вероятность безотказной работы для простейшего потока случайных отказов определяется по формулам:

$$P(t) = e^{-\frac{t}{t_{cp}}} \text{ или } P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (5.4)$$

Доверительные интервалы для величины  $P(t)$  находятся по следующим выражениям:

$$P_H(t) = e^{-\frac{t}{t_H}} \text{ и } P_B(t) = e^{-\frac{t}{t_B}}.$$

- Интенсивность восстановления  $\mu$  определяется в зависимости от среднего времени устранения отказов –  $t_{всп}$ , которое находится аналогично расчету  $t_{cp}$ :

$$\mu = \frac{1}{t_{всп}} \quad (5.5)$$

- Коэффициент готовности, как известно, равен:

$$K_{\Gamma} = \frac{t_{cp}}{t_{cp} + t_{всп}}, \quad (5.6)$$

где  $t_{cp}$  находится по формуле (5.2), а  $t_{всп}$  – аналогично.



- Методы определения показателя  $P_{\text{нфа}}$  обоснованы и изложены в главе 2 (п. 2.6) для разных вариантов исследовательских и инженерных задач. Этот показатель характеризует надежность функционирования машинного агрегата (в частности, любой уборочной машины) с учетом всех отказов, в т.ч. из-за ожидания транспорта или по другим причинам.

Полагаем, что изложенные элементы методики могут найти применение при экспериментальной оценке надежности различных сложных уборочных и других сельскохозяйственных машин.

### **5.3. Параметры надежности свеклоуборочных комбайнов**

При исследовании надежности свеклоуборочных комбайнов ставились и решались следующие основные задачи:

- выявить уровень надежности новых комбайнов при хозяйственной эксплуатации их в течение первого сезона;
- определить влияние надежности на интенсивность использования времени смены;
- получить материал, характеризующий отказы в работе комбайнов.

Основные вопросы методики исследования изложены в предыдущем параграфе, здесь мы характеризуем некоторые результаты работы [41].

Специальные наблюдения проводились в хозяйствах Новосибирской области по двум маркам комбайнов: КС-3 и СКН-2А, которые в то время поступали в Сибирь. Общая характеристика результатов работы комбайнов за период наблюдений представлена в табл. 5.1.

Следует отметить, что фактическая продолжительность наблюдений соответствует необходимой (по методике), а выработка комбайнов для условий Западной Сибири довольно высокая. Среднее время исправной работы  $t_{\text{ср}}$  по результатам наблюдений составляет для комбайнов КС-3 5,3 ч, а для СКН-2А – 6,6 ч.

С достоверностью 95% доверительные интервалы для  $t_{\text{ср}}$  равны: для КС-3  $t_{\text{н}} = 4,55$  и  $t_{\text{в}} = 6,25$  ч, а для СКН-2А –  $t_{\text{н}} = 5,75$  и  $t_{\text{в}} = 7,6$  ч. Можно сделать заключение, что точность определения  $t_{\text{ср}}$  вполне достаточная.

Таким образом, ежедневно вероятно опасность отказа любого комбайна в работе. По статистическим данным исследования средняя продолжительность простоя на один отказ составляет около 50 мин для комбайна СКН-2А и 40 мин для КС-3.

Такая продолжительность простоя объясняется тем обстоятельством, что многие отказы нельзя устранить в поле, и возникает необходимость поездки на усадьбу в мастерскую для устранения неисправностей. Очень часто длительные простои имеют место из-за отсутствия запасных частей.

Интенсивность отказов  $\lambda$  является важной характеристикой потока отказов. Значения этого параметра следующие:  $\lambda = 0,19$  и  $\lambda = 0,15$  соответственно для КС-3 и СКН-2А.

Вероятность безотказной работы комбайнов  $P(t)$  очень низкая. Так, из 100 комбайнов КС-3 в течение всего 10 ч могут проработать без отказов только 15, для СКН-2А – 22 комбайна,  $P(t)$  соответственно равна 0,15 и 0,22.

Приведенные параметры характеризуют, главным образом, частоту отказов. Исследованиями установлена

также величина потерь времени, вызываемая ненадежной работой комбайнов. В табл. 5.4 приводятся данные, характеризующие влияние надежности на степень использования времени смены (величина простоев выражается в % к общему времени наблюдений).

Таблица 5.4. Величина простоев при устранении отказов, %

Показатели	Марка комбайна	
	КС-3	СКН-2А
Величина простоев для устранения всех отказов в работе	17,8	16,6
Величина простоев из-за технических неисправностей	8,5	5,8
Величина простоев из-за отказов по технологическим причинам	9,3	10,8

Потери времени и трудоемкость восстановления работоспособности при устранении отказов характеризуют также показатели  $\mu$  и  $K_T$ . Расчет этих показателей по экспериментальным данным дает следующий результат:

- для комбайнов КС-3-  $\mu = 1,5$ ;  $K_T = 0,88$ ;
- для комбайнов СКН-2А-  $\mu = 1,2$ ;  $K_T = 0,89$ .

Таким образом, найденные параметры свидетельствуют о том, что в условиях обычной рядовой эксплуатации надежность комбайнов недостаточно высокая, хотя наблюдения велись за новыми комбайнами.

По результатам наблюдений было также установлено распределение отказов по основным узлам комбайнов. В табл. 5.5 приводятся сведения по частоте отказов и продолжительности простоев для отдельных узлов и механизмов, причем отказы разделены на две группы:

1. Отказы вследствие технических неисправностей (поломок) деталей и узлов.

Таблица 5.5 Распределение отказов по основным узлам и механизмам свеклоуборочных комбайнов

Основные узлы и механизмы комбайнов	Количество отказов, %		Продолжительность простоев			
			общая, %		на 1отказ, ч	
	1	2	1	2	1	2
<b>КС-3</b>						
Теребильный аппарат	26,4	12,7	18,3	11,2	0,65	0,2
Выравнивающий и ботвосрезающий аппараты	12,3		14,6		1,7	
Шнековый очиститель	1,5	18,2	7,5	19,7	1,85	0,15
Гидроуправление	6,2	5,7	8,2	10,9	1,6	0,25
Механизмы привода и транспортеры	48,6		52,4		1,5	
Подкапывающие лапы	0,5	63,4	4,8	58,4	2,8	0,08
Остальные узлы и механизмы	4,5	-	9,5	-	1,2	-
<b>СКН-2А</b>						
Ботвосрезающий аппарат	24,2	31,8	45,5	25,2	2,9	0,31
Выкапывающее устройство	-	35,7	-	35,2	-	0,39
Продольный транспортер ботвы	60,7	32,5	19,1	39,6	0,5	0,48
Механизм привода	3,0		20,8		10,6	
Остальные узлы и механизмы	12,1		14,6		1,8	

2. Отказы вследствие нарушения технологического процесса и изменения регулировок.

Не останавливаясь подробно на анализе данных таблицы, коротко отметим, что менее надежными являются узлы с большим количеством сопряженных деталей, работающих в абразивной среде (теребильный аппарат, механизмы привода, транспортеры и т.д.). Необходимо также

обеспечить лучшую защиту вращающихся деталей от растительной и почвенной среды.

Эти и другие (более подробные) результаты наблюдений были представлены (наряду с отчетом Министерству) также заводам-изготовителям. Надеемся, что в совокупности с другой информацией по эксплуатационной надежности комбайнов, поступившей на заводы, наши результаты также были использованы и учтены при совершенствовании конструкции этих машин.

Дополним характеристику надежности свеклоуборочных комбайнов ещё одним показателем в соответствии с материалами нашего исследования, изложенными в главе 2 (п. 2.6) (по обоснованию методов оценки надёжности машинных агрегатов).

Это показатель – вероятность надежного функционирования агрегата (в данном случае под агрегатом понимается работа комбайна).

Наиболее простым для практического инженерного расчета будет использование формулы (2.20):

$$P_{\text{нфа}} = \Gamma_a(t_H) \cdot P_a(t) = \Gamma_a \cdot P_a,$$

где  $\Gamma_a$  – функция готовности агрегата в момент –  $t_H$ ;

$P_a$  – вероятность безотказной работы агрегата в течение заданного времени –  $t$ .

Используем приведенные выше данные, имея ввиду, что  $\Gamma_a = K_\Gamma$ , а  $P_a = P(t)$ .

Тогда получим следующие результаты:

- для комбайнов КС-3  $P_{\text{нфа}} = 0,88 \cdot 0,15 = 0,132$ ;
- для комбайнов СКН-2  $P_{\text{нфа}} = 0,89 \cdot 0,22 = 0,174$ .

Таким образом, вероятность нормального (надежного) функционирования несколько ниже уровня безотказности, т.к. учитывается ещё коэффициент  $K_\Gamma$ .

## 5.4. О надежности зерноуборочных машин

Изучению надежности зерноуборочных машин (главным образом комбайнов) в условиях хозяйственной эксплуатации посвящено большое количество исследований [11, 19, 27, 45, 48, 53, 57 и др.]. Это и понятно, поскольку от надежной работы этих машин зависят своевременность, полнота и качество уборки урожая.

Возвращаясь сейчас к итогам первой нашей работы в этом направлении (по договору с ГОСНИТИ), можно отметить, что её положительная роль проявилась в нескольких направлениях:

- это была одна из первых работ в Западной Сибири – регионе, имеющем специфику климатических и хозяйственных условий периода уборки урожая зерновых культур;
- результаты наблюдений показали, что реальные резервы сокращения времени простоев из-за устранения технических неисправностей во время эксплуатации в основном находятся в сфере организации технического обеспечения работы комбайнов;
- важный вывод лично для автора состоял в том, что надо весь процесс повышения эффективности использования и надежности техники рассматривать комплексно, что далее трансформировалось в системный подход и следствием чего стали последующие исследования.

Конкретные показатели надежности работы зерноуборочных комбайнов (табл. 5.6) мы приводим на основе обобщения первых наблюдений за их работой (договор с ГОСНИТИ) и последующих материалов исследований (аспиранты Р.П. Голиков и Ю.Н. Дементьев) [4, 13, 38].

Таблица 5.6. Показатели эксплуатационной надежности зерноуборочных комбайнов (СК-4, СКД-5, СК-5)

Показатели	Обозначение	Численное значение
Среднее время исправной работы	$t_{cp}, ч$	12,3
Интенсивность отказов	$\lambda, 1/ч$	0,08
Среднее время восстановления работоспособности	$t_{в}, ч$	2,9
Интенсивность восстановления	$\mu, 1/ч$	0,34
Коэффициент готовности	$K_{г}$	0,81
Вероятность безотказной работы (при $t = 10ч$ )	$P(t)$	0,47

Надежность жаток ЖВН-6 несколько выше, чем комбайнов, что вполне естественно, учитывая различную сложность этих машин. Так, среднее время исправной работы  $t_{cp} = 19,75 ч$ ; интенсивность отказов  $\lambda = 0,051$ ; вероятность безотказной работы (при  $t = 10 ч$ )  $P(t) = 0,605$ ; коэффициент готовности  $K_{г} = 0,85$ .

В результате исследований была установлена номенклатура деталей, лимитирующих надежность (принятая аббревиатура – ДЛН) и даны рекомендации по уровню их резерва в мобильном складе уборочного комплекса. Перечень ДЛН и рекомендуемый их запас на период уборки приведены в табл. 5.7.

Остановимся отдельно на показателях надежности комбайнов СК-6 «Колос» [13].

Средняя наработка на отказ составила 7,4 ч, а на восстановление одного отказа затрачивалось 0,96 ч. Таким образом, интенсивность отказов –  $\lambda = 0,135ч^{-1}$ ; а интенсивность восстановлений –  $\mu = 1,041ч^{-1}$ . Можно заметить (сравнивая с данными табл. 5.6), что отказы происходили

Таблица 5.7. Номенклатура и уровень резерва запасных частей для комплекса из 10 комбайнов СКД-5 [4]

№ п/п	Наименование запчастей (ДЛН)	Номер по каталогу	Норматив на текущий ремонт и восстанов. работоспособ. (ГОСНИТИ)	Факт. расход	Уровень резерва (рекоменд.)
1	2	3	4	5	6
1	Сегмент ножа	Н066.03	158	50	40
2	Палец режущего аппарата	34-1-2-3-1А	70	20	20
3	Шатун режущего аппарата	3-4-1-9-1	3	5	3
4	Луч растяжки	90079	2	3	2
5	Полуподшипник «А»	90018	16	7	7
6	Подшипник «Б»	90019	4	4	4
7	Луч мотовила	90078	6	4	4
8	Нож режущего аппарата	37-1-2-48	3	3	2
9	Подшипник вариатора жатки	8109	1	1	1
10	Подшипник вариатора ходовой	308	1	1	1
11	Ходовые ремни (комплект)	00157А	4	3	3
12	Бич барабана (комплект)	Э-1622	1	1	1
13	Граблина эксцентрикового мотовила	60279	4	1	1
14	Ролик эксцентрикового мотовила	60285	-	1	1
15	Вариатор ходовой	44-12-1А	1	1	1
16	Транспортер наклонной камеры	1КР-1-4-4	2	1	1



Окончание табл. 5.7

1	2	3	4	5	6
17	Трубка высокого давления (комплект)	-	1	3	1
18	Шланг гидросистемы (комплект)	-	2	2	1
19	Планка копнителя	44-90016	4	1	1
20	Вариатор жатки	34-1-56	1	-	1
21	Подшипник шатуна	180205	2	2	1
22	Нижнее решето грохота	44-2-16-2	1	2	1
23	Верхнее решето грохота	44-2-16-3	1	1	1
24	Лампочка	A-12-32	6	9	9

немного чаще, но они были «менее тяжелыми», т.к. на их устранение затрачивалось меньше времени.

Коэффициент готовности по всей группе из 10 комбайнов СК-6 составил 0,82, т.е. несколько выше по сравнению с другими комбайнами (табл. 5.6).

Кроме определения общих показателей проведен анализ надежности отказавших агрегатов комбайнов. В частности, по каждому агрегату определены количество отказов, время восстановления одного отказа, наработка на отказ и доля отказов в общих простоях машины по техническим причинам.

Интересно отметить, что не было отказов двигателей. Это свидетельство достаточно высокой их надежности.

В работе [49] есть ссылка, в частности, на то, что по результатам исследований, проведенных в Кемеровской области, на долю отказов молотилки и копнителя пришлось 25,1% всех отказов зерноуборочных комбайнов, т.е. фактически по молотилке получен аналогичный результат.

Таблица 5.8 Показатели надежности агрегатов комбайнов СК-6

Агрегат	Кол-во отказов	Время восстановления отката, ч	Наработка на отказ, ч	Доля в общих простоях, %
Молотилка	27	1,31	24	41,5
Гидросистема	20	0,70	33	16,6
Подборщик	15	0,70	44	12,6
Жатка	14	0,53	47	8,9
Наклонная камера	5	0,66	132	4,3
Копнитель	3	0,66	221	2,5
Бункер, выгр. устр.	3	0,93	221	3,5
Ходовая часть	2	4,61	330	10,1

Ещё одним подтверждением общего уровня надежности зерноуборочных комбайнов являются результаты исследований, выполненных также в регионе Западной Сибири.

Так, в работе [48] приводятся результаты исследований надежности комбайнов СКД-5 в условиях рядовой эксплуатации в лесостепной зоне Алтайского края. Наблюдения проводились за 24 комбайнами в течение 5424ч (три сезона), за этот период возникло 537 отказов. Таким образом, средняя наработка на отказ составила 10,1 ч, а интенсивность отказов  $\lambda = 0,099$ .

Для полноты обобщения сошлёмся еще на показатели надежности комбайнов, полученные по результатам их работы в других природно-климатических регионах (Ленинградская, Московская, Калининская области). Эти показатели приведены в работе [47, табл. 3.5].

Для комбайнов СКД-5М «Сибиряк» –  $\lambda = 0,06$ ;  $\mu = 0,90$ ;  $K_T = 0,6$ .

Для комбайнов СК-5 и СК-5А «Нива» –  $\lambda = 0,05$ ;  $\mu = 0,106$ ;  $K_T = 0,69$ .

Для комбайнов СК-6 «Колос» –  
 $\lambda = 0,05; \mu = 0,11; K_{\Gamma} = 0,70$ .

Несмотря на то, что показатели надежности комбайнов разных марок получены в различных регионах, отличающихся природно-климатическими и хозяйственными условиями, общий их уровень примерно одинаков, но недостаточно высокий.

Если принять за желаемый ориентир рекомендацию, что средняя наработка на отказ для комбайнов должна быть не меньше сезонной, то пока она равна (да и то не всегда) суточной (при нормативе 100 ч).

Конечно, дело не только в безотказности. По разным причинам длительность простоев из-за технических неисправностей чрезмерно высока. Это следует прямо или косвенно из приведенных выше показателей надежности.

Возможности сокращения этих простоев частично изучались во всех наших исследованиях, а по зерноуборочным комбайнам выполнено специальное комплексное исследование на уровне кандидатской диссертации [4]. Кратко этот вопрос будет рассмотрен далее.

### **5.5. Надежность кормоуборочных комбайнов КСК-100 и технологических систем на их основе**

Установленные по результатам наблюдений в течение 4 лет показатели надежности комбайнов КСК-100 приведены в табл. 5.9 [17, 43].

Комплексный показатель надежности – коэффициент готовности  $K_{\Gamma} = 0,78 - 0,80$  находится на уровне других сложных уборочных машин (у зерноуборочных комбайнов, как было уже отмечено в табл. 5.6,  $K_{\Gamma} = 0,81$ ), однако он ниже отраслевых нормативных значений. Кстати, в других регионах получено для

Таблица 5.9 Показатели надежности комбайнов КСК-100

Показатель	Значение показателя	
	за 1-й и 2-й годы	за 4 года
Наработка за период наблюдений, моточас	2430	5080
Число отказов	160	229
Наработка на отказ, моточас	15,18	22,2
Параметр потока отказов, ч <sup>-1</sup>	0,06	0,045
Продолжительность восстановления работоспособности, ч	610	1430
Среднее время восстановления, ч	3,76	6,26
Параметр потока восстановлений, ч <sup>-1</sup>	0,27	0,16
Коэффициент готовности	0,80	0,78

комбайнов КСК-100 практически аналогичное значение величины  $K_{\Gamma}$  [1, 2, 47].

По динамике изменения показателей надежности можно отметить некоторые характерные особенности.

Во-первых, частота отказов уменьшилась: так наработка за 3-й и 4-й годы более чем удвоилась (по сравнению с 1-2-м годами наблюдений), а количество отказов возросло только на 43%. Как следствие, существенно выросла наработка на отказ (с 15,18 до 22,20 моточасов), уменьшился и параметр потока отказов –  $\lambda$ . Это можно объяснить накопленным опытом эксплуатации комбайнов и улучшением текущего технического обслуживания (ЕТО, ТО-1), повышением квалификации механизаторов.

А во-вторых, возросла «тяжесть» отказов: среднее время восстановления увеличилось до 6,26 ч (против 3,76 ч), а параметр потока восстановлений снизился до 0,16 (против 0,27). Это объясняется тем, что стали отказывать более сложные узлы, замены которым не было в резерве. На поиск запасных частей уходило много времени, а иногда приходилось их изготавливать в условиях хозяйства. Качество при этом, конечно, невысокое, а затраты (особенно времени) значительные. Так, например, при отказе про-

тиворежущего бруса комбайна КСК-100 среднее время восстановления составило 18 часов, из которых основная часть ушла на изготовление детали в мастерской хозяйства.

Общий вывод состоит в том, что необходимо более рационально определять номенклатуру запасных частей, распределение их по уровням хранения, обеспечить соответствующую организацию в хозяйстве службы технического обслуживания и эксплуатационного ремонта.

И еще раз подтверждается вывод о том, что с возрастом (сроком службы) надежность машин снижается.

Для обоснования номенклатуры запасных частей в ходе наблюдений выявлены менее надежные узлы и агрегаты. Эти данные приведены в табл. 5.10.

Таблица 5.10. Распределение отказов по узлам и агрегатам комбайна КСК-100

Узлы и агрегаты	Количество отказов	
	число случаев	%
Режущий аппарат жатки для уборки трав	30	18,5
Привод режущего аппарата жатки для уборки трав	12	7,4
Питающе-измельчающий аппарат: в том числе вследствие попадания посторонних предметов	20	12,4
Рама жатки со шнеком и мотовилом	14	9,0
Двигатель СМД-72 (в целом)	10	6,2
Привод рабочих органов	30	18,5
Жатка для уборки кукурузы	23	14,2
Жатка для уборки кукурузы	21	14,8
Другие узлы и агрегаты	13	8,0
Всего отказов	160	100

Наибольшее количество отказов приходится на детали режущего аппарата, двигателя, привод рабочих органов, кукурузную жатку, питающе-измельчающий аппарат, привод режущего аппарата жатки для уборки трав.

Проведенный хронометраж времени восстановления работоспособности показывает, что к наиболее продолжи-

тельным простоем приводят отказы питающе-измельчающего аппарата и двигателя. Общее время простоев комбайнов из-за технических отказов составило 310 ч, из них до 35% времени приходится на отказы указанных сборочных единиц. Это свидетельствует о низкой надежности данных агрегатов и о большой трудоемкости восстановления их работоспособности.

В таблице выделены отказы питающе-измельчающего аппарата из-за попадания посторонних предметов, они составляют 70% по количеству случаев и 87% - по времени восстановления. Эти данные свидетельствуют, с одной стороны, о большой засоренности полей посторонними предметами, с другой – о недостаточной защите питающе-измельчающего аппарата от их попадания.

Для анализа надежности работы кормозаготовительного комплекса на основе КСК-100 были проведены необходимые хронометражные наблюдения с фиксированием других видов простоев. В частности, это простои из-за отсутствия транспорта, из-за метеорологических условий, а также по организационным причинам.

По нашей концепции надежности технологических систем (глава 2) все эти простои квалифицируются как отказы системы. Рассмотрим количественную характеристику и структуру этих отказов (по данным наблюдений продолжительностью 289,5 ч) (табл. 5.11).

Как следует из таблицы, существенное влияние на производительность комбайнов оказывают обеспеченность транспортом и организация ритмичной его работы. Около 10% рабочего времени комбайны простаивают в ожидании транспортных средств.

Таблица 5.11. Структура и продолжительность простоев  
технологического комплекса на основе комбайнов КСК-100

Причина простоя	Число случаев	Общая продолжительность простоя, мин	Средняя продолжительность простоя, мин	Доля в общей структуре рабочего времени, %
Технические неисправности	31	3300	106,4	19,72
Отсутствие транспорта	105	1680	16,0	10,03
Неблагоприятные метеоусловия	3	1620	540,0	9,67
Организационные неувязки	12	460	38,3	2,74
Технологические отказы	9	170	18,8	1,01
Всего простоев	160	7230	45,1	43,17

Можно отметить, что организация четкого транспортного обслуживания комбайнов КСК-100 из-за высокой производительности этих машин представляет большие трудности в сравнении с другими типами уборочной техники.

Преобладающей является доля технических отказов (неисправностей) – 19,72%, зато надежность технологического процесса стабильна и на высоком уровне. Потери времени из-за неблагоприятной погоды составляют 9,67%, что для Сибири в период уборки урожая явление обычное. Реальным резервом сокращения потерь времени, поддающимся управлению в условиях хозяйства, является устранение всех организационных неувязок (около 3%).

Для определения показателей надежности системы приведем расчетные данные по параметрам потока отказов и восстановлений, полученные на основе табл. 5.11. Результаты представлены в табл. 5.12.

Таблица 5.12. Параметры потока отказов и восстановлений  
кормозаготовительной технологической системы

№ п/п	Вид отказа (i)	Параметры по видам отказов (i)			
		$t_p^i$	$\lambda^i$	$t_{\text{пр}}^i$	$\mu^i$
1	Техническая неисправность (i=1)	5,45	0,18	1,77	0,56
2	Нарушение технологического процесса (i=2)	18,77	0,053	0,31	3,22
3	Отсутствие транспорта (i=3)	1,60	0,62	0,27	3,7
4	Неблагоприятные метеоусловия (i=4)	56,30	0,018	9,0	0,11
5	Организационные причины (i=5)	14,08	0,071	0,64	1,56

Обозначения в табл. 5.12 следующие:

$t_p^i$  – наработка на отказ, ч;

$t_{\text{пр}}^i$  – средняя продолжительность устранения отказа, ч;

$\lambda^i, \mu^i$  – интенсивность отказов и восстановлений, ч<sup>-1</sup>;

i – вид отказа (соответствующий порядковому номеру в таблице).

По данным табл. 5.12 найдем показатель  $P_{\text{нфа}}$  – вероятность нормального (надежного) функционирования агрегата (комбайна КСК-100). При этом учитываются только собственные отказы подсистемы - технологический комплекс машин (ТКМ), т.е. первые три вида отказов. Для этого используем полученную в главе 2 формулу (2.44):

$$P_{\text{нфа}} = \left( 1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \frac{\lambda_3}{\mu_3} \right)^{-1}.$$

Подставив соответствующие значения, получим  $P_{\text{нфа}} = 0,71$ . Эта величина несколько меньше значения коэффициента готовности ( $K_{\Gamma}$ ), что вытекает из ранее из-



ложенных теоретических предпосылок (см., например, (2.20).

Можно считать, что метод оценки надежности машинного агрегата, обоснованный в п. 2.6.3, приемлем для практического использования.

## **5.6. Сокращение простоев техники при восстановлении её работоспособности в подсистеме ТОР**

Потери от простоев техники, а особенно уборочных машин, весьма значительны. Здесь кроме затрат, связанных непосредственно с восстановлением работоспособности машин, имеют место дополнительные потери урожая из-за растягивания сроков уборки и отклонения их от оптимальных. В теоретическом и методологическом плане этот вопрос рассмотрен ранее (в главах 2 и 3).

Не вызывает сомнений, что сокращение простоев техники является важнейшей задачей инженерно-технической службы каждого хозяйства. Эта задача решается в целом путём комплектования и надлежащей организации работы подсистемы технического обслуживания и ремонта (по принятой нами аббревиатуре – подсистема ТОР) в каждом технологическом комплексе машин (ТКМ), а следовательно, в каждой создаваемой технологической системе – ТСМПР.

В хороших хозяйствах, как правило, так и делают – в каждом уборочно-транспортном (а также кормозаготовительном или посевном) комплексе организуется и обеспечивается звено технического обслуживания и полевого ремонта.

В целом организация этой работы достаточно хорошо изучена и освоена на практике, а принципиальные подходы и методы обоснованы многочисленными исследователями и изложены в публикациях [6, 12, 18, 21, 32, 33, 46, 51 и др.].

Мы в данном случае рассматриваем только возможности сокращения простоев при устранении неисправностей, связанных с заменой отказавшей детали. С точки зрения проведения планового технического обслуживания (по своевременности, объему и качеству) в принципиальном плане проблем меньше, хотя далеко не всегда и здесь дела обстоят благополучно, как это требуется и рекомендуется [21, 22 и др.].

Простой, связанный с заменой отказавшей детали (под термином «детали» мы подразумеваем также узлы или агрегаты), состоит из ряда временных интервалов для выполнения операций, составляющих технологическую цепочку устранения неисправности. Обычно это: поиск, обнаружение и идентификация неисправности, демонтаж детали, информация о необходимой замене (в подсистему TOP), поиск и доставка требуемой детали из резерва, установка новой детали на машину, проверка правильности эксплуатационного ремонта.

Излишние потери времени могут быть на любом этапе выполнения этих операций (в зависимости от характера неисправности и многих других условий), но, как показывают проведенные наблюдения и опыт, больше всего потери времени связаны с поиском и доставкой требуемой детали из резерва.

### ***5.6.1. О резервировании***

В теории надежности, как известно, различают два метода резервирования (общий и отдельный) и два способа включения резерва (постоянный и путём замещения). При общем резервировании применительно к сельхозтехнике резервируется полнокомплектная машина, а при отдельном – отдельные детали (узлы, агрегаты). Постоянное резервирование, как правило, возможно, только для полнокомплектных машин, т.к. в сельхозмашинах фактически

нет деталей, находящихся в режиме постоянно включенного раздельного резерва [22, 24-26].

В работе [45] с теоретических позиций показано, что наиболее эффективным является резервирование замещением, т.к. при этом наработка на отказ ( $t_{cp} = 2/\lambda$ ) выше, чем при постоянном резерве ( $t_{cp} = 1,5/\lambda$ ), и, конечно, выше, чем у нерезервируемого элемента (где  $t_{cp} = 1/\lambda$ ).

Кратко коснемся вопроса о резервировании полнокомплектных машин.

В работе [37] Б.В. Павлов на конкретном численном примере показал, что резервирование полнокомплектной машины (в его примере это трактор) повышает надежность её работы с 0,36 до 0,59. Однако если резерв создать всего из трех агрегатов (а не трактора в сборе), то надежность повысится до 0,71. Такой уровень надежности можно обеспечить при резервировании двух машин (при одной основной), что совершенно не реально и даже бессмысленно.

Вопрос об использовании в качестве резерва (путем замещения) полнокомплектных зерноуборочных комбайнов изучался, в частности, в СибИМЭ и в других научных коллективах [26, 27, 57]. Уделено этому внимание и в исследовании аспиранта Р.П. Голикова, в основном путем проведения машинного эксперимента на ЭВМ (по методике А.М. Крикова).

Результаты экспериментов показали, что удовлетворительной загрузка резервного комбайна (60,4% времени) будет в случае, если на 20 основных комбайнов будет один резервный.

Довольно детально этот вопрос исследован в СибИМЭ путем моделирования системы обслуживания комбайнов на ЭВМ. Получено, что лучшие показатели с точки зрения простоев основных комбайнов, а главное – комбай-

неров, будут при двух резервных комбайнах на группу из 15-18 машин и четырёх мастеров-наладчиков [26, 46].

Однако машинный эксперимент не учитывал ряд ограничений реальной жизни, поэтому такая рекомендация не является бесспорной.

А иногда встречающаяся в публикациях общая рекомендация иметь число резервных машин, равное среднему количеству одновременно отказавших комбайнов, вообще сомнительна (т.к. при  $K_T = 0,8$  на указанную численность основных машин надо иметь 3-4 резервных).

Не случайно на практике работа по такой схеме (с резервными комбайнами) не нашла применения. Во-первых, если уж есть достаточное количество комбайнов (условно достаточное, чтобы иметь резерв), то лучше этот резерв использовать путем постоянного включения. Ограничением здесь может быть только острый дефицит механизаторов. Однако сейчас, как правило, наблюдается дефицит уборочных машин. А во-вторых, резерв из отдельных деталей (узлов, агрегатов), из которых состоит, например, комбайн может обеспечить и ускорить процесс восстановления одновременно нескольких отказавших комбайнов (а не одного).

Резерв деталей может находиться на разных уровнях хранения: в звене ТОР, на складе хозяйства, на районном (межрайонном) техническом обменном пункте (ТОП), на складе агроснаба или многих действующих фирм по торговле запасными частями, на областном уровне или даже на заводе-изготовителе. Итак, первый вопрос – где искать? В любом случае чем ближе к месту поломки, тем лучше, иначе неизбежны потери времени на доставку. Таким образом, нужна информация о наличии детали на разных уровнях хранения.

Одним из важнейших итогов проведенных нашими аспирантами исследований по надежности зерноуборочных

и кормоуборочных комбайнов является обоснование номенклатуры деталей для хранения непосредственно в уборочно-транспортном комплексе.

Однако вопрос о рациональном размещении всей номенклатуры резервных деталей по уровням хранения, а также о целесообразных нормативах этих запасов в целом является весьма сложным и требует серьезных технико-экономических обоснований, а также наличия достоверной информации об интенсивности отказов по всей номенклатуре деталей [34, 35].

По итогам наблюдений выскажем некоторые соображения по сбору, накоплению и обобщению информации об отказах и потребности в запасных частях, а также о необходимости своевременной корректировки нормативов.

Из факторов, влияющих на обеспеченность и расход запасных частей, нормативно-методический является наиболее управляемым.

Принятые методы расчета норм расхода запасных частей к тракторам и сельхозмашинам предусматривают, что сбор данных начинается после 3-5 лет эксплуатации машин. Анализ показывает, что продолжительность и трудоемкость сбора исходных данных в основном определяют два фактора: небольшое количество машин в одном хозяйстве (например, по КСК-100, как правило, 1-2 машины, в редких случаях до 3-4) и значительное расстояние между подконтрольными хозяйствами. Это приводит к удлинению сроков сбора необходимой информации и к недостаточной достоверности выборки.

Для оперативного уточнения номенклатуры и норм расхода необходимо сокращение времени сбора и накопления информации, создание банка данных. Банк данных по надежности и расходу запасных частей должен объединять информации: завода-изготовителя (начиная с периода испытаний опытных образцов), машиноиспытательных стан-

ций, опорных пунктов и филиалов исследовательских учреждений.

Учитывая постоянную тенденцию уменьшения продолжительности производства одной марки машины, необходимо постоянно сокращать время разработки уточненных нормативов, иначе обоснованные нормы будут действовать только меньшую часть срока службы машины.

Сократить продолжительность накопления необходимой информации можно путем целенаправленного сбора данных в первые годы серийного выпуска машины. Для этого контрольные партии новой техники (из числа машин первого и второго года выпусков) следует направлять для эксплуатации под контролем специалистов по надежности в районы расположения МИС.

Предложения о необходимости испытаний на МИС первых опытных и серийных партий машин для получения достоверной информации по надежности неоднократно высказывались в печати. Параллельно, без значительных дополнительных затрат, необходимо собирать исходную информацию путем опросного сбора данных о расходе запасных частей.

Известен положительный опыт в автомобильной промышленности, где необходимая исходная информация собирается через сеть опорных автотранспортных предприятий и экспериментально-производственных автохозяйств, в которых в реальных условиях эксплуатации испытывается несколько тысяч грузовых машин [16].

За первые два года эксплуатации машины вполне возможно уточнить нормы расхода по важнейшей номенклатуре элементов. По данным ГОСНИТИ [30], важнейшая номенклатура (запасные части повышенного спроса) составляет третью часть от всей номенклатуры. Она имеет преимущественный спрос (до 81% общего спроса) и концентрирует в себе основную часть (до 92%) стоимости за-

пасных частей. В частности, для комбайна КСК-100 на долю 10-20 позиций из общей номенклатуры деталей (более чем 600 позиций) приходится не менее 20% всех отказов и не менее 30% времени простоев машин из-за технических неисправностей. Другими словами, не менее 50% всех отказов сельскохозяйственной техники устраняется с заменой деталей из числа важнейшей номенклатуры. Именно для нее необходимо ускоренное уточнение нормативов, т. к. обеспеченность этими деталями оказывает определяющее влияние на эксплуатационную надежность машин.

### ***5.6.2. Об организации и технологии обеспечения запасными частями при восстановлении работоспособности уборочных машин***

Оперативность устранения отказов, связанных с заменой отказавшей детали, определяется рядом факторов, среди которых основными являются следующие: наличие устойчивой связи с различными уровнями хранения запасных частей, скорость и качество обработки поступившей информации, поиск нужной детали, оперативность доставки запасной части на поле и, наконец, продолжительность монтажа детали.

Значит служба ТОР должна включать все необходимые элементы, обеспечивающие оперативность этого процесса. Материально-техническое обеспечение подсистемы ТОР может быть различным по своему составу, но достаточным по функциональным возможностям.

В ходе научно-производственного эксперимента по организации и технологии данного процесса была выработана следующая схема его реализации [5].

По опыту работы и с учетом соответствующих рекомендаций была установлена номенклатура запасных частей, которые чаще всего требуются для устранения отказов. Эти запасные части разместили в специально оборудо-

ванном вагончике, который был закреплен за мастером-наладчиком звена технического обслуживания. Таким образом, появился третий уровень хранения запасных частей.

Управление совокупным запасом деталей (агрегатов) основывается на развернутой диспетчерской связи. Радиостанции установлены у руководителя уборочного звена, у старшего водителя обслуживающей группы автомобилей, у диспетчера, у мастера-наладчика и начальника уборочно-транспортного комплекса. Диспетчер комплекса может связаться с диспетчерской совхоза, а диспетчер совхоза – с диспетчером районного уровня.

В случае, когда произошел отказ комбайна и требуется замена запасной части, звеньевой по радиостанции (мобильной связи) сообщает о поломке мастеру-наладчику или руководителю уборочно-транспортного комплекса. В сообщении указывают требуемую запасную часть и номер отказавшего комбайна.

Проверяют наличие запасной части в складе-вагончике. Если ее нет в запасах уборочного комплекса, то требование передают в диспетчерскую или на склад хозяйства. Запасную часть, выявленную на складе или на обменном пункте хозяйства, немедленно отправляют в уборочно-транспортный комплекс. Для оперативной доставки запасных частей выделяют специальную машину, также снабженную средствами связи.

Если запасной части нет на складе хозяйства, то ее запрашивают или со склада агроснаба, или районного обменного пункта. Далее организуют доставку требуемой запчасти на склад хозяйства или непосредственно к месту ремонта отказавшего комбайна.

В реальных производственно-хозяйственных условиях была подтверждена достаточно высокая оперативность процесса (при условии хорошего организационного и технического его обеспечения).



Были получены следующие статистические данные. Среднее время прохождения информации на уровне уборочно-транспортного комплекса составило 1,3 мин, на уровне хозяйства – 4,7, в диспетчерской райсельхозтехники – 5,4 мин. Среднее время подготовки запасной части на складе совхоза составило 6,4 мин, на районном складе – 10.

Время доставки зависит от расстояния, вида транспортного средства и состояния дорог. В условиях эксперимента это время составило при доставке со склада хозяйства – 33 мин, с районного склада – 112. Эти данные еще раз говорят о целесообразности хранения деталей, отказывающихся наиболее часто, непосредственно в уборочном комплексе.

В результате внедрения предложенной технологии снабжения запасными частями время доставки сократилось почти в 6 раз. Только за счет этого производительность уборочно-транспортного комплекса возрастает на 10-15%. Очень важным обстоятельством при такой системе является также то, что квалификация комбайнеров не оказывает здесь решающего влияния на продолжительность простоя [4, 5].

Таким образом, создание специализированной, хорошо организованной службы снабжения запасными частями и устранения отказов жизненно оправданно и необходимо.

## **5.7. Заключение**

Полученные количественные данные, характеризующие эксплуатационную надежность различных уборочных машин, конечно, недолговечны (сейчас используется в основном уже другая техника). В то же время многие положения выполненных экспериментальных исследований (преимущественно качественного, принципиального характера), рассмотренные в главе 5, сохраняют актуальность.

Это, в частности, можно сказать о методике исследований и полученных закономерностях отказов машин, о технологии и организации восстановления работоспособности путем замены отказавших деталей, о необходимости и методах сбора нужной информации для определения номенклатуры ДЛН и их потребности, а также о некоторых других результатах.

Да и полученные количественные характеристики надежности дают возможность проводить различный анализ и расчеты по полученным аналитическим зависимостям (глава 2).

Остановимся отдельно еще раз на вопросе о целесообразности использования в качестве резервных полнокомплектных комбайнов. В главе 5 в довольно мягкой форме было сказано, что такая рекомендация не является достаточно обоснованной. В заключении хочется свою позицию по отношению к этому вопросу усилить.

Исследования, по результатам которых давалась такая рекомендация, проводились более 20 лет назад, в основном в форме машинных экспериментов. Ситуация с обеспеченностью техникой была совсем другая. Действительно, в ходе уборки на машинном дворе хозяйств оставалась еще часть старых и, как правило, не вполне работоспособных комбайнов (в основном из-за недостатка механизаторов). Тогда такая рекомендация выглядела хоть и сомнительной, но осуществимой. Сейчас, когда парк зерноуборочных комбайнов сократился практически вдвое, предлагать такой способ резервирования нет оснований ни с теоретической, ни с практической точки зрения (другими словами – с точки зрения системного подхода).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Анилович В.Я.* Эксплуатационная надежность сельскохозяйственных машин / В.Я. Анилович, В.А. Дьяченко, Ю.А. Манчинский и др. – Минск.: Ураджай, 1974. – 264 с.
2. *Баев Л.И.* Исследование эксплуатационной надежности технологических процессов мобильных сельскохозяйственных агрегатов на примере производства грубых кормов в северо-западной зоне: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л.: ЛСХИ, 1979. – 17 с.
3. *Блынский Ю.Н.* Повышение надежности уборочно-транспортных систем // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1980. – № 11. – С. 43-46.
4. *Голиков Р.П.* Исследование процесса восстановления работоспособности зерноуборочных комбайнов уборочно-транспортных комплексов: дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 1980. – 222 с.
5. *Голиков Р.П.* Сокращение простоев техники уборочно-транспортных комплексов / Р.П. Голиков, А.В. Пискарев // Земля сиб., дальневост. – 1978. – № 6. – С. 49.
6. *ГОСТ 18322-78.* Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 11 с.
7. *ГОСТ 27002-89.* Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 47 с.
8. *ГОСТ 27.503-81.* Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Методы оценок и показателей надежности. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 55 с.
9. *Губинский А.И.* Методические рекомендации по построению моделей оценки эффективности, качества и надежности эрготехнических систем / А.И. Губинский, А.П. Ротштейн. – М., 1981. – 65 с.

10. Гулин М.А. Оценка экономической эффективности сельхозмашин от повышения уровня их надежности / М.А. Гулин, В.И. Савин, Н.П. Гавриш // Тракторы и сельхозмашины. – 1984. – № 2. – С. 24-25.
11. Грошев Л.М. и др. Надежность сельскохозяйственной техники. – Киев: Урожай, 1990. – 192 с.
12. Гунер Л.И. Оптимизация системы специализированного обслуживания комплекса машин / Л.И. Гунер, В.В. Лазовский, П.В. Привалов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1980. – № 5. – С. 5-9.
13. Дементьев Ю.Н. Результаты исследования надежности комбайнов СК-6 «Колос» // Повышение эффективности использования уборочных машин в условиях Западной Сибири // Тр. Новосиб. с.-х. ин-та. – 1978. – Т. 115. – С. 21-22.
14. Ермачков В.Г. К вопросу оценки надежности сельхозмашин / В.Г. Ермачков, В.Л. Мушар, В.Н. Тимошенко // Тракторы и сельхозмашины. – 1978. – № 1. – С. 33-35.
15. Иванов В.А. Методы оценки и прогнозирования надежности сельскохозяйственной техники. – Воронеж: ВГАУ, 2001. – 188 с.
16. Индикт Е.А. Результаты испытаний как база данных для управления и надежности автотранспортных средств // Автомобильная промышленность. – 1985. – №12. – С. 7-9.
17. Кистанов В.С. Надежность и расход запасных частей кормоуборочных комбайнов КСК-100 // Повышение эффективности работы сельскохозяйственной техники в условиях Западной Сибири; Новосиб. с.-х. ин-т. – Новосибирск, 1985. – С. 73-76.
18. Кононенко А.Ф. Системные методы обеспечения надежности и эффективности сельскохозяйственной техники / А.Ф. Кононенко, А.С. Каменский. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1986. – 102 с.

19. *Коробко Н.П.* Исследование эксплуатационно-технологической надежности мобильных сельскохозяйственных агрегатов (на примере уборки зерновых культур в Нечерноземной зоне): автореф. дис...канд. техн. наук. – Ленинград: Пушкин, 1979. – 17 с.
20. *Кавалерчик К.М.* Интегральная оценка надежности машин // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1986. – № 6. – С. 3-7.
21. *Клейн А.Т.* Расчет состава звеньев мастеров-наладчиков и организация технического обслуживания машин технологических комплексов / А.Т. Клейн, П.В. Привалов, В.М. Натарзан: метод. рекомендации /ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1979. – 52 с.
22. *Круглый П.Е.* Обеспечение эксплуатационной надежности картофелеуборочного комплекса на основе резервирования комбайнов и их составных частей: автореф. дис...канд. техн. наук. – Минск, 1981. – 18 с.
23. *Кубарев А.И.* Исследования и стандартизация в области надежности технологических систем // Эффективность, качество и надежность электротехнических систем: материалы Всесоюз. симпоз. – М., 1981. – С. 59-61.
24. *Кугель Р.В.* Испытания на надежность машин и их элементов. – М.: Машиностроение, 1982. – 180 с.
25. *Куручкин В.Н.* Проблемы обеспечения надежности и эффективности функционирования технологических систем эксплуатации МТП. – М.:ВИМ, 1993. – 168 с.
26. *Лазовский В.В.* Обоснование числа резервных комбайнов в уборочно-транспортном комплексе на обмолоте / В.В. Лазовский, Л.И. Гунер, П.В. Привалов // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 1979. – № 4. – С. 101-105.
27. *Лисунов Е.А.* К оптимизации показателей безотказности и ремонтпригодности зерноуборочных комбайнов //

- Надежность и ремонт сельскохозяйственной техники.  
– Горький, 1982. – С. 3-6.
28. *Ллойд Д.К.* Надежность: пер. с англ. / Ллойд Д.К., Липов М.; под ред. И.П. Бусленко. – М., 1964. – 686 с.
  29. *Ломоносов Ю.Н.* Основы надежности сельскохозяйственной техники. – Челябинск, 1980. – 128 с.
  30. *Методика* нормирования расхода запасных частей к тракторам и с.-х. машинам. – М.: ГОСНИТИ, 1984. – 104 с.
  31. *Надежность* и эффективность в технике: справочник: в 10 т. Т.2. Методология. Организация. Терминология / под ред. А.И. Рембеза. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
  32. *Натарзан В.М.* Основные направления исследований по управлению работоспособностью технологических систем в сельском хозяйстве Сибири // Науч. – техн. бюл. / СибИМЭ. – 1979. – Вып. 2. – С. 3-6.
  33. *Натарзан В.М.* Работоспособность технологических систем в сельском хозяйстве Сибири // Инженерно-техническое обеспечение сельского хозяйства Сибири. – Новосибирск, 1982. – С. 41-46.
  34. *Немцев А.Е.* Система технического сервиса в АПК / РАСХН. Сиб. отд-ние. СибИМЭ. – Новосибирск, 2002. – 264 с.
  35. *Немцев А.Е.* К распределению обменного фонда между техническими обменными пунктами // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 1983. – № 5. – С. 76-83.
  36. *Павлов Б.В.* Анализ надежности тракторов и с.-х. машин / Б.В. Павлов, В.В. Лазовский // Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. – 1963. – № 5. – С. 16-19.
  37. *Павлов Б.В.* Показатели надежности машин // Технический сервис в сельскохозяйственных предприятиях и организациях: сб. ст. – Новосибирск, 2005. – 176 с.

38. *Пильщиков Л.М.* К вопросу о надежности зерноуборочных машин / Л.М. Пильщиков, А.В. Пискарев, Д.М. Воронин // Пути совершенствования конструкций сельскохозяйственных машин. – Новосибирск, 1967. – С. 70-73.
39. *Пискарев А.В.* Исследование режимов использования свеклоуборочных комбайнов (в условиях Западной Сибири): автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 1965. – 24 с.
40. *Пискарев А.В.* Элементы методики экспериментального исследования надежности машин // Пути совершенствования конструкций сельскохозяйственных машин. – Новосибирск, 1967. – С. 56-62.
41. *Пискарев А.В.* О надежности свеклоуборочных комбайнов//Механизация с.-х. производства: тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1967. – Вып. 27. – С. 239-242.
42. *Пискарев А.В.* Пути повышения эффективности и надежности уборочно-транспортных систем / А.В. Пискарев, Ю.Н. Блынский, В.Д. Игнатов // Повышение эффективности использования уборочных машин в условиях Западной Сибири: науч. тр. НСХИ. – Новосибирск, 1978. – Т. 115. – С. 6-9.
43. *Пискарев А.В.* Надежность кормоуборочных комбайнов КСК-100 в условиях хозяйственной эксплуатации / А.В. Пискарев, В.С. Кистанов // Индустриальные технологии кормопроизводства в Сибири/Сиб. отд-ние ВАСХНИЛ. – Новосибирск, 1984. – С. 118-123.
44. *Пискарев А.В.* Совершенствование информационной базы для определения потребности запасных частей и повышения надежности сельскохозяйственных машин / А.В. Пискарев, Р.П. Голиков, В.С. Кистанов // Совершенствование технологии и средств механизации сельскохозяйственного производства/Новосиб. с.-х. ин-т. – Новосибирск, 1986. – С. 65-70.

45. *Прейсман В.И.* Основы надежности сельскохозяйственной техники. – Киев; Донецк: Вища школа, 1979. – 192 с.
46. *Привалов Л.В.* Методология организации технического сервиса комплексов машин в сельскохозяйственном производстве / Новосиб. гос. аграр. ун-т, Новосибирск, 2001. – 236 с.
47. *Прибытков П.Ф.* Безотказность уборочных агрегатов и комплексов / П.Ф. Прибытков, В.Ф. Скробач. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 207 с.
48. *Пятин И.Н.* Исследование надежности зерноуборочных комбайнов с определением остаточного ресурса узлов применительно к условиям лесостепной зоны Алтайского края: автореф. дис ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 1980. – 18 с.
49. *Сковородин В.Я.* Справочная книга по надежности сельскохозяйственной техники / В.Я. Сковородин, Л.В. Тишкин. – Л.: Лениздат, 1985. – 204 с.
50. *Скорыходов А.Н.* Оценка надежности агрегатов, звеньев и технологических комплексов // Сб. научн. тр. МИИСП. – М., 1989. – С. 22-31.
51. *Северный А.Э.* Система федеральных базовых технологий технического сервиса сельскохозяйственных машин / А.Э. Северный, С.С. Черепанов, М.А. Халфин // Инженер.-техн. обеспечение АПК. – 1996. – № 3. – С. 8-14.
52. *Сухарев Э.А.* Прикладные задачи теории эксплуатационной надежности машин. – Ровно: Изд-во УГАВХ, 1999. – 218 с.
53. *Терских И.П.* Надежность процесса уборки зерновых прямым комбайнированием / И.П. Терских, Н.И. Овчинникова, В.М. Вильчинский. – Иркутск, 2002. – 360 с.



54. *Трепененков И.И.* Об измерителях надежности тракторов и сельскохозяйственных машин // Тракторы и сельхозмашины. – 1964. – № 5. – С. 1-3.
55. *Чепурин Г.Е.* Пути повышения эффективности зерноуборочных машин // Науч.-техн. бюл. / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1977. – Вып. 4-5. – С. 18-26.
56. *Шор Я.Б.* Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. – М.: Сов. радио, 1962. – 552 с.
57. *Шапиро В.А.* Исследование эксплуатационной надежности зерноуборочных комбайнов с целью совершенствования системы их технического обслуживания: автореф. дис...канд. техн. наук. – Л.: ЛСХИ, 1983. – 16 с.

## **6. РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОЛОГИИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ**

### **6.1. Взаимосвязь технологического проектирования производства продукции и систем для отдельных процессов в растениеводстве**

Проектирование технологической системы для отдельного процесса в растениеводстве представляет собой решение различных научно-производственных задач, возникающих при технологическом проектировании производства сельскохозяйственной продукции в той части, на обеспечение которой направлена данная система.

Технологическое проектирование производства продукции обычно включает разработку соответствующих проектов, т.е. документации, необходимой для осуществления выпуска данной продукции. Проектирование системы предусматривает решение вопросов, которые являются частью основной задачи технологического проектирования производства.

В растениеводстве технологическое проектирование направлено в основном на получение высокого урожая. Как известно [26], урожай сельскохозяйственных культур определяется многими факторами, из которых выделяют генетический потенциал сорта и протекание энергомассообмена в системе: «почва – растение – приземный воздух». Различают несколько видов урожая: потенциальный ( $U_{пу}$ ), климатически обеспеченный ( $U_{ку}$ ), действительно возможный ( $U_{дву}$ ) и урожай в производстве ( $U_{пру}$ ).

Основная практическая задача, на решение которой направлено технологическое проектирование, – это доведение уровня производственного урожая до действительно возможного.

Достижения агрономической науки позволяют проектировать величину урожая по известным условиям его выращивания. Методы и подходы здесь различны.

Наиболее распространенный на практике подход основан на эмпирико-статистических данных, когда зависимость величины урожая от различных факторов изучается на основе опытных данных и по результатам имеющихся статистических оценок.

В то же время наука в принципе освоила более точные методы оценки влияния различных факторов на урожай [3, 21, 32]. В коллективной монографии ученых Агрофизического института [21] рассматриваются принципиальная возможность и опыт моделирования продуктивности растений. Уже созданы некоторые прикладные полуэмпирические модели продуктивности посевов на сельскохозяйственном поле. Однако в целом этот путь определяет пока только перспективу дальнейшего развития, прежде всего в связи с реализацией стратегии точного земледелия.

Чтобы ликвидировать разрыв между передовыми рубежами науки и широкой практикой, И.С. Шатилов и А.Ф. Чудновский [39] предлагают и обосновывают подход к процессу формирования урожая, выделяя в нем три аспекта регулирования: агрометеорологический, агрофизический, агротехнологический. Во всех случаях выращивание урожая сводится к оптимальному планированию и осуществлению ряда технологических процессов.

В области технологического проектирования сельскохозяйственное производство имеет определенное отставание от многих отраслей народного хозяйства (например, машиностроения, строительства, химического производства, металлургии и др.), где проектирование осуществляется путем комплексного решения задач по производству продукции. При этом разрабатываются не рекомендации, а система проектной документации, обязательной для ис-

полнения (в т.ч. и на уровне стандартов – общесоюзных, отраслевых, стандартов предприятия) [47].

Во многом такая ситуация объясняется спецификой сельскохозяйственного производства по сравнению с другими отраслями народного хозяйства. С точки зрения технологического проектирования главная трудность заключается в многообразии условий, определяющих производственный процесс, наличии важных факторов, не поддающихся управлению (например, метеорологические условия) и даже надежному прогнозированию.

Трудности технологического проектирования, безусловно, связаны с неустойчивостью погоды и неопределенностью ее прогнозов, так как агрометеорологические условия существенно влияют на выбор агротехнических и технологических приемов.

Говоря о влиянии погодных условий на урожай, академик Т.С. Мальцев пишет: «Не научились люди управлять погодой... высокие урожаи можно и нужно получать при любых погодных условиях, но не независимо от них». И далее он говорит о том, как важно, особенно в неблагоприятных условиях, принять правильные «...оптимальные решения, иначе говоря, приспособливать посевы к наиболее выгодному использованию погодных режимов» [16].

В условиях неопределенности, таким образом, значимость проектирования не уменьшается, а возрастает. Необходимо только предусматривать возможность внесения соответствующих коррективов в технологическую документацию по ходу выполнения намеченных работ.

Значительно облегчить решение задачи технологического проектирования процессов может ускорение работы по созданию глобальной системы информационного обеспечения сельскохозяйственного производства, получившей название агромониторинга, где предусмотрена автоматизированная выдача агробиологической, агрометеорологической, технологической и другой информации [5, 9, 37].

Одновременно справедливо можно отметить, что многие вопросы технологического проектирования сельскохозяйственного производства еще недостаточно разработаны и решены в теоретическом, методологическом и организационном плане.

Переход сельскохозяйственного производства на более высокий уровень культуры земледелия, внедрение прогрессивных технологий, дорогостоящих средств механизации, удобрений и других ресурсов требуют улучшения технологической подготовки производства на базе технологических проектов и другой технологической документации [13, 18, 19, 30, 38].

Научными учреждениями выполнено много крупных разработок по агротехнологии земледелия и растениеводства. Это, в частности, зональные, адаптивно-ландшафтные системы земледелия, операционные технологии. В последнее время разрабатываются технология и техника для точного земледелия, создаются технологические проекты по отдельным культурам [1, 2, 10, 11, 40 и др.].

Вместе с тем, пока явно недостаточно технологической документации для производственных подразделений. Эта документация должна учитывать особенности каждого конкретного поля, условия данного производственного подразделения и обеспечивать комплексный подход к задачам повышения урожайности культур, экономного расходования материальных и трудовых ресурсов.

Реализуя системный подход к проектированию ТСМПР, мы также убеждаемся в необходимости разработки специальных технологических проектов, предназначенных для первичных производственных подразделений.

Особо подчеркнем, что проектирование механизированных процессов и технологических систем необходимо рассматривать в единстве с задачами проектирования производства продукции в целом.

Положение из общей теории систем о том, что цели создания (проектирования) конкретной системы должны соответствовать целям системы более высокого уровня, в данном случае проявляется в том, что ТСМПР направлена на достижение двух главных целей: повышение количества и качества продукции при рациональном использовании материальных и трудовых ресурсов.

Единство этих целей в процессе проектирования просматривается не только как конечная задача, но и как необходимое условие решения всех промежуточных задач, что связано с учетом и использованием многих общих факторов. Эта мысль наглядно иллюстрируется на рис. 6.1.

Показанные в форме отдельных блоков основные элементы проектирования в значительной мере имеют отношение и к производству продукции в целом, и к конкретным технологическим системам. На схеме все элементы и факторы сгруппированы следующим образом: справа показаны факторы, имеющие большее отношение к ТСМПР, а слева – к производству продукции в целом.

Как следует из схемы, эта взаимосвязь и единство обусловлены общностью целей, используемой исходной информации и конечных результатов проектирования. Тесная взаимосвязь также проявляется в принимаемых в процессе проектирования решениях, в разработке многоцелевых технологических проектов.

Далее отметим, что по существу процесс проектирования – это процесс принятия необходимых хозяйственных решений.

Цели проектирования		
Повышение уровня количества и качества продукции	Эффективное использование материальных и трудовых ресурсов, обеспечивающее снижение затрат	
Задачи проектирования		
Разработка технологии производства продукции	Обоснование и создание надежных и эффективных ТСМПП	
	ПТПТКМПТК	
Факторы плодородия (наличие гумуса, элементов питания, продуктивной влаги и др.)	Состояние с.-х. полей	НФ
Агрометеорологические факторы (ФАР, осадки, сумма положительных температур и др.)	Климатические и погодные условия	МУ
Наличие семян (сорт, качество), удобрений, техники, кадров и др.	Материальные и трудовые ресурсы	ОР
Агрокомплекс хозяйства, типовые технологии	Рекомендуемая агротехника и технология	РУ
Процесс проектирования		
Обоснование и принятие агротехнических, технических, организационных и других хозяйственных решений		
Результаты проектирования		
Проект производства продукции в данном хозяйстве	Инженерный технологический проект для первичного производственного подразделения на рабочий период	
Результаты реализации		
Продукция	Затраты	

Рис. 6.1. Взаимосвязь проектирования технологии производства продукции и отдельных технологических систем для механизированных процессов растениеводства

Содержание технологического проектирования с точки зрения использования техники и функционирования технологической системы вытекает из анализа средней дневной производительности (эффективности) ее:

$$W_{\text{тс}} = \frac{F}{D_{\text{к}} \cdot P_{\text{бп}} \cdot K_{\text{г}}} . \quad (6.1)$$

Аналогичное выражение для часовой производительности отдельных машин (например, основных технологических) будет:

$$W_{\text{ч}} = \frac{F}{N \cdot D_{\text{к}} \cdot T_{\text{д}} \cdot P_{\text{бп}} \cdot K_{\text{г}}} , \quad (6.2)$$

где  $F$  – объем производственного задания для системы;

$N$  – количество машин данного типа;

$D_{\text{к}}$  – календарная длительность выполнения;

$T_{\text{д}}$  – продолжительность рабочего дня в часах;

$P_{\text{бп}}$  – вероятность благоприятной погоды за период  $D_{\text{к}}$ ;

$K_{\text{г}}$  – коэффициент готовности техники.

Действительно, эти выражения прямо или косвенно объединяют основные параметры, определяющие технологическую систему.

В частности, ПТП выражен через объемы работ ( $F$ ) и сроки их выполнения ( $D_{\text{к}}$ ); ТКМ – это прежде всего  $N$ ,  $W_{\text{тс}}$ ,  $W_{\text{ч}}$ ,  $K_{\text{г}}$ , а также тесно связан с параметром  $D_{\text{к}}$ ; ПТК прямо зависит от числа машин  $N$ , а косвенно учитывается в  $D_{\text{к}}$  и  $W_{\text{тс}}$ . Влияние среды выражается непосредственно через  $P_{\text{бп}}$  и  $F$ , а косвенно через все остальные параметры.

Это, кстати, можно рассматривать как проявление целостности системы и естественной целесообразности системного подхода при принятии решений в процессе проектирования технологических систем.



## **6.2. Современные стратегии развития земледелия и проектирование производственных технологических процессов**

Проектирование ТСМПП начинается с проектирования ПТП – производственного технологического процесса – как одного из основных системообразующих элементов. Это тем более важно, когда мы задачу проектирования расширяем, рассматривая систему производства определенной продукции растениеводства в целом.

Развитие земледелия и агротехнологии всегда опережало развитие других элементов ТС. Действительно, новая техника и методы её использования всегда ориентируются на соответствующую агротехнологию. Несмотря на определённую стабильность, кажущуюся многолетнюю устойчивость, системы земледелия и агротехнологии в растениеводстве постоянно развиваются и совершенствуются.

Когда мы начинали разработку технологических проектов, то это были годы освоения интенсивных технологий и программирования урожаев [3, 5, 9, 39]. Технологическая часть проекта была ориентирована именно на такой подход. В то же время учёные агрономического профиля были инициаторами обобщения передовых разработок этого направления науки и практики в так называемые зональные системы земледелия. В частности, «Зональная система земледелия Новосибирской области» была издана в 1982 г. [10]. Одновременно была опубликована аналогичная система для Томской области [11]. Освоение этих систем сыграло заметную положительную роль. В частности, в Новосибирской области урожайность зерновых культур возросла с 10 ц/га в 1983 г. до 15,2 – в 1987 [1].

Однако начавшаяся затем аграрная реформа и всеобщая перестройка народного хозяйства на «рыночные рельсы» привели к масштабному экономическому кризису

в стране, и может быть наиболее глубокое падение производства произошло в АПК.

В настоящее время, преодолев главные негативные последствия «перестроечного периода», сельское хозяйство и аграрная наука имеют в основном положительную динамику в своем развитии.

В Сибири, в частности, осваиваются адаптивно-ландшафтные системы земледелия, разработанные учеными СО РАСХН под руководством академиков РАСХН В.И. Кирюшина и А.Н. Власенко [1].

Еще более революционным подходом характеризуется стратегия точного земледелия, элементы которой уже в течение нескольких лет входят в практику хозяйствования в Сибирском регионе.

Поэтому, рассматривая вопросы технологического проектирования и разработки технологических проектов, мы полагаем, что надо хотя бы кратко рассмотреть основы этих современных стратегий в земледелии и агротехнологии.

### ***6.2.1. Агротехнологии на основе адаптивно-ландшафтных систем земледелия***

Подробный анализ теоретических основ, методологии и агротехнических рекомендаций по реализации адаптивно-ландшафтных систем земледелия дан в коллективной монографии сибирских ученых [1].

Рассмотрим некоторые аспекты агротехнологий и принципов, которые определяют существо этих систем земледелия и которые будут основой для проектирования конкретных технологических процессов.

Адаптивно-ландшафтная система земледелия интегрирует 6 групп факторов: общественные потребности, агроэкологические требования сельскохозяйственных культур, агроэкологические параметры земель, уровень интенсификации производства и ресурсный потенциал товаро-

производителя, хозяйственный уклад, качество продукции и среды обитания с учетом экологических ограничений.

Суть механизма формирования адаптивно-ландшафтной системы земледелия заключается в том, чтобы, исходя из биологических и агротехнических требований сельскохозяйственных культур, найти или создать отвечающую им агроэкологическую нишу (с учетом экологических ограничений). При этом должна быть обеспечена экологическая устойчивость производства и агроландшафтов.

Формирование системы начинается с обследования и оценки первичных элементов агроландшафта. Далее сходные типы земель объединяют в агроэкологические группы, которые составляют природно-сельскохозяйственную провинцию (или часть природно-сельскохозяйственной зоны). Совокупность адаптивно-ландшафтных систем земледелия в пределах провинции составляет зональный агрокомплекс, что в определенной мере отвечает понятию зональной системы земледелия (и обеспечивает преемственность этих систем).

Новая технологическая политика, вытекающая из адаптивно-ландшафтного земледелия, отличается от традиционной ориентации тем, что предусматриваются дифференцированный подход и адаптация технологий к различным категориям ландшафтов, различным уровням интенсификации производства и формам организации труда. При этом предусматривается возможность выбора вариантов из пакетов технологий.

Предложено рассматривать три категории технологий по уровню их интенсификации: экстенсивные (категория А), малоинтенсивные (категория Б), интенсивные (категория В). Из-за природного и хозяйственного разнообразия условий выбор технологических операций (и технологий) также достаточно многообразен.

Адаптация технологий в хозяйстве в зависимости от природных и производственных ресурсов проводится через базовые технологии, регистр технологических операций и пакет адаптивных технологий.

*Базовая агротехнология* – это совокупность взаимосвязанных технологических операций по возделыванию сельскохозяйственной культуры (с заданными количественными, качественными характеристиками, технико-экономическими и экологическими показателями), выполняемых в наиболее благоприятных агроэкологических условиях для данной культуры.

Базовая агротехнология состоит из следующих блоков:

- 1) осенняя (зяблевая) или паровая подготовка почвы;
- 2) зимние мелиорации;
- 3) подготовка семян к посеву;
- 4) весенняя подготовка почвы и посев;
- 5) уход за посевами;
- 6) уборка и складирование продукции.

Блоки состоят из одной или нескольких технологических операций, которые могут иметь различные варианты исполнения (технологические модули).

Адаптация базовых технологий к конкретным условиям осуществляется через модули блоков технологических операций.

*Технологический модуль* – это блок технологических операций, сформированный применительно к природным (агроландшафтный район, агроэкологическая группа земель) и производственным (культура, предшественник в севообороте, уровень интенсификации) условиям. Исходным материалом формирования технологических модулей служат регистры технологических операций и условия их применения.

*Регистр технологических операций* представляет перечень изученных и апробированных в производствен-

ных условиях приемов агротехники с указанием параметров и условий применения.

Даются также рекомендации по техническим средствам для выполнения операций. В основном это наиболее распространенные на практике машины и орудия, как правило, отечественного производства. Конечно, вместо них могут применяться аналоги, в том числе и более совершенные, и более производительные. Кстати, по производительности техники авторы рассматриваемой системы никаких ограничений не накладывают. Нет конкретных рекомендаций и по оптимальной (рациональной) продолжительности операций.

На основе базовых технологий и регистра технологических операций с условиями их применения разработан пакет адаптивных технологий, из которого формируются технологические решения для конкретных природных и производственных ситуаций.

Большое разнообразие вариантов технологических решений хотя и представляет определенные трудности в оптимальном их выборе (связанные, по нашему мнению, в основном с проблемой правильной идентификации реальных условий и соответствующих агроландшафтов), в то же время является хорошей основой для технологического проектирования в конкретных природно-хозяйственных условиях.

Более того, руководствуясь рекомендациями этой системы земледелия, фактически не обойтись без необходимости планирования и определенного документального фиксирования выбранных конкретных агротехнологий и технологических операций, к тому же с учетом наличия техники.

Таким образом, на основе технологических проектов можно реализовать все преимущества системного подхода, заложенные в основу адаптивно-ландшафтных систем зем-

леделия: адаптивность технологических воздействий, обеспечение устойчивости агроэкосистемы, охрана природы, рациональное использование техники, удобрений и других ресурсов [1, 17, 24 и др.].

### **6.2.2. Стратегия точного земледелия и особенности ее реализации**

Одним из самых современных направлений в земледелии является так называемое точное земледелие, которое является интегрированным процессом управления ростом растений в соответствии с их потребностями. Точное земледелие ещё называют земледелием по предписанию, точным сельским хозяйством, аккуратным сельским хозяйством. Такая технология, разумеется, стала возможной благодаря развитию информатики, систем связи и прогрессу в области автоматизации сельскохозяйственной техники [2, 20, 40, 42].

Машины, применяемые для точного земледелия, оснащены компьютерами, приемниками ГСП, бортовыми датчиками, автоматическими устройствами по учёту урожая. Стержнем всей технологии являются геоинформационные системы (ГИС), позволяющие снимать, накапливать и обрабатывать информацию, характеризующую посев или пашню.

Теория точного земледелия нацелена на исследование взаимосвязи основных факторов, определяющих продукционный процесс развития сельскохозяйственных растений, на моделирование этого процесса.

*Теория точного земледелия с этих позиций может рассматриваться как естественное развитие и усовершенствование теории программирования урожаев на новом этапе технического прогресса.* Новая ситуация в агрономической науке сформировалась благодаря появлению таких программно-аппаратных средств, как глобальная си-

стема определения координат со спутников – позиционирования (ГСП) и геоинформационных систем (ГИС), а также сельскохозяйственных машин с дифференцированием операций по ходу движения трактора или комбайна по полю. Главное же обстоятельство, обусловившее качественный скачок в информационном обеспечении агротехнологий, – это новые средства вычислительной и измерительной техники.

Работы по точному земледелию (ТЗ) за рубежом интенсивно развиваются с начала 90-х годов XX в. И если на первом этапе работ основное внимание уделялось конструированию машин и орудий, позволяющих дифференцированно осуществить технологический процесс, то в настоящее время центр тяжести исследований переместился в область математического, информационного и программного наполнения систем точного земледелия с целью наиболее эффективного использования средств химизации и других ресурсов. Уровень зарубежных разработок в области создания сельскохозяйственной техники существенно опережает соответствующие отечественные разработки. В то же время работы российских ученых по разработке компьютерных систем поддержки решений, включая методы моделирования, экспертные системы и их информационное обеспечение, опережают аналогичные зарубежные исследования и разработки. Это обусловлено тем, что в 70-80-х годах был выполнен комплекс работ по программированию урожаев сельскохозяйственных культур, что заложило основы современного подхода к точному земледелию [3, 5, 9, 21, 39, 40 и др.].

Главное при таком подходе – измерить, понять и использовать на практике факторы, влияющие на растения, такие как водно-физические и химические свойства почвы, ландшафт, семена, применяемая технология, сроки сева и уборки, болезни, вредители, сорняки, агроклиматические

условия и т.п. ТЗ позволяет обеспечивать усиленный контроль за проводимыми сельскохозяйственными операциями и отслеживать изменение ситуации во времени в каждой точке контура.

Практика показывает, что урожайность в пределах одного и того же поля варьирует, поэтому в этом вопросе так важна картография. Совмещая информацию местонахождения и мониторинга урожайности, можно оценить урожайность в конкретной точке поля. Обработанные данные позволяют составить карту урожайности для последующего анализа. Так, руководитель хозяйства может сравнить полученные карты и характеристики полей с картами урожайности и выявить причины их разницы на отдельных участках поля. Принятие решения будет основываться на информации, полученной с помощью ГСП и ГИС, традиционных источников, а также с учётом опыта практиков и консультантов. Зная карты урожайности, почвенные и другие карты, используя новейшие информационные технологии и автоматические исполнительные устройства рабочих органов машин, можно вносить по заданным программам соответствующие количества удобрений, извести, гербицидов и т.п. [42].

Каковы содержание и последовательность действий при реализации технологии ТЗ? Сначала получают данные по изменчивости величины урожая в пределах одного поля. Вот как это технически решено на примере уборки зерновых культур.

Зерноуборочный комбайн должен быть оборудован ГСП-приемником и датчиком учета потока зерна. При рабочем его движении по полю фиксируются одновременно координаты его положения (с точностью до нескольких метров) и количество зерна, поступающего в единицу времени – в итоге можно получить карту варьирования величины урожая на поле (в среде ГИС).



Затем важно установить причины колебаний урожая. Для этого проводят обследование почвы и анализ других данных с точной привязкой к карте урожая, с использованием также базы данных ГИС.

Далее определяют стратегию обработки поля на следующий год, какие удобрения вносить и как должно распределяться их количество внутри участка. Для этого используется специальное программное обеспечение на основе базы данных ГИС.

Весной следующего года полученную карту обработки загружают в ГИС бортового компьютера сельскохозяйственной машины, вносящей органические и минеральные удобрения. Прибыв на обрабатываемое поле, тракторист включает ГСП-приёмник для определения своего местоположения, а компьютер отдаёт команду на внесение того удобрения, которое запланировано в необходимом количестве, как только трактор достигнет требуемой точки на поле. Компьютерная система фиксирует движение трактора и может напомнить трактористу, какие участки поля остались необработанными.

Предполагается, что ГИС содержит все необходимые данные, например, содержание гумуса, фосфора, калия, уровень кислотности почвы, ее агрофизические характеристики. Компьютер, установленный на сельскохозяйственном агрегате, анализирует информацию ГИС и решает, какие удобрения в каком количестве вносить на тот или иной участок. Там, где, по данным ГИС, плодородие участка довольно высокое, норма внесения удобрений автоматически снижается, а там, где ожидается меньший урожай, доза удобрений увеличивается.

Техника для внесения ядохимикатов оборудована автоматической системой контроля сорной растительности, поэтому доза средств защиты растений при их внесении также автоматически изменяется.

Как уже было отмечено, одним из основных факторов и условий появления всей системы ТЗ стало создание глобальной системы позиционирования – ГСП (GPS – Global Positioning System).

Задача определения координат мобильной сельскохозяйственной техники является одной из главных в ТЗ. Это необходимо прежде всего для того, чтобы дифференцировать управление процессом в пределах поля (с учетом его неоднородности). Знание координат агрегата позволяет с помощью ГСП обеспечить также его автоматическое вождение.

На территории нашей страны действуют две спутниковые радионавигационные системы – американская NAVSTAR и российская ГЛОНАСС (глобальная навигационная спутниковая система). Они позволяют неограниченному числу любых объектов, имеющих соответствующую аппаратуру, в свободном доступе и практически мгновенно с высокой точностью определять свое местонахождение и скорость движения. Снабжение этой аппаратурой мобильной сельскохозяйственной техники дает возможность создавать и реализовывать агротехнологии, построенные на точной ориентации в пространстве.

При выборе технологических операций ориентируются на накопленные агрономической наукой знания по влиянию на управляемые факторы, определяющие величину урожая. Однако не всегда (и не везде) имеются работники достаточной квалификации. Поэтому успех освоения технологий ТЗ будет во многом зависеть от развития и доступности информационного обеспечения и компьютеризации управления технологическими процессами.

В странах, идущих впереди в деле освоения ТЗ (США, Германия, Англия, Канада, Япония), наряду с разработкой технических вопросов уделяют большое внимание консультационному и информационному обслужива-

нию фермеров (и других сельхозпроизводителей). В нашей стране также начинают создаваться соответствующие информационно-консультационные службы (ИКС).

Было бы неплохо закрепить за этими службами функцию оказания помощи в технологическом проектировании производства продукции и разработке соответствующих проектов (наряду, безусловно, с решением других задач).

### **6.3. Методологические основы и принципы разработки инженерных технологических проектов**

Важное место в наших исследованиях отводилось разработке и внедрению технологической документации, направленной на практическую реализацию идей системного подхода по достижению главных целей проектирования ТСМПР: повышение продуктивности растениеводства, рациональное использование материальных и трудовых ресурсов.

Разработанная документация была ориентирована на первичное производственное подразделение и технологический комплекс машин. Она получила название инженерного технологического проекта.

Следует пояснить мотивы такого названия. Альтернативным вариантом было название «Организационно-технологический проект...» или просто «Проект технологии и организации использования техники...». Так были названы, в частности, методические рекомендации по разработке инженерных технологических проектов.

И все-таки термин «инженерный» в нашем варианте названия мы решили сохранить. Во-первых, мы этим подчеркиваем связь такого проектирования с термином «инжиниринг», которым обозначается своеобразный подход к

управлению. Этот термин в то время только стал появляться в литературе по менеджменту.

«Инжиниринг» как концепция управления – такой способ мышления, когда проблема (в данном случае технологическое проектирование системы, процесса или производства) рассматривается как вид инженерной деятельности, которую можно построить, спроектировать, перепроектировать (т.е. организовать) в соответствии с инженерными принципами.

Термин «агроинжиниринг» становится в достаточной мере употребляемым в научно-технической литературе. Получается, что мы в некоторой степени предвосхитили развитие такой терминологии.

А во-вторых, нам хотелось подчеркнуть, что такой проект в равной мере относится к проектированию как агротехнологии, так и машиноиспользования. С точки зрения направления и содержания исследований автора, а также данного обобщения результатов, это также важно акцентировать, так как основное внимание уделяется системному подходу применительно к машиноиспользованию.

В основу разработки и реализации проектов были положены следующие принципы и начальные условия.

- Прежде всего, принцип соблюдения единства технологического проектирования производства продукции с проектированием технологических систем для отдельных механизированных процессов. Ранее (п. 6.1) это уже было обосновано.

- Важным условием является то, чтобы технологическая документация была доступной (т.е. достаточно простой) для ее реализации в производственных условиях. Желательно также, чтобы она могла стать основой для разработок технологии на уровне стандартов предприятия.

Известно, что стандарт предприятия (СП) как нормативный документ, предусмотренный государственной

системой стандартизации, является обязательным для исполнения в пределах данного предприятия. Внедрение СП в различных отраслях народного хозяйства, а также опыт этой работы в сельскохозяйственном производстве [7, 36] говорят о том, что СП позволяет решать многие важные задачи. СП рассматривается как средство организационно-методического обеспечения и как важнейшая основа для создания комплексной системы управления качеством производства сельскохозяйственной продукции [7, 12, 33, 36].

- Необходимо было предусмотреть решение двух основных взаимоувязанных задач проектирования процессов и технологических систем:

- повышение урожайности сельскохозяйственных культур;

- улучшение использования имеющихся материально-технических и трудовых ресурсов.

Решение первой задачи должно базироваться на основе применения технологии, учитывающей как достижения науки и передового опыта, так и особенности каждого конкретного поля, максимально используя его плодородие.

Предпосылки для решения второй задачи обусловлены своевременным и рациональным планированием использования наличных ресурсов: техники, удобрений, рабочей силы и т.д.

- Таким образом, в инженерных технологических проектах для первичного производственного подразделения надо свести в единую систему необходимые характеристики поля, обеспеченность хозяйства техникой, удобрениями, другими ресурсами и увязать все это с прогрессивной технологией возделывания культуры, с рациональными формами и методами машиноиспользования. Другими словами, проекты должны служить реальным подтверждением и проявлением системного подхода [34].

В качестве основных требований к проектированию и необходимых условий, обеспечивающих решение указанных задач, были приняты следующие:

- проектирование технологии возделывания сельскохозяйственных культур должно осуществляться применительно к каждому полю севооборота, т.е. должен быть соблюден принцип: *каждому полю – свою технологию*, а хозяйственный уровень применения технологической документации – это первичное производственное подразделение (на основе которого и создается ТСМПР);
- проектирование должно осуществляться по основным рабочим периодам. В частности, выделено два таких периода: весенний сев и уход за посевами, а также уборка урожая и основная обработка почвы;
- по составу (содержанию) документация должна быть достаточно полной, т.е. предусматривать все материалы, необходимые для осуществления технологии и организации производства в подразделении. Одновременно она должна быть простой для исполнителей, осуществляющих ее разработку и использование.

Изложим некоторые соображения в подтверждение обоснованности принятых исходных предпосылок, принципов и требований.

1. Действительно, технологические приемы должны назначаться с учетом особенностей каждого конкретного поля. Повышение культуры земледелия и его продуктивности непосредственно опираются на этот принцип, о чем свидетельствуют наука и передовая практика [6, 20, 23 и др.].

Конечно, в хозяйствах всегда стараются учесть особенности отдельных полей. Однако это осуществляется не в рамках какой-то определенной системы и правил, а в значительной мере складывается стихийно. Проектирование позволяет избежать стихийности, поднять уровень агрономической и инженерно-технической работы хозяйства.

Возьмем ряд полей, имеющих сходные характеристики и засеваемых яровой пшеницей. Допустим, что все поля по 4-балльной шкале имеют одинаковую засоренность – 3 балла. Но на одном поле преобладают корнеотпрысковые сорняки, на втором – овсюг, на третьем – поздние яровые, на четвертом – смешанный тип. В связи с разными типами засоренности неизбежно возникают различия в провокации сорняков, сроках, видах и приемах предпосевной обработки, а также и в посевах.

Возьмем другой показатель – весенний запас в почве продуктивной влаги. По разным причинам (рельеф, предшественник, технология обработки почвы, срок основной обработки и т.д.) запасы влаги весной на отдельных полях различные. Это должно быть учтено при определении комплекса предпосевной обработки почвы, дозы минеральных удобрений, срока, способа и нормы посева.

Для достижения успеха необходимо, чтобы технологические решения вытекали из характеристик поля, его особенностей и полностью им соответствовали.

Как следует из вышеизложенной стратегии точного земледелия, даже в пределах поля существует изменчивость почвенных и других условий, которую также желательно учитывать. Однако это будет возможно в основном путем создания автоматизированных систем управления рабочими органами машин и применения ГИС с соответствующими параметрами нужных характеристик поля.

Так, В.П. Якушев отмечает [40, 41], что перечень непосредственно измеряемых в системе «почва – растение – атмосфера» нормативных параметров включает свыше 40 наименований. Эти параметры разделены на 5 групп, характеризующих почву, состояние поверхности поля, приземный слой воздуха, состояние посева и полученную продукцию.

Пока технологические проекты были ориентированы на зональные системы земледелия с элементами програм-

мирования урожая. Принятая концепция проектов соответствует и адаптивно-ландшафтным системам земледелия.

2. За основу при технологическом проектировании принят рабочий период. Это сделано с той целью, чтобы теснее и эффективнее увязать проектирование технологии и организации работ (т.е. объединить элементы технологического и рабочего планирования).

Выбор правильного временного интервала для планов (а технологический проект – это своеобразный план) довольно сложен. В предлагаемом решении находит отражение «принцип завершенности», т.е. по окончании рабочего периода уже можно оценить (пусть не всегда окончательно) принимаемые в соответствии с технологической документацией хозяйственные решения. С другой стороны сохраняется возможность своевременно внести в проекты необходимые коррективы при изменении внешних условий. Технологические системы производственных процессов проектируются тоже, как правило, на рабочий период. Хотя мы считаем, что в общем случае период «жизни» ТСМПР не обязательно должен точно совпадать с длительностью рабочего периода. Наиболее напряженные рабочие периоды – сев и уборка – также требуют, и с точки зрения организации работ, обособленного их рассмотрения.

Наиболее важным является оперативное рабочее планирование. Поэтому учет факторов, влияющих на работу техники, крайне необходим. Проекты позволяют увязать технологию с имеющейся техникой, организационными формами ее использования и обслуживания.

3. Технологическая документация ориентирована в основном на первичное производственное подразделение, где она больше всего нужна. Именно здесь закладываются основы урожая и эффективного использования ресурсов [14]. Наиболее полно и обоснованно спланировать рациональное использование ресурсов необходимо, прежде всего,



на уровне производственного подразделения и отдельной ТСМПР.

Особенно четко это проявляется на примере использования техники: необходимо иметь обоснованный, увязанный с технологией и обеспеченностью ресурсами план работ технологических комплексов машин.

Технологические проекты не должны быть полностью в отрыве от существующей документации. Вместе с тем, они представляют собой качественно новый этап технологического проектирования в растениеводстве. Например, многолетний опыт показал, что широко применяемые технологические карты, определяя в принципе технологию и являясь важным инструментом для планирования производства, не представляют собой конкретного рабочего технологического документа. Они не предусматривают дифференцированный подход к выбору технологии на конкретном поле, так как не содержат необходимой информации. Они также не связаны с планами организации производства в подразделении на рабочий период, не отражают требований и особенностей современных форм машиноиспользования и др.

4. Анализируя место и роль инженерных технологических проектов, отметим, что основная отличительная особенность рассматриваемого метода технологического проектирования состоит в том, что он предполагает увязать типовые рекомендации по адаптивно-ландшафтным и зональным системам земледелия, по организации использования техники и технологиям возделывания сельскохозяйственных культур с конкретными условиями данного подразделения. Другими словами, в технологическом проекте осуществляется своеобразная «привязка» типовых технологий и различных общих рекомендаций к конкретным условиям производства.

Таким образом, инженерный технологический проект – это документ оперативно-тактического характера, своеобразный инструмент, который в плановом порядке дает возможность внедрять в хозяйствах прогрессивную технологию и организацию производства, учитывает имеющиеся ресурсы и создает основы для рационального их использования.

Инженерный технологический проект является своеобразным планом на рабочий период и выполняет не только технологическую роль, но представляет собой документ, имеющий большое организационное значение.

#### **6.4. Состав и содержание технологической документации**

Разработанная документация по проектированию технологии и организации использования машинно-тракторного парка на полевых работах в растениеводстве включает в себя на каждый рабочий период следующие документы:

- агротехнологический комплекс;
- сводный план механизированных работ по производственному подразделению;
- состав технологического комплекса машин и средств его обслуживания;
- график согласования операций и использования техники при поточной организации работ;
- расчет технологической готовности производства по обеспеченности материально-техническими и трудовыми ресурсами.

Все эти документы предназначены для планирования и обеспечения производства продукции растениеводства в первичном производственном подразделении (бригаде, отделении, звене и т.п.) и составляются на период сельскохозяйственных работ.

Содержание названных документов и методика их составления довольно подробно рассмотрены в опубликованных нами методических рекомендациях и статьях [22, 24, 25]. Ниже приводится только краткая их характеристика с тем, чтобы дать общее представление о содержании и процессе разработки инженерных технологических проектов в целом.

Основным документом в названном выше перечне является «Агротехнологический комплекс», который разрабатывается для всех полей севооборота, закрепленного за производственным подразделением. Здесь на основе необходимой информации о конкретном поле севооборота определяется прогрессивная технология возделывания сельскохозяйственных культур. При этом предусматривается всесторонне учитывать состояние каждого поля, биологические особенности культур и складывающиеся погодные условия.

Агротехнологии содержат прежде всего необходимые характеристики каждого поля: размеры, мощность гумусного горизонта, предшественники, данные по основной обработке почвы, внесение удобрений, состояние засоренности, подверженность водной или ветровой эрозии и др.

Располагая такими сведениями, а также учитывая биологические и другие особенности культуры, которая в текущем году будет занимать поле, представляется возможным наиболее точно определить и внести в проект виды и количество технологических операций, сроки выполнения, определить машины и орудия для их осуществления. Здесь имеется также раздел по программированию урожая.

Таким образом, эта технологическая часть проекта позволяет при определении технологии осуществить индивидуальный подход к каждому полю под девизом «каждому полю – свою технологию» [23].

По такому же принципу определяется технология уборочных работ, а также комплекс основной обработки почвы. Здесь индивидуальность полей дополнительно определяется состоянием посевов, сроками созревания культур и другими характеристиками. В приложении 1 приведена примерная форма агротехнологического комплекса проекта на период уборки урожая (для зерновых культур).

Инженерный технологический проект на предстоящий рабочий период разрабатывается заблаговременно, совместно агрономической и инженерной службой хозяйства. Это, безусловно, наиболее сложный и ответственный этап проектирования. Именно здесь на основе имеющейся, и как правило, недостаточно полной информации необходимо выбрать наиболее рациональные агротехнические приемы, нормы внесения удобрений или средств защиты растений и другие параметры и режимы выполнения процессов.

Конечно, на этом этапе более всего необходима помощь информационно-консультационных служб, а также рекомендации научных работников. Такую помощь и оказывала наша творческая группа при реализации проектирования в хозяйствах. Однако основное исполнение остается за специалистами хозяйства.

Технологическое проектирование в рассматриваемом варианте осуществляется с учетом наличия техники. Здесь нужна совместная работа агронома и инженера, т.к. в конкретных хозяйственных условиях имеющаяся техника должна помочь определить и наиболее подходящую технологию. Одновременно создаются более благоприятные условия для повышения эффективности использования техники.

По результатам проектирования агротехнологии составляется сводный план (виды и объемы) механизирован-

ных работ по производственному подразделению на рабочий период. Далее с учетом наличия техники определяют состав технологического комплекса и средства его обслуживания. Эти данные (они представлены специальными таблицами) увязывают технологию и организацию работы. Рекомендуемая форма приводится в табл. 6.1-6.3. При необходимости даются соответствующие пояснения.

Таблица 6.1. Виды и объемы механизированных работ  
(примерная форма)

№ п/п	Вид работы (технологические операции)	Состав агрегата	Объем работы, га, т	Календар- ный срок, даты	Число рабо- чих дней	Дневной темп ра- боты, га, т
1	2	3	4	5	6	7

Таблица 6.2. Состав технологического комплекса машин  
(примерная форма)

№ п/п	Выполняемая работа	Состав агрегата		Механизатор (водитель)	Производительность		Число рабочих дней	Наработка за период, га, т
		трактор (автомашина)	сельхозмаши- на		сменная, га, т	дневная га, т		
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблица 6.3. Средства обслуживания технологического комплекса машин (примерная форма)

№ п/п	Вид обслуживания	Технические средства	Должность и фамилия исполнителя
1	2	3	4

Главное требование, предъявляемое к технологическому комплексу, – это обеспечение заданной технологии: выполнение планового объема работ в установленные сроки, а также возможность поточной организации производства.

Окончательная взаимоувязка технологии, сроков работ и состава комплекса осуществляется в процессе разработки графика согласования операций и использования техники. При этом возможны соответствующие коррективы.

График согласования работы машинно-тракторного парка – это, по существу, наглядно представленный рабочий план на предстоящий период, отражающий технологические процессы, выполняемые на конкретных полях. На графике изображается длительность выполнения отдельных (в том числе и взаимосвязанных) операций. При этом производительность основных технологических агрегатов (например, посевных или уборочных) согласуется с производительностью (темпом работ) агрегатов на других операциях (предшествующих или последующих). Уточняются сроки их работы и маршрут передвижения технологического комплекса (или отдельных агрегатов) по полям.

Такой подход к планированию на рабочий период является особенно необходимым и целесообразным при поточно-цикловом методе использования техники и организации работ.

Заключительным этапом проектирования является определение технологической готовности производства по

обеспеченности материально-техническими и трудовыми ресурсами (табл. 6.4).

Таблица 6.4. Обеспеченность материально-техническими и трудовыми ресурсами (примерная форма сведений)

№ п/п	Виды ресурсов	Единица измерения	Требуется по технологическим расчетам	Имеется в наличии	Будет привлечено (источники)	Примечания
1	2	3	4	5	6	7

При этом по каждому виду ресурсов (семена, удобрения, техника, нефтепродукты, кадры механизаторов и др.) должна быть определена потребность в них. А затем на основе сравнения с фактической обеспеченностью должны быть определены источники покрытия дефицита ресурсов (или перераспределены лишние ресурсы). При недостаточной обеспеченности ресурсами необходимо скорректировать расчеты и другую документацию оптимальным для данных условий образом.

Ограничим описание содержания документации изложенным, учитывая прикладной ее характер и простоту, а также то обстоятельство, что это изложено и опубликовано в методических рекомендациях [24]. Подчеркнем еще раз, что рекомендуемая документация не является каким-либо «высоким» продуктом научного характера, а предназначена для широкого производственного применения. В связи с этим ее *простота и доступность рассматриваются нами как определенное достоинство.*

Считаем целесообразным дополнительно остановиться только на двух моментах.

1. В проектах предусмотрено ведение учета фактически выполняемых технологических приемов, сроков и

некоторых условий выполнения работ. Это сделано с той целью, чтобы проекты стали важным источником необходимой информации для последующих периодов времени. И если на начальном этапе практического внедрения будет испытываться недостаток информации, то затем эта информация будет постоянно накапливаться.

В этой части работа по технологическому проектированию хорошо стыкуется с работами научных учреждений по созданию агромониторинга, который, в частности, предусматривает создание картотеки сельскохозяйственных полей. Источником информации при создании такой картотеки, особенно для блока фактической агротехники, могут стать инженерные технологические проекты. С другой стороны, в условиях широкого внедрения системы агромониторинга и на ее основе создаются наиболее благоприятные условия для проектирования производства в целом, в том числе для разработки инженерных технологических проектов.

2. Второй момент – это некоторые особенности построения графика согласования работы агрегатов технологического комплекса.

Давно известны так называемые графики машиноиспользования, которые хорошо и многократно описаны в научно-производственной и учебной литературе. Эти графики служат в основном для определения потребности в технике и разрабатываются, как правило, на календарный год в рамках хозяйства (или отдельного подразделения).

Разновидностью графика машиноиспользования является линейный график, где каждая работа представлена линией, соответствующей длительности выполнения работы, а над линией (или под ней) указывают шифр и объем работ, а также нужное количество тракторов (или других машин). Такой график применяется также в основном для определения потребности в технике [8].



Предлагаемый график согласования работы агрегатов технологического комплекса имеет определенное сходство с названными формами графиков. Однако он имеет существенные отличия.

Данный график – это план работы техники конкретного технологического комплекса, с указанием отдельных сельскохозяйственных полей и маршрута перемещения по ним в процессе выполнения производственного задания. Рассмотрим кратко последовательность его составления.

1. Шифруются виды работ, культуры, поля севооборотов, используемая техника.

2. Строится шкала календарного времени планируемого периода работ (в днях).

3. В соответствии с технологическими проектами и с учетом расположения полей намечается последовательность их обработки для каждой операции, которые на графике изображаются прямоугольником с указанием шифра поля, его площади, культуры. Особое внимание при этом обращается на расположение полей, с тем, чтобы максимально уменьшить холостые переезды агрегатов. В случае, когда отдельные агрегаты участвуют в выполнении одной и той же операции по нескольким культурам, должно быть сделано соответствующее примечание.

4. Для каждого периода и технологического комплекса график представляет собой также и маршрут перемещения по полям, т.к. показана очередность обработки полей. За основу здесь принимается расчетный темп работ и площади полей. Для каждого комплекса лучше делать отдельный график.

При построении графика выявляются все недостаточно согласованные (увязанные по срокам и производительности агрегатов) работы, которые могут иметь место при составлении агротехнологических проектов. Таким образом, график служит эффективным средством корректи-

ровки проектов с точки зрения обеспечения поточности работ. Он также представляет собой наглядный план работы агрегатов на предстоящий период.

### **6.5. Экспериментально-производственная проверка эффективности проектирования процессов и систем на основе разработки инженерных технологических проектов**

Проверка возможности и эффективности применения изложенных методов проектирования агротехнологии и организации использования техники осуществлялась в ходе производственного эксперимента сначала на базе двух совхозов Новосибирской области: «Алеусский» Ордынского района и «Шурыгинский» Черепановского района.

Работа выполнялась по заказу областного производственного управления сельского хозяйства под нашим общим организационным и методическим руководством (в ней принимали участие сотрудники кафедр земледелия, растениеводства, эксплуатации МТП Новосибирского СХИ – доценты Я.П. Орищенко, А.И. Капинос, А.В. Пискарев, М.Н. Разумов, В.А. Никитин, аспирант Ю.Н. Дементьев). Сначала проходил поиск наиболее приемлемых форм документации, лучших технологических приемов, вариантов распределения техники по подразделениям и решения многих других вопросов научно-технического и производственного характера.

В этот период в основном было сформулировано содержание и отработана форма технологической документации. В последующие годы документация по проектированию была несколько усовершенствована.

Целесообразность и эффективность проектирования процессов производства в растениеводстве на основе специальных проектов была в первый же год отмечена специ-

алистами и руководством данных хозяйств и районов. С учетом этой заинтересованности и поддержки на следующий год был проведен более крупный научно-производственный эксперимент по изучению эффективности проектирования. Его объем и результаты показаны в табл. 6.5.

Таблица 6.5. Экспериментальная проверка эффективности внедрения инженерных технологических проектов

Показатели	Совхоз	
	«Шурыгинский»	«Алеусский»
Общая площадь пашни, га	17 500	10 300
Проекты разработаны и внедрены на площади, га	13 200	6 200
Охвачено проектированием:		
отделений хозяйства	5	2
севооборотов	9	2
полей	40	11
Прибавка урожайности зерновых по сравнению с контролем, ц/га	+ 4,5	+ 5,7

Эффективность проектирования проявилась и оценивалась главным образом через повышение урожайности. Такой способ определения эффективности по изменению результата наиболее приемлем с позиций практической ценности предлагаемых разработок. Да и в методологическом плане такой подход является более обоснованным, когда речь идет об оценке комплекса мероприятий, связанных со всем периодом получения сельскохозяйственной продукции.

В целом эксперимент носил научно-производственный характер, т.к. с его осуществлением были связаны руководители и специалисты хозяйств и подразделений, а также непосредственно механизаторы.

В табл. 6.6 показана урожайность яровых зерновых культур по тем подразделениям хозяйств и севооборотам,

Таблица 6.6. Урожайность яровых зерновых культур  
в условиях наиболее полного соблюдения мероприятий  
и факторов технологического проектирования

Отделение совхоза, севооборот	Номер поля	Площадь поля, га	Урожай- ность, ц/га
Совхоз «Алеусский» (средняя урожайность яровых зерновых культур по хозяйству 16,0 ц/га)			
Отделение № 1			
полевой севооборот	3	343	22,0
кормовой севооборот	3	340	20,1
	4	340	24,3
Отделение № 2			
севооборот - 1	1	239	21,0
	5	240	18,8
севооборот - 2	1	343	30,6
	2	370	25,3
севооборот - 3	4	220	18,2
	5	117	19,8
Совхоз «Шурыгинский» (средняя урожайность яровых зерновых культур по хозяйству – 16,3 ц/га)			
Отделение № 2			
полевой севооборот	2	297	20,5
	3	215	24,1
Отделение № 3			
полевой севооборот	1	220	19,2
	6	305	17,0
	7	226	17,7
Отделение № 5			
полевой севооборот	1	240	21,4
	3	265	22,0
кормовой севооборот	4	294	24,0

где удалось в большей мере осуществить намеченные мероприятия по технологии и повышению эффективности использования техники.

Повышение урожайности и улучшение других производственных показателей в целом базируется на многих

элементах, проявляющих свое положительное действие при внедрении инженерных технологических проектов. Это наиболее соответствующие данным полям технологические приемы, выполнение их в лучшие и сжатые сроки за счет правильного комплектования технологических комплексов и поточной организации ведения работ, разработки рациональных маршрутов перемещения техники по полям хозяйства, соответствующего обеспечения работы комплексов, правильного формирования, организации и оплаты труда членов первичного трудового коллектива.

Анализ использования машинно-тракторного парка, выполненный по материалам первичного и статистического учета, показал, что уровень использования техники существенно повысился.

За счет повышения дневной выработки (этот показатель увеличился на 10-20 %) сократились сроки проведения основных полевых работ. Без увеличения количества техники стал выполняться в целом больший объем работ и в более сжатые агротехнические сроки, что явилось одной из основных причин повышения урожайности культур.

Необычайно жестокая засуха третьего года экспериментов не позволила реализовать повысившийся потенциал плодородия полей и возросший уровень использования техники при организации производства продукции. В этих условиях технологическое проектирование позволило только несколько сгладить влияние крайне неблагоприятных погодных условий. Урожайность при проектировании и выполнении намеченных мероприятий по зерновым культурам была на 1,0-1,84 ц/га выше по сравнению с соседними хозяйствами, где проектирование не осуществлялось.

Внедрение и экспериментальная проверка инженерных технологических проектов продолжались в существенно больших масштабах и в последующие годы. Проекты стали неотъемлемой частью производства в назван-

ных выше совхозах. Кроме того, по инициативе руководства Черепановского и Ордынского районов были проведены необходимые семинары со специалистами хозяйств, были изданы типографским способом документация и методика разработки проектов. Эксперимент расширился и принял формы внедрения данной разработки в сельскохозяйственное производство, при котором мы оказывали консультационную помощь.

Почти одновременно в течение 4 лет технологическое проектирование изучалось и внедрялось в совхозе «Сокурский» Мошковского района применительно к работе безнарядного звена по производству кормов. Результаты этого многолетнего опыта также весьма положительны [29].

В результате проектирования использования техники по рабочим периодам в кормовом севообороте для безнарядного звена по кормопроизводству совхоза «Сокурский» Мошковского РАПО удалось:

- дифференцировать по каждому полю комплексы предпосевной обработки почвы, посевной и послепосевной обработки почвы, сроки сева, нормы высева, глубину посева семян и другие параметры технологий с тем, чтобы они наиболее полно соответствовали исходным характеристикам поля и качеству выращиваемых кормов;

- внедрить комплекс прогрессивных мероприятий и приемов: поточную технологию на весеннем севе кормовых культур, выравнивание и планировку почвы;

- усовершенствовать систему основной и предпосевной обработки почвы, отказаться от дискового лушения как приема предпосевной обработки почвы и повсеместно внедрить культивацию в комбинированном варианте – с выравниванием, планировкой, уплотнением почвы и вычесыванием сорняков за один проход агрегата;

– внедрить маршруты движения комплексов, уменьшить излишние холостые перегоны техники, увеличить производительность агрегатов на 15-20%, снизить расход топливосмазочных материалов до 10%, сократить сроки проведения работ;

– выявить преимущества метода проектирования как основного и эффективного в организации освоения передовых технологий и рационального использования техники в первичных безнарядных подразделениях по заготовке кормов, а также в связи с управлением производством качественных кормов.

Урожайность зерновых культур по совхозу стала на 2,5 ц/га выше среднерайонной, а кукурузы – на 30 ц/га.

#### **6.6. Обсуждение и пропаганда предложенного метода проектирования технологических процессов и систем**

Подтвержденная научно-производственными экспериментами эффективность применения инженерных технологических проектов, положительная их оценка специалистами производства послужили основанием для более широкой пропаганды предлагаемого подхода к технологическому проектированию производства продукции растениеводства и рационального использования техники.

Результаты работы по технологическому проектированию были рассмотрены и одобрены на научно-техническом совете Новосибирского областного производственного управления сельского хозяйства. Они получили широкое освещение через систему семинаров и совещаний со специалистами в районах, в ходе обучения руководителей и специалистов на факультете повышения квалификации, а также на занятиях со студентами Новосибирского сельскохозяйственного института.

Были подготовлены и изданы достаточным тиражом специальные методические рекомендации по проектированию, а также формы проектов. Эта литература вручалась участникам совещаний и семинаров, популярность методики и формы инженерных технологических проектов росла [24].

Через научные конференции и публикацию в трудах института и тематических сборниках методика проектирования стала достоянием научной общественности и производственников. Хотя авторы понимали, что главное достоинство и возможность применения предложенного метода – в организационно-хозяйственной сфере деятельности предприятий [22, 23, 25, 27-29 и др.].

По инициативе академика В.А. Кубышева, который весьма заинтересовался этой работой и ознакомился с ее результатами, предлагаемый подход к технологическому проектированию был автором этой монографии доложен на заседании Отделения механизации и электрификации сельского хозяйства ВАСХНИЛ. В ходе рассмотрения этого вопроса, где принимали участие авторитетные ученые (академики В.А. Кубышев, Л.Г. Прищеп, А.Н. Карпенко, М.В. Сабликов, доктор технических наук Ю.К. Киртбая и др.), ответственные представители Министерства сельского хозяйства и производственники, работа получила принципиальную поддержку и одобрение. В частности, было подчеркнуто, что уровень технологического проектирования и обеспечения сельскохозяйственного производства требует повышения, а технологические документы должны доводиться до уровня стандартов (отраслевых, стандартов предприятия).

Этот факт послужил хорошей моральной поддержкой.

В те же годы Министерство сельского хозяйства СССР наметило и утвердило большую программу работ, где разработка инженерных технологических проектов



рассматривалась в качестве одной из основных задач. Это, в частности, научно-техническое задание 0.сх.32 «Разработать теоретические основы, методы и *инженерные технологические проекты* программирования урожаев сельскохозяйственных культур». В этой программе Новосибирский СХИ был определен в качестве соисполнителя (головная организация – АФИ).

Однако финансирования на развертывание работ наш институт не получил, хотя исследования по этому направлению и внедрение технологических проектов некоторое время продолжались на основе договоров с хозяйствами.

Как показал последующий период, разработка технологических проектов хотя и не стала массовым правилом, но уже вышла за рамки частных экспериментов. Новый импульс этому направлению дали работы по созданию и обеспечению так называемых коллективов интенсивного (или высокопроизводительного) труда, которые осуществлялись в СО ВАСХНИЛ под руководством академика Н.В. Краснощекова [13-15, 31 и др.]

В последующие годы (с началом аграрной реформы и «перестройки»), когда большинство сельскохозяйственных предприятий и научных учреждений не развивались, а «выживали», технологическое проектирование, как и многие другие полезные разработки, отодвинулись на задний план.

Однако сейчас во всех отношениях наступили иные времена. Далеко шагнули земледельческие науки и развитие техники. Как следует из краткого обзора (п. 6.2), проектирование процессов становится не только возможным, но и жизненно необходимым. Только полная автоматизация управления техникой на основе ГИС технологий может избавить от необходимости разработки технологических планов, но это время, очевидно, наступит еще не скоро. А на всем пути до достижения этого уровня нужны будут

технологические проекты. Конечно, все должно быть усовершенствовано, главными в руках специалистов должны стать компьютерные программы (и компьютеры) для выполнения всей рутинной бумажной работы и хранения информации.

Ближе всего (в экономическом отношении) к этому рубежу подошли высокопродуктивные и развитые хозяйства, ряд ООО, имеющих надежных инвесторов, отдельные (особо продвинутые) фермерские хозяйства, уже внедряющие элементы технологий точного земледелия. Однако эта проблема не только экономическая, но и во многом психологическая. Ведь в любых условиях должны приниматься рациональные организационно-технологические решения, которые наиболее правильно можно обосновать на основе разработки технологической документации, в частности, инженерных технологических проектов.

А с точки зрения нашего обобщения в данной монографии проекты являются действительно хорошим инструментом и одним из условий успешной реализации идей и принципов системного подхода к проектированию процессов, организации и обеспечению необходимого уровня надежности технологических систем машиноиспользования в растениеводстве.

## **6.7. Заключение**

В заключении к настоящей главе хочется высказать некоторые комментарии, не совсем научного характера, а, как говорят, «о наболевшем».

С одной стороны, целесообразность технологического проектирования в сельскохозяйственном производстве очевидна. Это необходимо и целесообразно с любой точки зрения: для внедрения современных стратегий и прогрессивных технологий, для обеспечения рациональных

методов эффективного управления производством и достижения необходимого качества, повышения эффективности использования техники и других имеющихся ресурсов и т.д. Никакая другая отрасль без технологической документации не сможет выпускать продукцию и просто функционировать.

А с другой стороны, почему все-таки не приживаются аналогичные «инновации»? Все соглашаются, что это полезно и нужно. Противопоказаний для этого практически нет. Конечно, необходимо затратить некоторое время, нужны желание и соответствующая квалификация, чтобы все спланировать. А для успешной реализации, конечно, потребуются дополнительные финансовые и другие ресурсы. Не везде и не у всех это есть. Но у многих-то есть!

Прежде всего нужна целенаправленная и активная (наступательная) научно-технологическая политика и на уровне Министерства сельского хозяйства, и на региональном уровне. И необходимо хотя бы организационное содействие, если уж нет возможности оказать финансовую поддержку (взять хотя бы организацию той же информационно-консультационной службы).

Обидно будет, если, например, та же хорошо обоснованная адаптивно-ландшафтная система земледелия годами не будет воплощаться в технологические документы хотя бы на уровне хозяйства (не говоря уже о каждом поле).

Есть твердое убеждение в том, что без проектирования производства продукции, без разработки технологических проектов (не обязательно в предложенном, а в любом другом рациональном варианте) достигнуть должного прогресса и значительного повышения эффективности производства просто невозможно.

Применение изложенного и достаточно хорошо апробированного метода технологического проектирова-

ния производства продукции и машиноиспользования является, на наш взгляд, крайне необходимой мерой повышения результативности и эффективности труда в растениеводстве.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Адаптивно-ландшафтные системы* земледелия Новосибирской области / В.И. Кирюшин, А.Н. Власенко, В.К. Каличкин и др.; под ред. В.И. Кирюшина, А.Н. Власенко; РАСХН. Сиб. отд-ние. СибНИИЗХим. – Новосибирск, 2002 – 388 с.
2. *Альт В.В.* Точные технологии в растениеводстве Сибири // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2009. – № 1. – С. 9-22.
3. *Бондаренко Н.Ф.* Имитационные модели и методы принятия решений при программировании урожаев / Н.Ф. Бондаренко, Р.А. Полуэктов, В.П. Якушев // Доклады ВАСХНИЛ. – 1986. – № 2.
4. *Бойцов В.В.* Научные основы комплексной стандартизации технологической подготовки производства. – М.: Машиностроение, 1982. – 319 с.
5. *Бондаренко Н.Ф.* Автоматизированная система агрометеорологической информации для программирования урожая / Н.Ф. Бондаренко, Е.Е. Жуковский, И.Г. Мушкин // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1979. – № 10. – С. 37-40.
6. *Буденный Ю.В.* и др. Агротехнологическая карточка поля и операционная технология. – Харьков: Прапор, 1986. – 97 с.
7. *Государственная система стандартизации.* – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 312 с.
8. *Гунер Л.И.* План-график поточной работы уборочно-транспортного комплекса // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 1979. – № 2. – С. 68-75.

9. Жуковский Е.Е. Агромониторинг и принципы его реализации / Е.Е. Жуковский, С.В. Нерпин, Р.А. Полуэктов // Теоретические основы и количественные методы программирования урожаев: тр. АФИ. – Л., 1979. – С. 3-13.
10. Зональные системы земледелия Новосибирской области. – Новосибирск, 1982 – 456 с.
11. Зональная система земледелия Томской области. – Новосибирск, 1982. – 308 с.
12. Комаров Б.А. Комплексный метод управления качеством работ в растениеводстве. – М.: Экономика, 1982. – 208 с.
13. Краснощеков Н.В. Совершенствование организационных и экономических принципов интенсификации сельскохозяйственного производства // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 1986. – № 1. – С. 81-86.
14. Краснощеков Н.В. Модель зернового хозяйства // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 1986. – № 2. – С. 90-97.
15. Краснощеков Н.В. Руководство по организации и деятельности коллективов интенсивного труда: рекомендации / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1987. – 74 с.
16. Мальцев Т.С. О земле-кормилице. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 287 с.
17. Методическое пособие и нормативные материалы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия – Курск; Тверь: Чудо, 2001.
18. Методика технологического проектирования процесса уборки зерновых культур: метод. рекомендации. – Новосибирск, 1979. – 77 с.
19. Методическое пособие по составлению долгосрочного прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур по основным экономическим районам. – М.: Гидрометеоздат. Моск. отд-ние, 1982. – 28 с.

20. Михайленко И.М. Управление системами точного земледелия. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. – 234 с.
21. Моделирование продуктивности агроэкосистем. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 264 с.
22. Обоснование и разработка технологического проекта возделывания сельскохозяйственных культур / Я.П. Орищенко, М.Н. Разумов, А.В. Пискарев и др. // Совершенствование с.-х. техники для работы в условиях Сибири: науч. тр. Т. 132. – Новосибирск, 1980. – С. 134-136.
23. Орищенко Я.П. Каждому полю – свою технологию / Я.П. Орищенко, А.И. Капинос, А.В. Пискарев, М.Н. Разумов // Земля сиб., дальневост. – 1982. – № 10. – С. 11-12.
24. Орищенко Я.П. Проектирование технологии и организации использования техники при производстве продукции растениеводства: метод. рекомендации по разработке инженерных технологических проектов / Я.П. Орищенко, А.В. Пискарев, М.Н. Разумов и др. – Новосибирск, 1982. – 80 с.
25. Орищенко Я.П. Этапы развития в планировании технологии выращивания полевых культур / Я.П. Орищенко, А.И. Капинос, А.В. Пискарев, М.Н. Разумов // Программирование урожаев с.-х. культур в Сибири / Новосиб. с.-х. ин-т. – Новосибирск, 1985. – С. 52-56.
26. Панников В.Д. Почва, климат, удобрения и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1977. – 414 с.
27. Пискарев А.В. Некоторые вопросы методологии проектирования технологических систем на уборке зерновых культур с учетом неопределенности и вероятностного характера условий // Науч.-техн. бюл. / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1983. – Вып. 34. – С. 9-13.
28. Пискарев А.В. О направленности и задачах проектирования механизированных процессов и технологических

систем в растениеводстве // Совершенствование эксплуатации с.-х. техники при производстве растениеводческой продукции в Западной Сибири / Новосиб. с.-х. ин.-т. – Новосибирск, 1988. – С. 93-97.

29. *Пискарев А.В.* Технологическое проектирование процессов кормопроизводства / А.В. Пискарев, В.А. Никитин // Проблемы разработки энергосберегающих технологий кормопроизводства Западной Сибири и Южного Урала: сб. науч. тр. / Новосиб. с.-х. ин.-т. – Новосибирск, 1989. – С. 17-23.
30. *Проектирование* технологического процесса и инженерного обеспечения уборки зерновых культур: метод. рекомендации. – Новосибирск, 1980. – 135 с.
31. *Проект* производства зерна коллективом интенсивного труда (рабочий документ для производственного эксперимента) / Н.В. Краснощеков, П.М. Першукевич, Л.Н. Иодко, Ю.Ф. Бугаков. – Новосибирск, 1986. – 36 с.
32. *Сельскохозяйственные экосистемы* / пер. с англ. А.С. Каменского, Ю.А. Смирнова, Э.Е. Хавкина. – М.: Агропромиздат, 1987. – 223 с.
33. *Стандартизация* и управление качеством производства сельскохозяйственной продукции / А.Я. Беда, А.П. Беда, Ф.Ф. Стерликов. – М.: Колос, 1984. – 160 с.
34. *Технологический проект* возделывания сельскохозяйственных культур в полях севооборота. / Я.П. Орищенко, А.В. Пискарев, М.Н. Разумов и др. – Новосибирск, 1982. – 20 с.
35. *Типовые* технологические карты возделывания и уборки зерновых колосовых культур. – М.: Колос, 1984. – 304 с.
36. *Федоров Б.С.* Роль стандартизации и метрологии в повышении эффективности сельскохозяйственного производства // Проблемы повышения эффективно-

- сти производства, качества труда и продукции сельского хозяйства. – Минск, 1980. – С. 73-82.
37. *Чирков Ю.И.* Основы агрометеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 247 с.
38. *Чепурин Г.Е.* Инженерно-технологическое обеспечение процесса уборки зерновых в экстремальных условиях / РАСХН. Сиб. отд-ние. СибИМЭ. – Новосибирск, 2000. – 228 с.
39. *Шатилов И.С.* Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая / И.С. Шатилов, А.Ф. Чудновский. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 320 с.
40. *Якушев В.П.* На пути к точному земледелию. СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН. – 2002. – 458 с.
41. *Якушев В.П.* Алгоритм формирования картотеки сельскохозяйственных полей для централизованного и децентрализованного решения задач по программированию урожаев // Управление почвенным плодородием. – Л.: АФИ, 1986.
42. *Якушев В.П.* Информационное обеспечение точного земледелия / В.П. Якушев, В.В. Якушев. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. – 384 с.



## **7. ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ФОРМ МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ И РАБОТЫ ПЕРВИЧНЫХ ТРУДОВЫХ КОЛЛЕКТИВОВ**

### **7.1. Об отрядной организации использования энергонасыщенных тракторов (типа К-700)**

Организационные формы использования сельскохозяйственной техники всегда занимали важное место среди других проблемных вопросов повышения эффективности работы машинно-тракторного парка. Особую значимость эти вопросы стали приобретать по мере повышения оснащенности сельскохозяйственного производства новой, более производительной и энергонасыщенной техникой. Поиск новых форм работы техники и кадров механизаторов всегда ведется параллельно и в научных коллективах, и на производстве, причем производство, находясь на самом переднем рубеже этого поиска, зачастую опережает ученых, особенно на начальном этапе.

Однако полное осмысление и анализ, разработка рекомендаций, пригодных для различных природно-хозяйственных условий, необходимое научное обобщение и методологическое сопровождение для широкого внедрения нового опыта могут быть полноценно осуществлены только с участием научных работников. Похожий сценарий имел место и в нашем случае – при поиске эффективных организационных форм использования энергонасыщенных тракторов (типа К-700).

Специфика использования в сельскохозяйственных предприятиях Западной Сибири энергонасыщенных тракторов типа К-700 проявилась в первые же годы их эксплуа-

тации. Особый подход к организации использования этих тракторов объясняется не только их более высокой стоимостью, но и спецификой эксплуатации, связанной с особенностями их агрегатирования и обеспечения шлейфом машин, организацией и технологией технического обслуживания и другими факторами. К середине 70-х годов парк этих тракторов в Западной Сибири значительно возрос, во многих хозяйствах их было по 8-10 штук и даже более. В то же время общий средний уровень их использования был невысоким. Низкими были показатели годовой наработки (на уровне 2300 у.э.га), коэффициент сменности (1,11-1,15), коэффициент использования тракторов ( $\approx 0,45$ ), уровень выполнения сменной нормы выработки (81-84%) [6].

Анализируя различные факторы, определяющие показатели эффективности использования данных тракторов, мы пришли к заключению, что основными из них являются: обеспеченность шлейфом машин и структура занятости тракторов на различных работах по периодам года; обеспеченность кадрами механизаторов и их квалификация; обеспеченность базой для технического обслуживания, организационный и технологический уровень его выполнения. Большинство из этих факторов носят объективный характер, а их улучшение связано, как правило, с привлечением значительных капиталовложений.

Вместе с тем научный анализ и опыт некоторых передовых хозяйств показали, что можно добиться существенного улучшения за счет изменения организационных форм использования тракторов, т.е. на первом этапе без привлечения больших дополнительных капиталовложений.

Суть предложенного изменения организационной формы состояла в следующем. Использование новых энергонасыщенных тракторов в хозяйствах Западной Сибири осуществлялось в основном в рамках обычных сложившихся организационных форм, т.е. комплексная механизированная бригада и машинный парк отделения совхоза.

Поступавшие новые тракторы равномерно распределялись по подразделениям хозяйств, которые имели, как правило, к 1976г. году 1-2 трактора.

В этих условиях тракторы не могли быть полностью загружены, т.к. на каждый трактор нужен был полный перечень агрегируемых с ним машин, чего нет еще и в настоящее время, ремонтно-обслуживающая база в подразделениях практически отсутствует, почти нет теплых стоянок, не всегда имелись квалифицированные кадры механизаторов.

В то же время в печати стали появляться материалы о групповом использовании эргонасыщенных тракторов. Неоднократно обсуждая этот вопрос в отделе механизации сельского хозяйства Новосибирского облисполкома, было принято предложение кафедры эксплуатации МТП Новосибирского СХИ о проведении крупномасштабного (в рамках области) научно-производственного эксперимента по концентрации тракторов типа К-700 для всего хозяйства в отдельные структурные подразделения – отряды.

Результаты эксперимента, их анализ и обсуждение показали перспективность этой организационной формы использования техники. Более подробно это рассмотрено далее.

В соответствии с общим планом НИР кафедры эксплуатации МТП и конкретным заказом Новосибирского областного производственного управления сельского хозяйства (хозяйственный договор) отработка и проверка эффективности новой организационной формы использования тракторов типа К-700, а также способов включения их в различные технологические системы в течение 3 лет осуществлялась в производственных условиях Новосибирской области на базе 4 совхозов, расположенных в различных природно-климатических зонах.

В этой работе, выполненной в целом под нашим научным и организационно-методическим руководством и при непосредственном участии, на разных этапах также участвовали сотрудники кафедры эксплуатации МТП М.Н. Разумов, В.С. Кемелев, С.П. Федоров, Г.В. Шелягин.

Основной задачей данного научно-производственного эксперимента была разработка и проверка ранее предложенной организационной формы использования тракторов типа К-700 на основе концентрации их в рамках хозяйства в отдельные структурные подразделения – отряды. Одновременно были изучены способы включения энергонасыщенных тракторов в другие технологические системы. Реализация этих задач привела к необходимости преодоления многочисленных трудностей, среди которых на первый план выступали вопросы организационно-хозяйственного и материально-технического характера. Необходимо было перебазировать на центральную усадьбу хозяйств тракторы и агрегируемые с ними машины, решить вопросы с перемещением механизаторов, созданием необходимой материально-технической базы, организации и обеспечения работы новых механизированных формирований. Все это происходило в условиях ломки сложившихся традиций и представлений.

Проведение этого крупного научно-производственного эксперимента стало возможным благодаря активной поддержке руководства отдела механизации Новосибирского областного производственного управления сельского хозяйства (Б.Т. Якутин, И.В. Убаков), руководства и специалистов хозяйств, избранных базовыми для этой работы (совхозы «Мироновский», «Хорошинский», «Шурыгинский», «Алеусский»). Правда, многие не сразу стали сторонниками проводимого эксперимента, учитывая многочисленные трудности в его реализации.

Одновременно можно отметить, что в значительной мере успех этого дела обеспечивался опережающей научно-методической разработкой всех необходимых вопросов. В частности, в научно-методологическом плане были проработаны и решены следующие основные вопросы:

- обоснование размеров, структуры и технической оснащенности отрядов;
- определение численного состава трудового коллектива, его структуры и управления;
- определение формы взаимодействия отряда с другими механизированными и организационными формированиями хозяйства;
- методика планирования, организации и учета работы.

В той мере, в какой эти вопросы необходимы для производства, они были обобщены во «Временное положение о специализированном отряде (бригаде) энергонасыщенных тракторов хозяйства».

Это положение после соответствующего обсуждения было утверждено областным производственным управлением сельского хозяйства и стало практическим руководством для хозяйств.

## **7.2. Результаты экспериментально-производственной проверки обоснованности и эффективности отрядной формы организации использования энергонасыщенных тракторов и способов включения их в технологические системы**

Ниже рассмотрим только главные положения и результаты, научно-практические выводы, учитывая, что более подробно итоги эксперимента изложены в опубликованных рекомендациях и статьях [6, 14].

Эффект концентрации тракторов в общехозяйственном подразделении получается за счет реализации следующих основных принципов и факторов:

- более полной годовой загрузки тракторов при меньшей обеспеченности шлейфом машин, одновременно достигается большая степень использования и сельскохозяйственных машин;

- разделения труда и специализации при выполнении вспомогательных работ;

- возможности применения поточно-циклового метода ведения работ, технологического проектирования и рациональной организации труда;

- высокой мобильности и улучшения оперативного управления работой агрегатов, максимального использования времени суток;

- возможности создания лучших культурно-бытовых условий, применения морального и материального стимулирования механизаторов;

- возможности создания и более эффективного использования материально-технической базы для технической эксплуатации тракторов.

Создание единых общехозяйственных отрядов не заменяет существующие бригады (или другие формы внутрихозяйственной организации труда), а лишь дополняет их, учитывая сложность и другие специфические особенности эксплуатации этих тракторов.

Чтобы реализовать изложенные выше принципы и преимущества отрядной организации труда, в составе отряда целесообразна организация следующих звеньев:

- для выполнения основных технологических процессов;

- для технологического обслуживания (подготовки полей и других объектов к работе);

- для технического обслуживания.

Создание вспомогательных звеньев позволяет сократить простои основных агрегатов, повысить готовность техники и качество выполнения механизированных работ.

По результатам исследований и обобщения передового опыта, одобренных при их обсуждении на областном уровне и в МСХ РСФСР, рекомендованы примерные нормативы состава отряда, численности механизаторов и штатов управления (табл. 7.1).

Таблица 7.1. Состав и штаты управления механизированного отряда тракторов типа К-700

Объем работ отряда, тыс. у.э. га	Кол-во тракторов в отряде, шт.		Кол-во рабочих в отряде, чел.	Должностные лица отряда, чел.			
	типа К-700	все-го		бригадир	помощник по технике	звеньевые	бухгалтер по учету
От 15 до 25	5-7	8-10	12-14	1	-	2	-
От 25 до 35	8-10	11-14	15-19	1	1	3	-
Свыше 35	11-14	15-19	21-25	1	1	3-4	1

При отсутствии бухгалтера по учету эти функции распределяются между начальником отряда (бригадиром), звеньевыми и бухгалтером мастерской. Функции помощника бригадира по технике при малом числе тракторов К-700 целесообразно возложить на мастера-наладчика.

В процессе исследований изучались возможность и эффективные способы сочетания предлагаемой организационной формы использования энергонасыщенных тракторов и технологических систем (механизированных комплексов) для выполнения различных производственных процессов.

При этом было установлено, что здесь возможны два основных варианта:

1. Создание на базе отряда самостоятельных технологических систем для выполнения отдельных производственных технологических процессов (например, вспашки зяби, транспортировки грубых кормов, перегноя и др.).

2. Включение звеньев тракторов К-700 в состав функциональных технологических комплексов (систем). Возможность и эффективность такого варианта проверена на посеве и уборке зерновых культур.

Здесь не обнаруживается каких-либо серьезных методологических или организационных (производственных) противоречий и неувязок.

При втором варианте тракторы К-700 (лучше в составе звена), оставаясь по основной организационной принадлежности в составе специализированного отряда, временно включаются в состав создаваемого технологического комплекса (технологической системы) для выполнения определенного производственного технологического процесса.

В совхозах «Мироновский», «Хорошинский», «Шурыгинский» и «Алеусский» были проверены и в достаточной степени отработаны оба варианта.

Например, на базе отрядов создавались специальные технологические системы для вспашки зяби – пахотные отряды. В период сева звенья тракторов К-700 включались в состав посевных комплексов. Апробированы некоторые варианты состава комплексов, которые даны в рекомендациях [6].

С целью повышения производительности агрегатов с тракторами К-700 на предпосевной подготовке почвы и севе зерновых культур были изучены некоторые возможности увеличения ширины захвата агрегатов на базе имеющейся техники за счет незначительного переоборудования ее.



Аналогичным будет подход к комплектованию специализированных звеньев для выполнения других возможных процессов: перевозки перегноя, грубых кормов, обработки почвы и т.д.

Таким образом, отряд энергонасыщенных тракторов выполняет комплекс технологических процессов в постоянном взаимодействии с производственными подразделениями хозяйства и различными временными механизированными формированиями. Одновременно отметим, что это взаимодействие осуществляется не произвольно, а на основе своевременно разрабатываемого годового плана работы отряда. Форма плана и порядок его разработки в ходе эксперимента в достаточной мере определялись и были апробированы.

Основой для расчета рабочего плана-задания отряда энергонасыщенных тракторов являются технологические проекты (или карты), разрабатываемые в хозяйстве. В результате выборки соответствующих объемов работ определяется годовой план, а также планы использования тракторов по основным рабочим периодам. Наличие годового плана работы определяет хозяйственную автономность и мобильность отряда, позволяет обеспечить своевременную подготовку техники, решить необходимые вопросы организации и технологического обеспечения производства.

В процессе исследований и внедрения их результатов также совместно со специалистами производства были отработаны вопросы управления работой отряда, организации и оплаты труда механизаторов. Все это придало работе в целом комплексный характер, обусловило достаточно высокую эффективность ее результатов.

Кратко следует остановиться на изученных возможностях повышения производительности агрегатов с тракторами К-700 на отдельных технологических процессах. В результате анализа фактических результатов работы энерго-

насыщенных тракторов при выполнении различных технологических процессов было установлено, что во многих случаях сменные нормы выработки не выполняются, в то же время расход топлива на единицу работ оказывается выше нормы.

Это свидетельствовало о недостатках в агрегатировании тракторов, организации их использования, а также в нормировании работы и расхода топлива. Для более полного анализа этого вопроса была проведена статистическая обработка (с помощью ЭВМ) данных о сменной наработке и расходе топлива по фактическим результатам работы агрегатов с тракторами К-700.

Подтверждается высокий уровень корреляции между сменной наработкой и расходом топлива практически во всем диапазоне работ за исключением транспортировки соломы (табл. 7.2). Это объясняется, главным образом, отсутствием машин, обеспечивающих высокую загрузку трактора, а следовательно, и производительность на данном процессе.

Таблица 7.2. Степень связи между сменной наработкой и расходом топлива

Технологический процесс	Объем выборки (кол-во смен)	Средние значения		Коэффициент корреляции
		сменная наработка, у.э.га	расход топлива за смену, кг	
Вспашка зяби	75	16,32	195,1	0,93
Глубокое рыхление	417	19,27	197,6	0,74
Посев зерновых	157	9,93	184,6	0,71
Транспортировка органических удобрений	89	18,98	105,3	0,81
Транспортировка сена	154	17,30	149,4	0,81
Транспортировка соломы	101	15,60	78,6	0,35

Этот анализ, дополненный анализом учетных листов (около 5 тыс. шт.) и наблюдениями, подтвердил необходимость поиска лучших вариантов агрегатирования тракторов К-700 прежде всего на таких работах, как перевозка грубых кормов, посев и предпосевная подготовка почвы.

В процессе исследований был выполнен ряд разработок по улучшению агрегатирования тракторов К-700 и повышению производительности на отдельных технологических процессах. Среди них наиболее важной является разработка стоговоза, а на его базе универсального транспортного прицепа к трактору типа К-700.

Автор конструкции стоговоза – сотрудник кафедры эксплуатации МТП Новосибирского СХИ Р.В. Власов. Благодаря работам по ее внедрению, эта машина получила достаточно широкое распространение в хозяйствах Новосибирской, Кемеровской областей, Алтайского края и других зон Западной Сибири.

Разработанный на базе стоговоза универсальный транспортный прицеп прошел патентную экспертизу (а.с. 998202, 1982 г., авторы – Р.В. Власов, А.В. Пискарев).

Незначительные усовершенствования выпускаемых сцепок позволили создать широкозахватные агрегаты для посева и предпосевной обработки почвы. В частности, в совхозе «Шурыгинский» прошли проверку пяти- и шестисеялочные агрегаты (переоборудованная сцепка СП-16 и сеялки СЗП-3,6, а также из сцепок СЗР-01 и сеялок СЗС-2,1)) и широкозахватные агрегаты для сплошной культивации. В масштабе двух посевных комплексов удалось высвободить один трактор К-700, пять тракторов ДТ-75, четыре сцепки СП-16, снизить затраты труда на 920 человеко-часов, существенно повысить темпы полевых работ.

Необходимо заметить, что на итогах работы сказались и многие отрицательные факторы, которые в ходе эксперимента не были устранены. Прежде всего, это низ-

кий уровень материально-технического оснащения и недостатки в организации технического обслуживания и ремонта тракторов силами соответствующих РО «Сельхозтехника». И, вместе с тем, со всей очевидностью проявились все преимущества концентрации этой техники и дифференцированного ее включения в технологические комплексы. Наиболее высокие показатели получены в совхозе «Мионовский» (табл. 7.3), где уже был накоплен определенный опыт и имелись другие положительные предпосылки (материально-техническая база, кадры механизаторов и т.д.).

В других хозяйствах также достигнуто улучшение показателей: годовой наработки, уровня выполнения сменных норм, экономии топлива.

Таблица 7.3. Показатели использования тракторов К-700 в совхозе «Мионовский» Новосибирской области

Показатель	1973 г.	1974 г.	1975 г.	1976 г.	1977 г.
1	2	3	4	5	6
Количество тракторов К-700 и К-701, шт.	5	8	9	13	14
Количество тракторов К-700 в эталонных единицах к общему парку тракторов, %	18,8	29,4	34,4	44,4	47,8
Объем выполненных работ, у.э. га	13576	24659	32116	53461	60200
Объем выполненных работ от общего, %	18,4	31,2	38,4	51,0	54,2
Выработка на физический трактор К-700, К-701, у.э. га	2710	3080	3560	4110	4300
Выработка на 1 машинодень К-700, у.э.га	13,2	14,8	17,5	18,7	18,9
Коэффициент использования времени года	0,56	0,51	0,56	0,57	0,58

Окончание табл. 7.3

1	2	3	4	5	6
Коэффициент сменности	1,19	1,33	1,19	1,26	1,28
Выполнение сменных норм, %	90	100	119	127	129
Организационная форма использования тракторов	Индивид.	Отряд	Отряд	Отряд	Отряд

При концентрации тракторов К-700 (К-701) в отряд они обеспечиваются более экономичным набором машин-орудий, появляется возможность группового использования агрегатов и создаются необходимые условия для специализированного технического обслуживания. Переход на поточно-цикловый метод ведения работ с выполнением подготовительных и вспомогательных операций специализированными звеньями позволяет улучшить структуру рабочего времени смены основных агрегатов и повысить сменную, дневную, сезонную и годовую наработку тракторов. В конечном итоге это приводит к сокращению сроков выполнения полевых работ, повышению урожайности и снижению себестоимости механизированных работ. В структуре работ тракторов при этом увеличивается доля полевых работ.

Обобщение данных по ряду хозяйств зоны позволяет отметить, что при реализации предлагаемых организационных форм и методов использования тракторов типа К-700 потери рабочего времени смены сокращаются в 4-5 раз, чистое рабочее время смены с 53-66 увеличивается до 75-80%, количество отработанных дней в году со 170-180 до 180-200, средняя дневная наработка с 13,5-14 до 18,5-19 у.э.га, средняя годовая наработка с 2300-2400 повышается до 3300-4300 у.э.га. Себестоимость механизированных работ при этом уменьшается на 12-15%, сокращаются потери от простоев агрегатов.

Можно подчеркнуть, что мы сознательно оцениваем степень улучшения использования тракторов не по отдельным моментам исследований (агрегатам, технологическим процессам, периодам и т.п., где эффект, безусловно, выше), а в целом по итогам всего комплекса работ за год, с учетом всех обстоятельств (и положительных, и отрицательных), которые имеют место в реальной хозяйственной деятельности.

Результаты исследований дважды обсуждались и были одобрены на заседании научно-технического совета Новосибирского областного производственного управления сельского хозяйства – в 1977 и 1978 гг.

К более широкому обобщению опыта использования энергонасыщенных тракторов в регионе подключились научные сотрудники СибИМЭ. Большое значение этой проблеме придавал академик В.А. Кубышев (в то время директор СибИМЭ). При его содействии и участии этот вопрос был рассмотрен на заседании научно-технического совета МСХ РСФСР (в 1979 г.), где также был одобрен и рекомендован для широкого внедрения в сельскохозяйственное производство.

Министерством были частично дополнены и переизданы в Россельхозиздате рекомендации [22], причем если первое наше издание [6] имело тираж всего 600 экземпляров, то это – уже 14000 экземпляров.

Положительные результаты этого достаточно масштабного научно-производственного эксперимента нашли широкий отклик и отражение в работе ведущих НИИ по эксплуатации сельскохозяйственной техники. Так, ГОСНИТИ, дополнив опыт использования тракторов К-700 по другим регионам, в 1985 г. издал свои рекомендации [17], где в значительной мере использованы результаты, полученные в нашем эксперименте. Наш вуз был включен в число соисполнителей общесоюзной научно-технической

программы по теме «Разработать и внедрить эффективные формы и методы использования сельскохозяйственной техники» (задание 01.01.Д). В целом программа работ по этой теме на 1986-1990 гг. была утверждена на координационном совещании в ВИИТиН (координатор), где мы также докладывали ранее полученные результаты (г. Тамбов, 1986 г.).

И сейчас, спустя многие годы, нам приятно отметить, что кафедра эксплуатации МТП Новосибирского СХИ была в числе первых в стране в разработке этой важной государственной тематики, которая и в настоящее время имеет весьма актуальное значение.

### **7.3. Участие в изучении, апробации и внедрении прогрессивных форм использования техники и поточно-циклового метода выполнения работ в растениеводстве**

Сельскохозяйственная техника, используемая в составе технологических систем (ТС), объединяется в подсистему – технологический комплекс машин (ТКМ). Возвращаясь к структуре ТС, еще раз напомним, что подсистему ТКМ на втором уровне мы представили состоящей из четырех подсистем: основные технологические машины (ОТМ), вспомогательные технологические машины (ВТМ), сборочно-транспортные средства (СТС), машины и оборудование для технического обслуживания и полевого (эксплуатационного) ремонта (ТОР).

В ходе исследований, особенно в научно-производственных экспериментах, мы основывались на прогрессивных формах использования техники, которые в то время были освоены (или осваивались) практикой. При этом не имеется в виду, что эти формы появились (или были обоснованы) именно в наших исследованиях, как,

например, рассмотренная выше отрядно-звеньевая форма использования энергонасыщенных тракторов (где наш вклад был весьма значительным), или обоснование новых схем транспортного обслуживания и, соответственно, состава уборочно-транспортных звеньев и комплексов (подсистем ОТМ и СТС, что ранее изложено в главе 4).

Наиболее прогрессивным было (да и сейчас является) концентрированное (групповое) использование техники в различном составе: звенья, отряды, комплексы [2]. На уборке урожая это была своеобразная адаптация к местным природно-хозяйственным условиям подхода, который получил общепринятое название «Ипатовский метод» (наиболее полно обобщенный и разработанный учеными ВНИПТИМЭСХ). Такой подход применялся нами и при выполнении комплекса весенне-полевых работ. Фрагменты этого опыта и варианты формирования посевных комплексов (на базе имевшейся в 60-70-е годы техники) будут далее представлены.

Довольно интересный по своей организации и результатам научно-производственный эксперимент был предпринят по созданию в составе уборочно-транспортных комплексов (УТК) звеньев технологического контроля и настройки зерноуборочных комбайнов. Далее будут рассмотрены результаты этого эксперимента.

И последний вопрос, который будет рассмотрен в этом параграфе, – это наше участие (коллектива кафедры эксплуатации МТП и лично автора монографии) в уточнении содержания, пропаганде и внедрении элементов поточно-циклового метода выполнения механизированных работ в растениеводстве.



### **7.3.1. Формирование посевных комплексов машин при поточной организации работ**

Этот вопрос изучался в связи с поиском путей рационального включения энергонасыщенных тракторов (типа К-700) в другие технологические системы, в частности, для посева зерновых культур.

При проведении весенних полевых работ применяется поточный метод выполнения сопряженных технологических операций – предпосевной обработки почвы и посева. Поэтому при включении тракторов типа К-700 в посевные комплексы особое внимание нужно обращать на согласование производительности почвообрабатывающих и посевных агрегатов.

В степной зоне тракторы К-700, К-701 могут применяться на бороновании в агрегате с игольчатыми боронами БИГ-3, на предпосевной обработке почвы с культиваторами КПС-4, КПШ-9 и КПЭ-3, на посеве стерневыми сеялками СЗС-2, 1М и зернопрессовыми сеялками СЗП-3,6. В лесостепной зоне они преимущественно применяются на предпосевной обработке почвы с культиваторами и луцильниками и частично на посеве в агрегатах с сеялками СЗП-3,6 и СЗС-2, 1М. Возможные варианты посевных комплексов с включением звеньев тракторов типа К-700 показаны в табл. 7.4.

Посевные комплексы первого типа наиболее приемлемы для зоны северной лесостепи, второго – для южной лесостепи и третьего – для степной зоны. Дневная производительность комплексов от 260 до 320 га. В лесостепной зоне в комплексы целесообразно включать посевные агрегаты с тракторами типа МТЗ для выполнения работ на мелкоконтурных участках.

Таблица 7.4. Состав посевных комплексов с тракторами типа К-700

Вариант	Виды работ	Состав агрегата		Кол-во агрегатов
		трактор	марка и кол-во сельхозмашин	
1	2	3	4	5
1	Ранневесеннее боронование	ДТ-75, ДТ-75М	СГ-21+24БЗС-1,0	4
	Предпосевная обработка	К-700, К-701	СП-16+4 КПС-4 +16 БЗС-1,0	1
		К-701	СП-16 + 3 КПЭ-3,8+12 БЗС-1,0	1
		ДТ-75М	ЛДТ-10 + + 10 БЗС-1,0	1
	Сев зерновых	ДТ-75, ДТ-75М	СП-16 + 3 СЗП-3,6	4
		МТЗ-50/52	СЗП-3,6	2
	Загрузка семян	-	АС-2УМ	4
	Прикатывание посевов	ДТ-75	СГ-21+3 ЗККШ-6А	2
2	Ранневесеннее боронование	ДТ-75	СГ-21+24 БЗС-1,0	2
		К-700, К-701	СП-16+5 БИГ-3	2
	Предпосевная обработка почвы	К-700, К-701	СП-16 + 4 КПС-4, + 16 БЗС-1,0	1
		К-700	КПШ-9 + 9 БЗС-1,0	1
		ДТ-75М	2 КПЭ-3,8 + + 8 БЗС-1,0	1
	Сев	ДТ-75, ДТ-75М	СП-16+3 СЗП-3,6	3
		МТЗ-50/52	СЗП-3,6	1-2
	Сев и прикатывание	К-700, К-701	СЗР-0,1+5 СЗС-2,1	1-2
	Загрузка семян	-	АС-2УМ	4
	Прикатывание посевов	ДТ-75	СГ-21 + 3 ЗККШ-6А	1
		МТЗ-50/52	СП-16 + 2 ЗККШ-6А	1

Окончание табл. 7.4

1	2	3	4	5
3	Ранневесеннее боронование	ДТ-75	СГ-21 + 24 БЗС-1,0	1-2
		К-700, К-701	СП-16 + 5 БИГ-3	2
		ДТ-75М	СП-16 + 3 БИГ-3	2
	Предпосевная обработка почвы	К-700, К-701	СП-16 + 3 КПЭ-3,8+ +12 БЗС-1,0	1
		К-700	КПШ-9 + 9 БЗС-1,0	1
	Сев	ДТ-75, ДТ-75М	СП-16 + 3 СЗП-3,6	2
		или К-700Д-701	СП-16 + 5 СЗП-3,6	1
	Сев и прикатывание	К-700, К-701	СЗР-0,1 + 5-6 СЗС-2,1	3-4
	Загрузка семян	-	АС-2УМ	4
	Прикатывание посевов	МТЗ-50/52	СП-16 + 2 ЗКШ-6А	1

Во всех вариантах после проведения раннего весеннего боронования тракторы типа ДТ-75 и К-700 переходят на предпосевную обработку почвы и посев. Таким образом, в составе посевного комплекса будет работать одно звено в составе 3-5 тракторов типа К-700.

Приведенный фрагмент – это пример группового использования техники. При внедрении инженерных технологических проектов в каждом хозяйстве наша творческая группа максимально стремилась применять именно такую организационную форму использования техники, как наиболее прогрессивную и эффективную.

### **7.3.2. Эффективность организации звеньев технологического контроля и обслуживания комбайнов в уборочно-транспортных комплексах**

Влияние технологических мероприятий на эффективность работы зерноуборочных машин было оценено по

технико-эксплуатационным и качественным показателям работы зерноуборочных машин уборочно-транспортных отрядов Черепановского района Новосибирской области. Сначала были проведены сплошные хронометражные наблюдения за работой зерноуборочных комбайнов в уборочно-транспортных отрядах ОПХ «Черепановское» при технологическом обслуживании и без него.

Эффективность подтвердилась во всех опытах (табл. 7.5). Наиболее результативным является вариант, когда звено технологического обслуживания обеспечивается специально оборудованным «комбайном-контролером». Эта экспериментально-производственная проверка проводилась лабораторией технологии зерноуборки СибИМЭ (Т.Т. Вольф, Г.Е. Чепурин) с участием кафедры эксплуатации МТП Новосибирского СХИ (В.С. Кемелев, А.В. Пискарев).

Таблица 7.5. Структура затрат времени смены комбайнера

Элементы затрат времени смены	Затраты, % к продолжительности смены	
	при отсутствии технологического обслуживания	при наличии технологического обслуживания
Подготовительно-заключительное	11,2	7,5
Основная работа	41,9	60,8
Вспомогательные операции	10,2	14,1
Организационно-технологическое обслуживание (очистка, регулировка рабочих органов, проверка качества работы)	9,1	7,8
Внутрисменный отдых и личные надобности	6,4	2,3
Простой	21,2	7,5
В том числе на устранение технологических отказов	4,1	2,0
Итого	100,0	100,0

После первого сезона апробации работы технологических звеньев руководство Черепановского района обратилось в Новосибирский СХИ с просьбой распространить этот опыт в масштабах района. Тогда был организован из числа студентов 4-го курса факультета механизации сельского хозяйства специальный отряд (он получил название «Качество»), который работал в 8 хозяйствах районов (звенья по 2 человека). Организационное и методическое руководство осуществляла кафедра ЭМТП, материально-техническое обеспечение – соответствующее хозяйство. Не везде удалось организовать и обеспечить работу звеньев на должном уровне. В табл. 7.6 на примере пяти хозяйств района приведен уровень потерь зерна за молотилкой зерноуборочных комбайнов.

Таблица 7.6. Сокращение уровня потерь зерна за молотилкой комбайна, %

Хозяйство	При отсутствии технологического обслуживания	При наличии технологического обслуживания
ОПХ «Черепановское»	2,6	1,4
Совхоз «Листвянский»	3,0	1,7
Совхоз «Майский»	2,5	1,1
Совхоз «Медведский»	2,4	1,6
Совхоз «Искра»	2,8	1,3

В результате внедрения в отрядах технологического обслуживания за счет снижения простоев на устранение технологических отказов, затрат времени на подготовительно-заключительную работу, организационно-технологическое обслуживание возросло время на основную работу с 41,9 до 60,8%. В связи с этим повысились и

технико-эксплуатационные показатели работы зерноуборочных комбайнов [1].

Часовая производительность комбайна при отсутствии технологического обслуживания в отрядах составляет 2,29 га, при наличии технологического обслуживания – 2,62 га, а сменная – соответственно 1,33 и 1,84 га. Коэффициент использования сменного времени комбайна повысился с 0,42 до 0,61. Потери за молотилкой комбайнов сократились в 2 раза.

При внедрении в уборочно-транспортные отряды технологического обслуживания можно привлекать в качестве комбайнеров больше малоопытных механизаторов из числа студентов и рабочих предприятий городов, временно работающих на уборке, так как наиболее сложные регулировочные операции по настройке комбайнов в этом случае будут выполняться с участием высококвалифицированных мастеров звена технологического обслуживания.

Опыт работы звеньев технологического обслуживания в хозяйствах Черепановского района показал, что звено в составе двух человек, имеющее комбайн-контролер и соответствующие технические средства, способно обслужить в период уборки до 30 зерноуборочных машин.

### ***7.3.3. Участие в разработке методики, пропаганде и внедрении элементов поточно-циклового метода выполнения работ в растениеводстве***

Суть поточно-циклового метода выполнения механизированных работ в растениеводстве заключается в реализации комплекса плановых и организационных мероприятий, позволяющих за счет расчленения во времени выполнения работ каждого полевого периода на отдельные циклы и выполнения их последовательно или в строго определенном сочетании обеспечить интенсивное использование машин различного технологического назначения;

сокращение суточной потребности и равномерную занятость механизаторов в течение периода, снижение потребности средств технологического и технического обслуживания.

Термин *цикл работы* означает совокупность взаимосвязанных технологических операций, выполняемых в течение ограниченного календарными сроками промежутка времени, обусловленного требованиями технологии производства и организации эффективного использования техники, труда механизаторов, средств технологического и технического обслуживания.

Реализация принципов поточно-циклового метода (т.е. группировка и разделение по срокам технологических операций и последовательное интенсивное их выполнение) обеспечивает также решение ряда важных организационно-экономических вопросов. К ним, в частности, относятся следующие:

1. Внедрение рациональных форм закрепления техники за механизаторами, предусматривающих закрепление нескольких машин различного технологического назначения за группой механизаторов, что обеспечивает многосменное использование машин в течение суток.

2. Углубление специализации и разделение труда при эксплуатации техники, предусматривающее увеличение занятости механизаторов в период полевых работ и в течение года, создание в хозяйствах специализированных служб для качественной и своевременной подготовки агрегатов к работе, устранения отказов машин, выполнения технического обслуживания, ремонта и хранения техники.

3. Внедрение хозрасчета и коллективного подряда в подразделениях, занятых эксплуатацией техники (механизированные бригады, отряды, звенья), повыше-

ние уровня управления, планирования производства, нормирования и учета использования ресурсов.

4. Подготовку и переподготовку работников хозяйства (механизаторов, работников инженерно-технической службы, руководителей и специалистов подразделений).

5. Внедрение мер морального и материального стимулирования работников за реализацию основных принципов поточно-циклового метода выполнения механизированных работ.

Все это достаточно сложные вопросы, которые без предварительной учебы персонала, включения административно-распорядительных методов управления, решать трудно. В этом мы убедились, занимаясь рациональной организацией использования техники на основе инженерных технологических проектов.

В середине 80-х годов поточно-циклового метод получил официальное одобрение и признание: в 1984 г. одобрен на НТС Минсельхоза РСФСР, в 1985 г. решением коллегии Минсельхоза СССР рекомендован для широкого внедрения в хозяйствах, в 1986 г. одобрен на Всесоюзном координационном совещании по реализации научно-технической программы 0.51.11 (г. Тамбов).

Основной вклад в разработку метода и подготовку соответствующих рекомендаций внесли ученые ЧИМЭСХ и ВИИТиН (В.Д. Саклаков, В.А. Силагин и др.) [3, 19].

Однако и Новосибирский СХИ не был в стороне: мы представляли свои предложения на основе опыта предшествующих исследований, участвовали в координационном совещании и в обсуждении проблемы, автор принимал участие в доработке методики (это отмечено и в опубликованной в 1987 г. «Методике внедрения поточно-циклового метода» [3]).



Наша кафедра эксплуатации МТП придавала серьезное значение пропаганде метода: в ходе занятий со студентами, а особенно со специалистами, проходящими повышение квалификации, рассматривались конкретные приемы решения возникающих при внедрении метода задач. Доценты кафедры М.Н. Разумов и В.А. Никитин подготовили специальную лекцию «Поточно-цикловой метод использования сельскохозяйственной техники в звеньях и бригадах», которая была институтом издана и эффективно использовалась в учебном процессе [16].

В своей практической деятельности по оказанию помощи производству в деле повышения эффективности использования сельхозтехники мы руководствовались рекомендованной методикой, которая предусматривает выполнение следующих этапов:

1. Пропаганда и изучение работниками хозяйств основных принципов организации выполнения механизированных работ поточно-цикловым методом, разработка мероприятий по внедрению.
2. Разработка планов выполнения механизированных работ с учетом обеспеченности подразделений и хозяйств техникой, ремонтно-обслуживающей базой, кадрами механизаторов.
3. Организация реализации разработанных планов, предусматривающая перестройку производства и производственных отношений в соответствии с принципами поточно-циклового метода выполнения механизированных работ, подготовку и переподготовку кадров, повышение уровня управления производством и совершенствование хозяйственно-экономического механизма.

#### **7.4. Некоторые аспекты формирования и организации работы подсистемы «первичный трудовой коллектив» в условиях дефицита кадров механизаторов**

В обеспечении надежного и эффективного функционирования технологической системы (ТС) важную роль играет подсистема, которую мы называли «первичный трудовой коллектив» (ПТК) [9]. На уровне отдельного агрегата – это механизатор, который не только влияет на величину простоев по причине НЧФ (ненадежность «человеческого фактора»), но и во многом определяет эффективное (производительное) использование техники в целом. Трудовой коллектив, обслуживающий весь технологический комплекс машин (ТКМ), заметно влияет также на простои по другим причинам, определяющим организацию и обеспечение производственного технологического процесса.

На формирование и функционирование ПТК оказывают влияние многие факторы [9, 10]. В наших исследованиях специальное изучение проводилось только по некоторым аспектам:

1. Прежде всего проверялась эффективность работы студенческих уборочно-транспортных отрядов и звеньев.

Необходимость привлечения студентов к уборке урожая проявлялась и прежде, и это участие осуществлялось в различной форме. Деканат факультета механизации сельского хозяйства и кафедра эксплуатации МТП Новосибирского СХИ (автор в этот период исследований возглавлял эти подразделения) выступили с инициативой создания уборочных комплексов (в некоторых случаях – отдельных звеньев из 3-5 комбайнов), полностью укомплектованных студентами. Естественно, что это были некоторый риск и особая ответственность перед сельхозпредприятиями, где работали студенты, да и перед студентами тоже. Однако и

положительных моментов достаточно много, что и подтвердила производственная проверка.

2. В условиях дефицита кадров механизаторов к работе на комбайнах зачастую привлекались работники разных профессий, прошедшие некоторую курсовую подготовку (и имеющие юридическое право управлять техникой), но не имеющие опыта работы. Наша творческая группа, занимавшаяся внедрением в производство технологических проектов и отрядно-звеньевых форм использования техники, одновременно осуществляла поиск эффективной организации работы коллективов, где значительную долю составляли малоопытные механизаторы. Этот поиск, как правило, давал некоторые положительные результаты, которые потом обобщались и распространялись.

3. Одновременно с широким распространением отрядно-звеньевых (групповых) форм использования техники активно изучались и формы организации и оплаты труда в первичных трудовых коллективах. Особое внимание привлекала работа механизированных звеньев с аккордно-премиальной оплатой труда и повременным авансированием [7, 18, 21 и др.].

Несмотря на положительный эффект, достигаемый в таких звеньях (ПТК), была отмечена и определенная нестабильность таких коллективов. В ряде случаев они работали относительно устойчиво ряд лет, а иногда распадались после первого года совместной работы.

Поскольку техника и условия работы в разных звеньях существенно не отличаются и их можно рассматривать как равнозначные, причины стабильности (или нестабильности) следует искать, прежде всего, в «человеческом факторе». Поэтому было проведено специальное изучение этого вопроса, в том числе определение роли социальных и социально-психологических факторов.

### **7.5. Результаты производственной проверки эффективности работы студенческих трудовых коллективов в составе уборочно-транспортных технологических систем**

В Сибири проведение уборки урожая серьезно осложняется недостатком кадров механизаторов [4]. В связи с этим и родилась новая форма участия студентов – создание студенческих комплексов (отрядов, звеньев), где первичный трудовой коллектив практически полностью состоит из студентов, конечно, имеющих права трактористов-машинистов, чаще всего без опыта (или с минимальным опытом) работы [15].

В процессе ее внедрения стало ясно, что при этом решается комплекс задач по улучшению подготовки кадров для сельского хозяйства, оказанию непосредственной помощи сельхозпредприятиям, по широкому внедрению достижений науки и передового опыта.

Прежде всего, участие студентов в уборочно-транспортных звеньях, отрядах, комплексах (в дальнейшем – УТК) – это хорошая школа практического обучения и профессиональной подготовки. В деле подготовки квалифицированного инженера (да и другого специалиста сельского хозяйства) значение этого трудно переоценить.

Одновременно в этой форме достигается единство профессионального, трудового и нравственного воспитания будущих специалистов. Во-первых, студенты сами с высоким сознанием должны активно трудиться в самый напряженный период сельскохозяйственных работ, быть образцом отношения к труду для других механизаторов, активно участвовать в этот период в различных формах спортивной, культурно-массовой работы на селе. Наконец, это весьма эффективная форма привлечения студентов к

НИР, внедрению ее результатов в производство, к обобщению передового опыта.

Инициатором организации студенческих УТК, как мы уже отмечали, выступили деканат факультета механизации сельского хозяйства и кафедра эксплуатации МТП. Инициатива была поддержана руководством института, нашла широкий отклик у студентов.

Первый комплексный студенческий УТК «Сибиряк» создали в 1978 г. в составе 46 человек. Местом работы был определен крупный совхоз «Пролетарский» Ордынского района. С этим хозяйством был заключен соответствующий договор. Хозяйство выделило необходимую технику (в т.ч. 10 зерноуборочных комбайнов), были созданы вполне приличные бытовые условия, организовано питание и другое обеспечение студентов.

Командиром отряда был назначен наш аспирант Ю.Н. Дементьев, куратором от кафедры доцент Ю.Н. Блынский (бывший наш аспирант), руководил всем проектом и выполнением научной программы автор.

Кстати, научная программа включала следующие основные элементы:

- отработка организационного механизма согласованной работы и взаимодействия отдельных звеньев (техники и людей);
- наблюдение за надежностью комбайнов и всей технологической системы путем регистрации в специальных журналах и хронометражных листах. Особое внимание при этом уделялось отказам техники и характеру различных простоев.

Результаты производственной деятельности этого УТК приведены в табл. 7.7.

Таблица 7.7. Показатели производственной деятельности  
студенческого уборочно-транспортного комплекса «Сибиряк-78»

№ п/п	Показатели	Ед.из.	Значение
1	Численность отряда	чел.	46
2	Продолжительность рабочего периода	дней	86
3	Отработано студентами	чел.-дней	4128
4	Выполнены уборочные работы на площади	га	3114
	в т.ч. рожь озимая	га	400
	пшеница	га	2100
	овес	га	200
	лен-кудряш	га	414
5	Средний намолот на 1 комбайн	ц	5100
6	Намолочено зерна	ц	51000
7	Средняя урожайность	ц/га	19,3
8	Вспахано зяби	га	1500
9	Проведено лущение паров	га	560
10	Предпосевное боронование паров	га	280
11	Предпосевное прикатывание паров	га	280
12	Сев озимых	га	400

Эти показатели были достигнуты молодыми малоопытными студентами-механизаторами (возраст 21-23 года), стаж работы на комбайнах – в среднем 0,6 сезона, т.е. половина студентов вообще не имела опыта работы.

По результатам работы в целом этот отряд завоевал 1-е место в области. Работа студентов получила широкий отклик в прессе, на радио и в телевизионных передачах, в районных и областных организациях. В апреле 1979 г. на базе института был проведен зональный семинар по организации студенческих УТК.

В 1979 г. организовали уже 2 комплекса (в совхозах «Пролетарский» и «Мильтюшихинский») и ряд отрядов и звеньев (в Черепановском ОПХ, совхозах «Шурыгинский», «Алеусский», «Хорошинский»).

Несмотря на неблагоприятные погодные условия и трудные производственные условия, студенты показали образцы самоотверженного труда, полностью справились со своими обязательствами.

Комплекс, работавший в совхозе «Пролетарский», первым в хозяйстве закончил уборку зерновых.

Силами УТК выполнен следующий объем работ:

- скошено зерновых – 4274 га;
- обмолочено зерновых – 5499 га;
- намолочено – 96631 ц;
- убрано соломы с полей – 9742 ц;
- вспахано зяби – 2275 га;
- заготовлено грубых кормов – 2450 ц.

Относительно культурного и нравственного потенциала такого молодежного коллектива, а также его использования (что весьма важно для села), назовем следующие показатели:

- проведено вечеров отдыха – 10;
- проведено спортивных соревнований – 35;
- выпущено боевых листов – 54;
- выпущено стенгазет – 31.

Из приведенных выше данных видно, что весь комплекс задач в таком первичном трудовом коллективе решается достаточно успешно.

В научно-производственном плане также решены некоторые задачи.

В частности:

- подтверждена возможность эффективной работы групп малоопытных механизаторов, соответствующим образом подготовленных и организованных;
- установлено, что лучшие результаты достигаются, когда в состав студенческих УТК вводятся

опытные мастера-наставники (или мастера-наладчики);

- проверены методы повышения эффективности совместной работы студентов и опытных механизаторов (этот опыт рассматривается далее).

С участием студентов – членов УТК решались и некоторые другие научные задачи: по рациональному транспортному обеспечению УТК, изучалась надежность техники и уборочно-транспортных систем в целом.

### **7.6. Опыт организации и оплаты труда в безнарядных первичных трудовых коллективах при недостатке кадров механизаторов**

Повышение эффективности использования техники и людских ресурсов в период уборки урожая в Сибири имеет особую значимость. С одной стороны, это связано с природно-климатическими условиями, а с другой – с дефицитом кадров механизаторов. И когда на смену формы организации труда с индивидуальным учетом объема выполненной работы стали создавать безнарядные звенья (отряды) с коллективной оплатой труда, то возникли определенные противоречия, связанные с дефицитом кадров механизаторов. Наиболее остро этот вопрос возник при уборке урожая зерновых культур, в период наибольшей потребности в механизаторах.

В хозяйствах, где такая ситуация возникала (опытных комбайнеров было недостаточно), приходилось (и приходится) привлекать к работе лиц, получивших курсовую подготовку, из числа горожан, студентов, учащихся СПТУ, рабочих и служащих хозяйств. В некоторых хозяйствах в такой ситуации останавливают пахотные агрегаты (в основном типа К-700), а опытных водителей этих тракторов переводят для работы на комбайнах. Это приводит к



тому, что на многих полях остается неубранной солома, не вспахивается зябь. Что также имеет отрицательные последствия.

В то же время неопытные механизаторы, оказавшись «один на один» со сложной техникой, зачастую не дают должной отдачи, их производительность иногда составляет не более 30-40% от нормативной. Таких механизаторов неохотно включают в звенья с коллективной оплатой труда.

В наших производственных экспериментах при изучении эффективности внедрения инженерных технологических проектов и отрядно-звеньевых форм использования техники эта задача также возникла, и необходимо было искать пути ее решения [12, 15]. Наш творческий коллектив работал по этой программе в ряде хозяйств Новосибирской области. Наиболее длительное время в совхозах «Шурьгинский», «Алеусский», «Пролетарский», «Хорошинский», находящихся в трех разных административных районах (и природных зонах).

Опыт и специально проведенное исследование показали, что здесь необходимо использовать различные факторы управления: административные и социально-психологические. Методику исследования этого аспекта функционирования первичного трудового коллектива и основные выводы мы изложим ниже, а здесь рассмотрим конкретный опыт, показавший свою эффективность.

Основная идея состояла в том, что малоопытных механизаторов целесообразно включать в состав безнарядных звеньев наряду с квалифицированными, главное – правильно использовать экономические стимулы, преодолеть психологические барьеры.

Наиболее согласованно и целенаправленно взаимодействие руководства и специалистов хозяйств с научными сотрудниками (именно по созданию звеньев механизаторов

разной квалификации) было достигнуто в совхозе «Шурыгинский» Черепановского района Новосибирской области.

Рассмотрим этот опыт.

По решению руководства хозяйства вначале формировали одно уборочно-транспортное звено с коллективной оплатой труда, в составе которого почти 50% механизаторов не имели опыта работы на комбайнах. Возглавлял звено опытный и авторитетный механизатор первого класса А.И. Горбачев.

Звено состояло из пяти рабочих комбайнов, одного резервного и двух автомобилей. Для звена была установлена единая норма выработки для пяти комбайнов, на резервный комбайн, обслуживаемый помощником комбайнера, норма не устанавливалась. Звеньевой исполнял роль наставника, комбайн за ним не закреплялся.

Таким образом, в звене на уборке урожая работали 7 механизаторов, 3 из которых не имели опыта (это были студенты), комбайны обслуживали 2 автомобиля.

По итогам работы производительность в этом звене была выше в расчете на 1 комбайн и на одного работника. Эффективность работы звена с коллективной оплатой труда была подтверждена. Основное преимущество проявилось в том, что сократились простои техники: и комбайнов, и автомобилей. Во-первых, за счет того, что автомобили загружались зерном независимо от степени полноты бункера (ведь учет намолота был не индивидуальный, а коллективный), а во-вторых, быстрее устранялись отказы комбайнов, т.к. в этом активно участвовал звеньевой-наставник (по существу он выполнял также роль мастера-наладчика).

На следующий год в совхозе «Шурыгинский» было организовано три аналогичных звена, подчинялись они (по существу – это уборочно-транспортный комплекс) непосредственно главному агроному хозяйства.

В каждом звене было около 50% малоопытных комбайнеров. Звеньями руководили опытные механизаторы. Малоопытные водители пользовались установленными для них льготами. За работу 5 комбайнов комбайнеры и помощник получали 100% среднего заработка, водители транспорта – 80%, а звеньевой – 115%. Три комбайновых звена обслуживал один мастер-наладчик с закрепленным за ним автомобилем (АТО-А) и установкой электросварки.

При новой организационной форме значительно повысилась роль звеньевого-наставника. Он руководил работой звена, обучал молодых механизаторов правилам работы, участвовал в проведении технического обслуживания и устранении неисправности комбайнов.

Опытные комбайнеры, работая на коллективном подряде, работают более производительнее, передавая свой опыт молодым работникам.

При увеличении численности лиц (звеньевой, помощники комбайнера), обслуживающих технологический процесс, производительность комбайнов возросла, сократилась потребность в транспорте. Молодые комбайнеры под руководством наставника овладевали мастерством управления комбайном. Такая форма организации позволяет в период уборки привлекать для работы на комбайнах лиц, не владеющих профессией комбайнера.

Три этих звена, в составе которых было 17 комбайнов (41% от участвовавших на обмолоте) намолотили 100800 ц зерна, или в 2,5 раза больше, чем остальные комбайны. Хлеб убран с 72% площадей. Сменная выработка на комбайн в звеньях с коллективным учетом намолота была выше в сравнении с индивидуальным на 36%, потребность в транспорте снизилась на 25%. Намолот на каждого участника технологического процесса (звеньевой-наставник, комбайнеры, помощники, шоферы, мастер-наладчик) составлял 106 ц в день в звеньях с коллективным

учетом выработки и лишь 79 ц в звеньях с индивидуальным учетом намолота.

В звеньях с коллективным учетом выработки намолот на каждый комбайн, в том числе и резервный, за сезон уборки составил более 5900 ц. В то же время 20 комбайнов, работавших с индивидуальным учетом намолота, выдали из своих бункеров около 49000 ц зерна, т.е. более чем в 2 раза меньше в расчете на 1 комбайн. Эти 20 комбайнов (вне звеньев) обслуживали 8 автомобилей, их производительность также получилась в 2 раза ниже.

Важным результатом было также то, что был преодолен психологический барьер опытных комбайнеров и водителей автомобилей в желании работать на один наряд совместно с малоопытными механизаторами (в составе трех звеньев было 6 студентов и 2 культработника). Другими словами, недостаток опыта при такой организации первичного трудового коллектива компенсируется взаимопомощью, коллективной заинтересованностью и ответственностью за результаты работы, проявляются объективные возможности для сокращения взаимообусловленных простоев комбайнов и транспортных средств.

Аналогичные результаты были получены и в других хозяйствах. Несмотря на некоторые отличия, существо подхода было одинаковым: включение в звено опытного наставника, коллективный учет намолота, совместная работа опытных механизаторов с начинающими.

Мы рассматриваем изложенный подход и полученный в результате опыт как один из вариантов (конечно, не единственный) эффективной организации работы трудовых коллективов и использования техники при дефиците кадров механизаторов. С целью пропаганды и внедрения этот опыт был опубликован Новосибирским центром НТИ [5] и получил хорошие отклики.

## **7.7. Социально-психологические факторы стабильности звеньев механизаторов с коллективной оплатой труда: фрагменты социологического исследования**

Поскольку с позиции повышения эффективности машиноиспользования указанная форма организации труда механизаторов представляет значительный интерес и может рассматриваться как весьма перспективная, особую ценность приобретает изучение факторов, влияющих на стабильность подобных коллективов, в том числе и социально-психологических.

Основные вопросы для изучения сводятся к следующим: 1. В какой мере предлагаемая форма организации труда механизаторов приемлема в сельскохозяйственных технологических системах машиноиспользования? 2. Какие факторы обуславливают стабильность или нестабильность таких коллективов? 3. Что необходимо для обеспечения их успешной работы?

В прикладном аспекте целью этой части исследований было изучение особенностей комплектования подобных звеньев (отрядов) механизаторов, т.е. первичных трудовых коллективов (ПТК).

В данном параграфе мы рассмотрим только отдельные фрагменты и по методам исследования, и по результатам, поскольку в целом оно носит несколько иную направленность и специфику.

Объектом исследования является специфическая форма организации труда в сельском хозяйстве, при которой трудовой коллектив реализует свои трудовые функции в едином производственном процессе, эффективность которого зависит от трудовых усилий всех и каждого члена коллектива [8-10].

Все члены коллектива связаны при этом отношениями ответственной зависимости. Безнарядная система

оплаты труда широко известна и распространена в промышленности, в строительстве. В сельскохозяйственном производстве, в силу его специфики, применяется не так широко.

Фактически объектом исследования является не сам коллектив, а определенные отношения в нем. Возникает необходимость определить по объективным и субъективным признакам факторы, влияющие на отношение к труду в изучаемом коллективе.

Поскольку любое социальное явление рассматривается в контексте конкретной социальной ситуации, открывается возможность, в целях упрощения рассуждений, снять некоторые общие факторы и ограничиваться специфическими факторами, описывающими данную социальную ситуацию. В наших условиях такими специфическими факторами, влияющими на отношение к труду в условиях безнормальной системы, можно отнести функциональное содержание труда, условия труда и распределения, взаимоотношения в рабочем коллективе, специфику внеурочной сферы деятельности.

Предварительный анализ результатов деятельности подобных звеньев в условиях Новосибирской области позволяет судить, что подавляющее большинство объективных факторов являются достаточно общими и не должны оказывать существенного влияния на специфику функционирования того или иного объекта наблюдения.

Изложенное дает основание сделать предметом исследования прежде всего субъективные факторы, определяющие отношение к труду в условиях безнормальной оплаты.

Учитывая, что социально-экономические условия чаще всего интерпретируются в соответствии с личностным мировосприятием, можно сделать предположение, что основные мотивы отношения к труду в условиях безнормальной оплаты кроются в личностных свойствах членов коллектива.

Из этого вытекает рабочая гипотеза: основные факторы, определяющие специфику функционирования звена с коллективной оплатой труда, кроются в личностных свойствах и в характере трудового общения членов коллектива.

В условиях сплоченного коллектива, состоящего из психологически совместимых личностей, уравнильное распределение оплаты труда не является фактором дестабилизации коллектива; в условиях «размытого» звена, не являющегося сплоченным коллективом, уравнильная система оплаты не фиксирует личностных различий и потому становится фактором дестабилизации коллектива [8, 9].

В связи с тем, что предметом изучения являются отношения людей, предусматривался традиционный набор методов социологического исследования: анкетный опрос, изучение документации, наблюдение, экспертные оценки [4, 11, 20, 22, 24].

Основная исследовательская гипотеза, принятая в настоящем социологическом исследовании, делает предметом рассмотрения, прежде всего, отношение механизатора к труду в условиях звена с коллективной оплатой труда. Следовательно, можно сделать главное допущение: позицию механизаторов или других экспертов по отношению к звеньям с коллективной оплатой труда, прежде всего, определяют не демографические параметры, квалификационный и образовательный уровень и т.п., а единственный, альтернативный признак: информирован – не информирован, т.е. участвовал или не участвовал в работе (или организации) такого звена.

Работа экспертов, как известно, может осуществляться в индивидуальном порядке или в группе. В основном использовалась индивидуальная работа. С этой целью был разработан специальный опросный лист эксперта «Звено механизаторов с коллективной оплатой труда». В

качестве экспертов выступали руководители и специалисты хозяйств. На первом этапе, когда разрабатывался собственно перечень вопросов и основных факторов, экспертами были преподаватели, участвующие в этой работе.

Для обработки результатов экспертных оценок используются, как правило, метод априорного ранжирования или метод Дельфи (существо которых излагается в литературных источниках, например [13, 20]).

В некоторых случаях, в зависимости от характера вопросов (где было несколько вариантов ответов), результат определялся по доле тех или иных ответов. Всего в анкете экспертов (которая у нас называлась «опросный лист эксперта») было 20 вопросов. Для того, чтобы показать их характер и существо, приведем некоторые фрагменты анкеты (в форме отдельных вопросов и вариантов ответов).

1. Создавались ли звенья (отряды) механизаторов с коллективной оплатой труда в вашем хозяйстве?

– Да 1

– Нет 2

2. Существуют ли они в настоящее время?

– Да 1

– Нет 2

3. Был ли в звене (отряде) освобожденный руководитель?

– Да 1

– Нет 2

4. Принимали ли вы лично участие в организации таких звеньев?

– Да 1

– Нет 2

5. В чем заключаются трудности при организации таких звеньев?

– Подбор людей 1

– Подбор руководителя 2

– Организация оплаты труда 3



- Обеспечение одинаковой техникой 4
  - Обеспечение фронта работы 6
  - Необходимость создать специальные условия 7
  - Другие трудности (указать какие) 8
6. Каково ваше мнение о таких звеньях?
- Весьма перспективная форма 1
  - Довольно перспективно 2
  - Затрудняюсь ответить 3
  - Бесперспективно 4
  - В принципе неприемлемо 5
7. Если брать в целом, одобряете вы организацию таких звеньев или нет?
- Да 1
  - Нет 2
8. Какие из указанных ниже причин могут влиять на желание или нежелание механизаторов работать в звеньях с коллективной оплатой?
1. Распределение заработка
  2. Различие в квалификации
  3. Разное отношение к труду
  4. Различия в характерах
  5. Различие в возрасте
  6. Отношение односельчан, соседей
  7. Личность звеньевых (бригадира)
  8. Отношения с руководством хозяйства, отделения
  9. Организация снабжения
  10. Организация труда

На эти вопросы было 5 фиксированных вариантов ответов.

Таким образом, мы привели 8 из 20 вопросов (в анкете они располагались несколько в иной последовательности).

Кроме привлечения экспертов из числа специалистов изучалось также мнение самих механизаторов. С этой

целью проводился опрос (или интервью) по специально разработанной анкете, включавшей уже 40 вопросов. При этом замысел был более широкий, предполагалось рассмотреть и другие аспекты жизни и работы механизаторов. Однако здесь мы касаемся только работы звеньев с коллективной оплатой труда. Ключевые вопросы по этой части были аналогичными приведенным и в анкете для экспертов.

Интервьюеры, в качестве которых выступали студенты 4-го курса факультета механизации сельского хозяйства (в период производственной практики), имели специальную инструкцию о порядке выбора респондентов и организации интервью (опроса).

Всего было получено и обработано примерно 60 листов экспертов и около 150 анкет механизаторов. Учитывая гомогенность (однородность) генеральной совокупности, т.е. количества звеньев механизаторов с коллективной оплатой труда, объем выборки можно считать репрезентативным [11, 22, 24].

Прежде всего отметим, что опросы осуществлялись в основном в хозяйствах, где звенья создавались, и лица, принимавшие участие в опросе, как правило, могли осознанно и с пониманием сути давать ответы. Таких лиц было более 90% среди экспертов и около 70% среди механизаторов.

Большая часть опрошенных положительно оценивают работу звеньев с коллективной оплатой труда, т.к. в большинстве случаев этот опыт оказался эффективным: производительность техники и людей, трудовой накал и энтузиазм в этих звеньях были выше, чем у механизаторов, работавших вне звеньев, т.е. индивидуально.

Подтвердилась рабочая гипотеза о том, что наибольшее влияние на эффективность работы звеньев и их стабильность оказывают личностные свойства членов коллектива и характер общения и взаимодействия.

Эксперты, да и механизаторы, не отметили особых трудностей в формировании звеньев, носящих сугубо хозяйственный характер (например, обеспеченность техникой, фронтом работы и т.п.).

Главная проблема – это создать психологически совместимые и устойчивые коллективы, готовые работать дружно, даже при наличии некоторого различия в отношении к делу и в квалификации (что особенно важно в первый период работы звена).

Даже такой щекотливый момент, как оплата труда и ее распределение, рассматривается через призму индивидуального, личностного восприятия. Если для механизатора (особенно квалифицированного) это важнее всех других обстоятельств, то он или не пойдет в такое звено, или будет фактором, дестабилизирующим его работу.

Таким образом, большая часть экспертов (80%) и механизаторов (75%) отметили, что главный фактор стабильности – это подбор членов коллектива. Там не менее, выделены и такие факторы, как личность руководителя звена и организация оплаты труда.

Если рассматривать приоритет (ранжирование) причин, влияющих на желание (или нежелание) работать в звене с коллективной оплатой труда (это вопрос у нас был обозначен №8, а в анкете экспертов это был заключительный – 20-й вопрос), то здесь итоги следующие.

Главным фактором является отношение к труду, следующие два – это различие в квалификации и различие в характерах. Далее отмечены личность звеньевоего, распределение заработка и организация труда. Эти шесть факторов являются основными (по мнению экспертов). Их приоритет – в порядке нашего перечисления. Менее значимыми (с точки зрения возможности работать в таком коллективе) являются остальные 4 фактора: различия в возрасте, отношение односельчан, отношение с руководством

хозяйства, организация снабжения. Они отнесены к факторам, которые не очень влияют или вообще не влияют на решение механизаторов о возможности работать на один наряд.

Эти результаты в принципе не расходятся с мнением самих механизаторов. Есть некоторые отличия, которые мы не выделяем с учетом их незначительного влияния на общие выводы. Таким образом, звенья с коллективной оплатой труда признаются более эффективными (по сравнению с индивидуальной организацией работы, учета и оплаты труда).

Важно формировать такие звенья из психологически совместимых людей, на добровольной основе, лучше если механизаторы имеют примерно равную квалификацию и опыт работы. Если приходится в такие звенья включать малоопытных механизаторов (и их доля значительна), то целесообразно назначить опытных наставников, поручив им руководство звеном. Конкретные примеры такой организации были рассмотрены выше. При равной квалификации в освобожденном звеньевом нет необходимости, так считают и эксперты, и механизаторы.

В нашем исследовании акцент был сделан на звенья, работающие на уборке зерновых культур. Здесь эффект проявляется во многом за счет коллективного учета намолота зерна, так как разгрузка неполных бункеров позволяет сократить взаимообусловленные простои комбайнов и транспортных средств, повысить производительность, а следовательно, и надежность всей технологической системы.

## **7.8. Заключение**

Наши исследования по организационным формам машиноиспользования и работы первичного трудового коллектива, на наш взгляд, всегда шли в ногу со временем,

а по некоторым вопросам были в первых рядах. Хотя объемы исследуемой работы здесь таковы, что под силу только большим творческим коллективам.

Здесь нет явно выраженной завершенности, да ее, по нашему мнению, и не должно быть. В этих вопросах всегда будет уместен поиск новых форм и возможностей совершенствования традиционных. Надеемся, что полученные нами отдельные результаты и выводы будут полезны последующим исследователям.

Особо, на наш взгляд, следует остановиться на актуальности проблемы, связанной с механизаторскими кадрами. Несмотря на то, что ситуация усугубляется, исследований (по крайней мере публикаций) по этой проблеме почти нет. Ей не уделяют должного внимания ни ученые (и специалисты) агроинженерного профиля, ни экономисты, ни представители других отраслей наук (а здесь нужны еще и социология, и психология, и педагогика).

Возможно, этой «многопрофильностью» проблемы во многом и объясняется такая ситуация. Конечно, это дополнительные трудности, вероятно, они отпугивают. Но, с другой стороны, всегда отмечалось, что исследования на стыке наук более продуктивны и желательны.

А сейчас трудно встретить анализ (или хотя бы просто данные) по кадрам механизаторов (обеспеченность и потребность, распределение по квалификации, стажу работы, возрасту, где и в каком объеме организована подготовка и т.п.). Эти простые вопросы (и другие более глубокие исследовательские задачи) требуют ответа и решения. К этому мы и призываем.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Вольф Т.Т.* Эффективность технологического обслуживания зерноуборочных комбайнов в уборочно-транспортных отрядах / Т.Т. Вольф, В.С. Кемелев, А.В. Пискарев // Науч.-техн. бюл. / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1983. – Вып. 34. – С. 13-15.
2. *Инженерно-техническая* система обеспечения устойчивого развития АПК Новосибирской области: рекомендации / РАСХН. Сиб. отд-ние. СИБИМЭ. – Новосибирск, 2001. – 168 с.
3. *Методика* внедрения поточно-циклового метода выполнения механизированных работ в растениеводстве / ВИИТиН. – Тамбов, 1987. – 64 с.
4. *Методологические* проблемы социологического исследования мобильности трудовых ресурсов / под. ред. Т.И. Заславской. – Новосибирск, 1974.
5. *Опыт* организации и оплаты труда на уборке зерновых/ М.Н. Разумов, А.В. Пискарев; Новоси�. ЦНТИ. – Новосибирск, 1980. – 4 с.
6. *Организация* использования тракторов К-700 и К-701 в сельскохозяйственном производстве: метод. рекомендации / В.П. Колчанов, В.В. Лазовский, П.П. Милаев, А.В. Пискарев, М.Н. Разумов, В.Л. Рыбакова; СО ВАСХНИЛ. – Новосибирск, 1979. – 50 с.
7. *Орлов В.Н.* Формирование и рациональное использование кадров механизаторов в колхозах и совхозах/ В.Н. Орлов, В.П. Зубко; ВНИИТЭИСХ. – М., 1980. – 66 с.
8. *Основы* инженерной психологии: учеб. пособие / под ред. Б.Ф. Ломова. – М.: Высш. шк., 1977. – 335 с.
9. *Первичный* трудовой коллектив в сельском хозяйстве (социально-экономические проблемы формирования)

/ под. ред. В.А. Тихонова. – М.: Экономика, 1979. – 280 с.

10. *Першукевич П.М.* АПК Сибири: тактика и стратегия экономических реформ / РАСХН. Сиб.отд-ние. СибНИИЭСХ. – Новосибирск, 2001. – 420 с.
11. *Процесс* социального исследования (вопросы методологии). – М.: Прогресс, 1975. – 576 с.
12. *Пискарев А.В.* Формирование и техническое оснащение первичных трудовых коллективов в растениеводстве // Проблемы реализации продовольственной программы сибирского региона в новых условиях хозяйствования / Новосиб. с.-х. ин-т. – Новосибирск, 1989. – С. 171-172.
13. *Пискарев А.В.* Управление техническими системами: учеб. пособие / Новосиб. гос. аграр. ун-т. – Новосибирск, 2010. – 144 с.
14. *Пискарев А.В.* Эффективное использование энергонасыщенных тракторов / А.В. Пискарев, М.Н. Разумов // Техника в сельском хозяйстве. – 1980. – № 4. – С. 44-45.
15. *Пискарев А.В.* Особенности и условия эффективного использования уборочной техники при дефиците механизаторских кадров // Науч.-техн. бюл./ ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1981. – Вып. 35. – С. 15-17.
16. *Разумов М.Н.* Поточно-цикловой метод использования сельскохозяйственной техники в звеньях и бригадах: лекция / М.Н. Разумов, В.А. Никитин; Новосиб. с.-х. ин-т. – Новосибирск, 1989. – 44 с.
17. *Рекомендации* по производительному использованию тракторов типа К-700 групповым методом в составе отрядов. – М.: ГОСНИТИ, 1985. – 64 с.
18. *Рекомендации* по организации механизированных звеньев с аккордно-премиальной оплатой труда и повре-

менным (безнарядным) авансированием. – М.: МСХ, 1970. – 26 с.

19. *Саклаков В.Д.* Комплексные отряды на уборке урожая / В.Д. Саклаков, Г.А. Окунев // Тр. ЧИМЭСХ. – 1977. – Вып. 124. – С. 8-15.
20. *Социология: учеб.* / отв. ред. П.Д. Павленок. – М.: Маркетинг, 2002.
21. *Тихонов В.А.* Механизированные звенья с аккордно-премиальной оплатой труда и повременным авансированием / СО ВАСХНИЛ. – Новосибирск, 1976. – 58 с.
22. *Шляпентях В.Ш.* Проблемы достоверности статистической информации в социологическом исследовании. – М.: Статистика, 1973. – 125 с.
23. *Эффективное* использование тракторов типа К-700 в сельскохозяйственном производстве Западной Сибири: рекомендации / В.П. Колчанов, В.В. Лазовский, П.П. Милаев, А.В. Пискарев, М.Н. Разумов, В.Л. Рыбакова. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 40 с.
24. *Ядов В.А.* Социологическое исследование: методология, процедура, методы. – М., 1972.



# Приложение

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель\_\_\_\_\_

Хозяйство \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_

## АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

возделывания сельскохозяйственных культур в полях севооборота \_\_\_\_\_ по подразделению \_\_\_\_\_ с.-х. предприятия на период уборки урожая и основной обработки почвы

Составили:

-от агрономической службы\_\_\_\_\_

- от инженерно-технической службы\_\_\_\_\_

## Характеристика посевов

Номер поля	Культура, сорт	Площадь, га	Дата сева	Состояние посева							Назначение посева (семенной, товарный, ценный сильный сорт)	Урожай основной продукции, ц/га		Примерный срок созревания		Планируемый вид уборки, га	
				густота, шт/м <sup>2</sup>	высота, см	засоренность			вредители	болезни		ожидаемый	фактический	50-80% твердой спелости, 20-50% восковой	твердая спелость (100%)	прямая	раздельная
						тип	балл	трудно-отделимые сорняки									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Продолжение приложения

Технология уборки

Календар- ный срок	Технологи- ческие требования	Скашивание в валки				Подбор и обмолот					Транспортировка зерна			
		дневной темп, га	марка жатки	дневная норма, га	требу- ется жаток	кале- ндар- ный срок	дневной темп, га	марка ком- байна	днев- ная норма, га	требу- ется ком- бай- нов	днев- ной сбор зерна, т	рас- стоя- ние до то- ка, км	марка транс- порта	потреб- ность в транс- порте
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33

Продолжение приложения

Прямая уборка						Транспортировка зерна				Уборка соломы			
календарный срок	технологи- ческие требования	дневной темп, га	марка комбайна	дневная норма, га	требует- ся комбай- нов	днев- ной сбор зерна, т	рассто- яние до тока, км	марка транспо- рта	потреб- ность в транс- порте	изме- льче- ние, га	сво- лаки- вание, га	ожи- даемый сбор, т	срок убор- ки
34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47

Технология основной обработки почвы и влагонакопления

Планируется разместить культуру	Лущение стерни		Внесение удобрений под основную обработку			Основная обработка					Щелева- ние, лунко- вание и др., га	Снегонакопление		
	пло- щадь, га	календ. срок	органи- ческих, т/га	минеральных		вид	пло- щадь, га	календа- рный срок	техно- логи- ческие требо- вания	марка машин		приемы	пло- щадь, га	техно- логичес- кие требова- ния
				вид удоб- рения	доза, ц/га									
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62

Разработчики: \_\_\_\_\_  
(подписи)

Дата \_\_\_\_\_

## Содержание

Предисловие .....	3
Введение .....	7
1. Технологические системы машиноиспользования в растениеводстве: определение, формирование и анализ с позиций системного подхода .....	11
1.1. Методология системного подхода: сущность и основные понятия .....	11
1.2. Системный подход – методологическая основа исследований по машиноиспользованию .....	15
1.3. Общая концепция формирования технологической системы машиноиспользования в процессах растение- водства .....	18
1.4. Основные элементы технологической системы, границы системы и среды .....	23
1.5. Характеристика основных взаимосвязей в технологической системе .....	28
1.6. Структура технологической системы и методические подходы к ее анализу .....	33
1.7. Классификационные признаки и общесистемные характеристики ТСМПР .....	38
1.8. Некоторые методические подходы к исследованию ТСМПР с учетом стохастического характера и неопределенности систем .....	40
1.9. Заключение .....	45
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	48
2. Надежность технологических систем машиноисполь- зования в растениеводстве: концептуальные основы, элементы теории и методологии .....	53
2.1. Общая концепция надежности технологической системы .....	53
2.2. Характеристика отказов технологической системы .....	57

2.3. Основные показатели надежности технологических систем и их характеристика .....	62
2.4. Теоретические предпосылки к обоснованию модели оценки надежности ТСМПР .....	69
2.5. Закономерности отказов первичных элементов технологической системы машиноиспользования .....	74
2.6. Обоснование и аналитическое исследование методов оценки надежности функционирования машинного агрегата .....	81
2.7. Прогнозирование надежности технологических систем на вероятностно-статистической основе .....	97
2.8. Оценка надежности технологической системы по параметрам производительности .....	103
2.9. Экономические аспекты оценки надежности сельскохозяйственной техники и технологических систем .....	107
2.10. Заключение .....	113
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>	<b>116</b>
3. Теоретические основы совершенствования методов анализа и расчета при проектировании машиноиспользования в составе технологических систем с целью повышения их надежности .....	123
3.1. Исходные положения и предпосылки .....	123
3.2. Аналитическое исследование и анализ зависимости потерь урожая от продолжительности выполнения технологических процессов .....	129
3.3. Метод определения рациональной длительности выполнения процессов и потребности в технике по минимуму среднестатистических потерь урожая .....	139
3.4. Дифференцированный учет метеорологических условий при проектировании технологических систем .....	142
3.5. Методы оптимизации решений по продолжительности выполнения технологических процессов и потребности в технике .....	146

3.6. Методы анализа обеспеченности хозяйства техникой для формирования надежных технологических систем .....	151
3.7. Обоснование вероятностных методов учета неопределенности условий при маневрировании техникой с целью повышения надежности технологических систем .....	161
3.8. Заключение .....	172
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	174
4. Повышение надежности и производительности уборочно-транспортных технологических систем на основе оптимизации взаимодействия основных технологических машин и сборочно-транспортных средств .....	182
4.1. Ретроспективный обзор выполненных исследований и решаемых задач .....	182
4.2. Анализ подходов и методов оптимизации взаимодействия основных технологических машин и сборочно-транспортных средств .....	188
4.3. Методы согласования работы уборочных и транспортных машин: детерминированная модель ....	195
4.4. Повышение надежности систем путем резервирования технологических емкостей для сбора урожая .....	211
4.5. Применение метода имитационного моделирования для исследования взаимодействия уборочных и транспортных машин .....	218
4.6. Заключение .....	224
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	226
5. Результаты экспериментальных исследований эксплуатационной надежности основных технологических машин и восстановления их работоспособности ...	233
5.1. Общая характеристика выполненных исследований .....	233
5.2. Элементы методики экспериментального	

исследования надежности машин .....	239
5.3. Параметры надежности свеклоуборочных комбайнов .....	249
5.4. О надежности зерноуборочных машин .....	254
5.5. Надежность кормоуборочных комбайнов КСК-100 и технологических систем на их основе .....	259
5.6. Сокращение простоев техники при восстановлении её работоспособности в подсистеме ТОР .....	265
5.7. Заключение .....	273
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	274
6. Реализация методологии системного подхода при проектировании и эксплуатации систем на основе инженерных технологических проектов .....	282
6.1. Взаимосвязь технологического проектирования производства продукции и систем для отдельных процессов в растениеводстве .....	282
6.2. Современные стратегии развития земледелия и проектирование производственных технологических процессов .....	289
6.3. Методологические основы и принципы разработки инженерных технологических проектов .....	299
6.4. Состав и содержание технологической документации .....	306
6.5. Экспериментально-производственная проверка эффективности проектирования процессов и систем на основе разработки инженерных технологических проектов .....	314
6.6. Обсуждение и пропаганда предложенного метода проектирования технологических процессов и систем .....	319
6.7. Заключение .....	322
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	324
7. Обоснование методов повышения надежности и эффективности технологических систем путем	

совершенствования организационных форм машиноиспользования и работы первичных трудовых коллективов .....	329
7.1. Об отрядной организации использования энергонасыщенных тракторов (типа К-700) .....	329
7.2. Результаты экспериментально-производственной проверки обоснованности и эффективности отрядной формы организации использования энергонасыщенных тракторов и способов включения их в технологические системы .....	333
7.3. Участие в изучении, апробации и внедрении прогрессивных форм использования техники и поточно-циклового метода выполнения работ в растениеводстве .....	343
7.4. Некоторые аспекты формирования и организации работы подсистемы «первичный трудовой коллектив» в условиях дефицита кадров механизаторов .....	354
7.5. Результаты производственной проверки эффекти- вности работы студенческих трудовых коллективов в составе уборочно-транспортных технологических систем .....	356
7.6. Опыт организации и оплаты труда в безнарядных первичных трудовых коллективах при недостатке кадров механизаторов .....	360
7.7. Социально-психологические факторы стабильности звеньев механизаторов с коллективной оплатой труда: фрагменты социологического исследования .....	365
7.8. Заключение .....	372
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	374
Приложение .....	377



Научное издание

**Пискарев Александр Васильевич**  
кандидат технических наук, профессор

**НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ:  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НА  
ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА**

Редактор  
Компьютерный набор  
Компьютерная верстка

Н.К. Крупина  
Н.В. Соболева  
Т.А. Измайлова

Подписано к печати 1 июня 2011 г. Формат 60х84  $\frac{1}{16}$ .  
Объем 17,2 уч.-изд. л., 24,1 усл. печ. л.  
Тираж 100 экз. Изд. № 35. Заказ № 254

---

Отпечатано в издательстве  
Новосибирского государственного аграрного университета  
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб. 106.  
Тел./факс (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru