

Министерство сельского хозяйства РФ
ФГБОУ ВО Казанский государственный аграрный университет
Институт механизации и технического сервиса
Направление «Агроинженерия»
Кафедра «Эксплуатация и ремонт машин»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

Тема Обеспечение работоспособности тракторов с учетом остаточ-
ных ресурсов их агрегатов и узлов (на примере хозяйств Рес-
публики Татарстан)

Магистрант студент


_____ подпись

Гарифуллин Р.Ф.

Ф.И.О.

Руководитель профессор
ученое звание


_____ подпись

И.Г.Галиев

Ф.И.О.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите
(протокол № 10 от 31 января 2020 года)

Зав. кафедрой профессор
ученое звание


_____ подпись

Н.Р.Адигамов

Ф.И.О.

Казань – 2020 г.

Аннотация

к магистерской диссертации Гарифуллина Р.Ф. на тему:
«Обеспечение работоспособности тракторов с учетом
остаточных ресурсов их агрегатов и узлов (на примере хо-
зяйств Республики Татарстан)»

Выпускная работа магистра содержит пояснительную записку на 99 страниц машинописного текста. Пояснительная записка содержит введение, три раздела, выводы, 12 рисунка, 4 таблиц. Используются 54 литературных источников.

Первый раздел состоит анализа состояния вопроса, анализа существующих стратегий назначения ТО и Р.

Второй раздел содержит теоретическое исследование обоснования обеспечения работоспособности тракторов с учетом условий их функционирования.

Третий раздел содержит программу экспериментальных исследований, результаты исследований и рекомендации производству.

В диссертации приведены выводы и предложения для производства.

Annotation

to the master's dissertation of Garifullin R.F. on the theme:
"Keeping tractors healthy, taking into account the residual resources of their units and nodes (on the example of farms of the Republic of Tatarstan)"

The master's final work contains an explanatory note for 99 pages of typewritten text. The explanatory note contains an introduction, three sections, conclusions, 12 figures, 4 tables. 54 literary sources were used.

The first section consists of an analysis of the status of the issue, an analysis of existing strategies for assigning TS and R.

The second section contains a theoretical study of the rationale for ensuring the performance of tractors, taking into account the conditions of their functioning.

The third section contains the experimental research program, research results, and recommendations for production.

The thesis contains conclusions and suggestions for production.

Оглавление

Аннотация	2
ВВЕДЕНИЕ	6
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	10
1.1 Анализ существующей стратегии назначения ремонтно-обслуживающих воздействий.....	10
1.2 Цель и задачи исследования	19
2. ОБОСНОВАНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТРАКТОРОВ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ.....	22
2.1 Выбор критерия оптимизации обеспечения работоспособности тракторов	22
2.2. Разработка математической модели обеспечения работоспособности тракторов с учетом остаточных ресурсов их агрегатов и систем и функционирования	34
2.2.1 Обоснование варианта ремонтных воздействий	47
3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	57
3.1. Программа проведения экспериментальных исследований	57
3.2. Обоснование выбора объектов наблюдений.....	59
3.3. Методика сбора и обработки информации	60
3.3.1 Методика сбора информации	60
3.3.2. Методика определения уровня технической эксплуатации тракторов	64
3.3.3. Определение остаточного ресурса агрегатов.....	66
3.3.4. Оценка наработки на отказ трактора	68
3.4. Методика проверки адекватности математической модели по обеспечению работоспособности тракторов	71
3.5. Результаты оценки наработки на отказ двигателя тракторов	73

3.6. Реализация математической модели обеспечения работоспособности тракторов с учетом остаточного ресурса их агрегатов и систем	79
3.7. Рекомендации по обеспечению работоспособности тракторов с учетом условий их функционирования	82
3.8 Расчет экономической эффективности от внедрения результатов исследования в производство	86
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	88
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	91

ВВЕДЕНИЕ

Развитие сельского хозяйства в условиях рыночных отношений сопровождается обострением проблемы эффективности использования техники.

В связи с этим, перед исследователями стоит задача повышение фактической выработки тракторных агрегатов, уменьшение издержек на единицу продукции.

Высокая стоимость тракторов, недостаточность механизаторских кадров, уменьшение технической оснащенности хозяйств и сокращение объемов продукции, произведенный в агропромышленном комплексе (АПК), природно - климатические условия предъявляют особые требования к техническому сервису для поддержания техники в работоспособном состоянии.

Эксплуатационная надежность трактора, износ и старение агрегатов, узлов определяют его основные эксплуатационные и экономические показатели при выполнении операций аграрного производства и находятся в большой зависимости от условий работы.

Существующая в настоящее время системы ремонтно - обслуживающих работ не могут обеспечить надежность выполнения операций в растениеводстве из-за отсутствия методов оптимизации сроков и объемов ремонтно - обслуживающих воздействий машинно-тракторного парка с учетом остаточных ресурсов агрегатов, узлов техники и условий функционирования тракторов в целом.

По причине низкой эксплуатационной надежности тракторов, имеет место значительного перерасхода трудовых и материальных ресурсов. Сложившийся ситуация сдерживает решения важнейших государственных задач по эффективной эксплуатации техники в сельском хозяйстве.

В настоящее время система технического обслуживания и ремонта развивается на основе планового и предупредительного принципов проведения ремонтных и обслуживающих воздействий. Базой оптимизации системы являются информация о долговечности конструктивных элементов машин и результаты диагностирования агрегатов и систем техники. В результате использования полученной информации появляется возможность изучения закономерностей по формированию издержек на поддержание тракторов в работоспособном состоянии, и осуществлять реализацию эффективных энергоресурсосберегающих процессов их технического обслуживания и ремонта.

Обоснование периодов проведения ремонтных работ тракторов выполняется по их выработке, используя закономерности изменения ремонтных затрат, что не позволяет прогнозировать периодичность ремонта и издержки на его проведение при различных условиях аграрного производства с учетом остаточных ресурсов агрегатов и систем техники. Поэтому в настоящее время отсутствуют методы усовершенствования системы технического обслуживания и ремонта тракторов посредством применения управленческих решений, используя сроки и объемы ремонтно-обслуживающих работ.

Состояние трактора, его работоспособность, определяется остаточными ресурсами его агрегатов и систем. В зависимости от изменения остаточного ресурса агрегатов и систем трактора будут меняться показатели их надежности. Поэтому, обоснование сроков и объемов проведения ремонтно-обслуживающих работ должно быть связано с состоянием техники, т.е. остаточными ресурсами, как основных сборочных единиц, так и трактора в целом.

Цель работы заключается в обеспечении работоспособности тракторов с учетом остаточных ресурсов их агрегатов и узлов для различных условий функционирования.

Задачи исследования:

- установить закономерности изменения показателей надежности в зависимости от величины остаточного ресурса агрегатов и систем для различных условий функционирования тракторов;
- разработать математическую модель обеспечения работоспособности тракторов и обосновать рациональные варианты ремонтных воздействий на технику в зависимости от величины остаточных ресурсов агрегатов и систем для различных условий функционирования тракторов;
- разработать мероприятия и практические рекомендации по обеспечению работоспособности тракторов.

Научная новизна работы.

- обоснованы предельные величины остаточных ресурсов агрегатов, которые могут быть заменены предупредительно при ТО-3 с учетом условий функционирования тракторов;
- выявлены закономерности изменения показателей надежности в зависимости от остаточного ресурса агрегатов и уровня технической эксплуатации тракторов.

Практическая ценность и реализация исследований.

Для различных значений уровня технической эксплуатации тракторов в хозяйствах рекомендованы предельные величины остаточных ресурсов агрегатов, которые могут быть заменены предупредительно при ТО-3.

Разработана методика выбора варианта ремонтно-обслуживающих воздействий с учетом остаточных ресурсов агрегатов тракторов и условий функционирования

Годовой экономический эффект от внедрения мероприятий составил 441 28,7 рублей на эталонный трактор.

Научные положения, выносимые на защиту.

1. Методика выбора варианта ремонтно-обслуживающих воздействий с учетом остаточных ресурсов агрегатов тракторов и условий функционирования;
2. Закономерности изменения показателей надежности тракторов в зависимости от остаточных ресурсов его агрегатов и уровня технической эксплуатации.
3. Мероприятия по повышению эффективности использования тракторов.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ существующей стратегии назначения ремонтно-обслуживающих воздействий

В сельскохозяйственном производстве применяются следующие стратегии технического обслуживания (ТО): регламентная, «по потребности», комбинированная и планово-предупредительная.

Периодичность обслуживания при хранении машин устанавливается по календарному времени [47].

В работах [30, 34, 42] обоснованы числовые значения наработки до технического обслуживания различных агрегатов, систем и эксплуатационных материалов тракторов, например: в работе [30] определена наработка до замены картерного масла тракторных дизелей, в других работах оптимизированы периодичности обслуживания центробежного маслоочистителя, замены трансмиссионного масла и главной передачи ведущего моста тракторов [34], рассмотрены режимы смазки трансмиссионных механизмов тракторов [42].

Определением оптимальных значений периода проведения ремонтных работ занимались авторы [1, 23] и другие. Ими были определены оптимальные периоды между капитальными ремонтами по результатам изменения экономического показателя - эксплуатационных затрат [23]. В работе определены значения межремонтных периодов при рассмотрении групп машин различных «возрастов» используя статистические методы по минимальным удельным издержкам с учетом сроков службы наименее долговечных деталей.

В работе [1] рассмотрена задача оптимизации сроков службы машины и агрегатов, при этом оптимизируется стратегия назначения ремонтно — об-

служивающих работ. Однако, метод основанной на динамическом программировании может дать желаемый результат, при незначительном количестве видов восстанавливающих работ.

В работе [17] предложены методика вычисления периодов проведения ТО и ремонта по соответствующим величинам периодов обслуживания ее агрегатов. Это явилось важным вкладом в теорию планового ТО техники, который объединил разнородные обслуживающие работы в общую систему и явился основой для формирования цикла ТО. Поскольку при назначении систем воздействий может возникнуть проблема обоснования и оптимального порядка их реализации, который позволяет достичь минимального времени, затрат финансовых вложений и материалов на проведение ремонтно - обслуживающие работ.

Авторы работ [26, 48] предлагают осуществлять индивидуально - дифференцированный подход к назначению периодичности ремонтно-обслуживающих воздействий, поскольку необходимо учитывать многообразие условий функционирования техники. В работе [15] предлагается учитывать условия эксплуатации сельскохозяйственной техники, в работе [3] для этого предлагается разделить страну на 15 нормативных зон.

Позволило значительно сократить затраты на обеспечение работоспособности машин и оборудования в результате совершенствования регламентной стратегии назначения ремонтно-обслуживающих воздействий и реализации на практике установленной периодичности возобновления их элементов.

В работе [18] автор пришел к выводу, что регламентная стратегия устранить затраты от необоснованного ТО и ремонта техники в принципе не может.

Не выполнение основных требований, которые предъявляются к комплексу ТО и ремонта, обеспечивающие полное выполнение потребного комплекса мероприятий, предупреждающие отказы техники, с минимумом издержек может объясняться принципиальными недостатками регламентной стратегии определения необходимости ремонтно - обслуживающих работ.

В работе [20] отмечено, что в рядовой эксплуатации на интенсивность износа агрегатов могут оказать влияние конструкторские случайные факторы и факторы при использовании техники. Как результат, скорость износа однотипных частей тракторов одной марки могут нести вероятностный характер, в связи с этим возникновение потребности их в ТО и ремонте будут в различные периоды эксплуатации. Из-за не обеспечения гарантированной своевременности назначения ремонтно - обслуживающих воздействий сельскохозяйственная техника отказывает, расход ремонтных ресурсов на обеспечение ее исправного состояния возрастают [34].

Совершенствование системы ТО и ремонта основана на стратегии обоснования вида и объема ремонтно - обслуживающих воздействий по величине износа агрегатов трактора, т.е. по остаточному ресурсу агрегатов с учетом многообразия меняющихся факторов. При этом износ техники может оцениваться посредством постоянного контроля или контроля через определенные промежутки времени.

При периодическом контроле состояния агрегатов техники во время плановых ТО, номенклатура работ по ТО начнется со слов: «Провести проверку и по результатам выполнить следующие операции...». По результатам диагностических показателей техники определяют номенклатуру работ ремонтно - обслуживающих воздействий, которые необходимы для нормального функционирования трактора.

Работы [21, 27] внесли большой вклад в совершенствование этой стратегии обоснования ремонтно - обслуживающих работ. Быстродействием и стоимостью измерительной аппаратуры, необходимой периодичностью проведения контроля выражается эффект от управления назначением ТО технике при дискретном контроле [18]. При контроле кроме диагностических приборов и оборудования, которые входят в состав технологической оснастки пункта ТО техники могут использоваться и их штатные средства.

В работах [38, 39] рассматриваются вопросы перспективных форм организации ремонта техники агрегатным методом, отвечающие своевременным требованиям в области ремонта и т.е. восстановления работоспособности.

Перспективность агрегатного метода восстановления работоспособности тракторов показали теоретические исследования и производственная проверка [2, 4, 7, 8]. Исследования прогрессивных форм организации текущего и капитального ремонтов машин являются основой возможности разработки типовых положений в области организации применения агрегатного метода восстановления работоспособности машин в АПК.

Восстановление работоспособность машины в целом осуществляется за счет устранения последствий отказов трактора путем замены его отдельных неисправных или изношенных агрегатов и узлов отремонтированными или новыми из обменного фонда.

Разноресурсность, автономность и конструктивная законченность узлов и агрегатов, которые легко демонтируются и монтируются на тракторы, служит причиной применения агрегатного метода ремонта современных машин.

Применение агрегатного метода ремонта хорошо зарекомендовал себя в строительной энергетике, в лесном комплексе, в АПК [19]. Иностранцами

государствами, такие как США, Великобритания, Германия, Чехия, Болгария и другие, агрегатный метод эффективно применяется [4, 41].

Под научным руководством сотрудника ВИМ Б.С.Ферберга был организован первый опыт использования агрегатного метода ремонта в сельском хозяйстве нашей страны в начале 50-х годов в Мишеровской МТС (Ростовская область).

Начиная с 1969 года ГОСНИТИ и его филиалы, ЧИМЭСХ, Эстонская СХА, Сибирская ИМЭ и другими были приложены усилия, а также были проведены исследовательские разработки по внедрению агрегатного метода восстановления работоспособности машин в АПК.

Являясь одной из форм последовательного восстановления технического ресурса тракторов [177] агрегатный метод ремонта привлекает внимание многих ученых и практических работников. Последовательное восстановление технических ресурсов сборочных единиц тракторов снижает в них внутренние возмущения. Это не представляется возможным достижения, к примеру, ремонтом отдельных агрегатов трактора. Поэтому, восстановление ресурса техники агрегатным методом, т.е. замена элементов, является не обычным восстановлением работоспособности. Уменьшение интенсивности увеличения внутренних возмущений в агрегатах и узлах трактора, увеличения длительности стабильного выполнения ими заданных функций [43], является основным назначением ремонта тракторов агрегатным методом. В работах [1, 9, 43] проведены исследования по назначению ремонтных воздействий на тракторы по их техническому состоянию. По результатам диагностирования элемента машин, используя технико-экономический критерий предложена методика для назначения ремонтно -обслуживающих воздействий [9]. Сущность метода заключается в прогнозировании показателей безотказности элементов трактора по результатам их диагностирования [9].

Недостатком данного метода является многочисленность элементов трактора, которые участвуют при оценки его надежности по показателям безотказности элементов.

На основании оценки технического состояния тракторов вектором остаточных ресурсов их основных агрегатов, авторы [1] предлагают сделать вывод о необходимом объеме различных ремонтно -обслуживающих воздействий.

В результате изменения сроков и объема ремонтно -обслуживающих работ [33] становится возможным повлиять на требуемый уровень безотказности, разных по выполняемым видам работ, машинно-тракторных агрегатов.

На основании экономической целесообразности осуществляется выбор такого показателя как критерий обоснования межремонтных наработок и объемов работ по восстановлению работоспособности. Таким критерием может издержки на ремонтно -обслуживающие воздействия тракторов.

В работах [18, 36, 39] ведутся исследования по обоснованию режимов процессов технического обслуживания машин с дискретным и непрерывным их контролем в зависимости от характеристик технических средств контроля. Их суждения основаны на разработке оптимизационных моделей издержек на поддержание и восстановление работоспособности техники.

Вследствие недостатков методики расчета издержек, по абсолютной величине, составляющие более половины затраты на устранение последствий отказов сельскохозяйственной техники, они определяются весьма приближенно.

В исходную информацию при расчетах оптимальных вариантов назначения ремонтно-обслуживающих воздействий включаются средние значения часовых простоев тракторов. Поэтому расчеты проводятся без учета

особенностей производственных условий хозяйств АПК в периодах цикла сельскохозяйственных работ. Однако, издержки варьируют в значительных пределах в зависимости от периода сельскохозяйственного цикла. Для колесных тракторов марки К-700А средние значения издержек за час простоя соответствует 5,72 руб., однако, в других периодах эксплуатации эти издержки варьируют от 0,5 до 45 р. [32]. Предлагаются, так же средние значения и других показателей, которые характеризуют специфику ведения хозяйства.

При не хватке информации о диагностических параметрах состояния тракторов не возможно осуществить прогноз показателей их безотказности в известных периодах наработки техники, т.е. определить по износу агрегатов при отсутствие метода определения показателей безотказности.

В связи с этим АПК страны несет большие издержки, поскольку ремонтно -обслуживающие работы проводятся или преждевременно или поздно. В работе [157] отмечено, что ремонтный фонд тракторов имеет агрегаты с большим не использованным ресурсом, который и является доказательством преждевременного назначения восстановления работоспособности.

Убыточное списание техники, а также их не прибыльное использование в производстве по причине, того что ими не выработано установленные полные или межремонтные ресурсы, хотя по износу следовало бы назначить ремонт или списать, отмечено в работе [16].

Базовые рекомендации к методам обоснования сроков и объемов ремонтно -обслуживающих воздействий техники по их износу и состоянию можно свести к следующим: необходимость учета всей системы ремонтно -обслуживающих работ по поддержанию и восстановлению ресурса; необходимость прогнозировать издержек на эксплуатационный ремонт техники по

данным параметров диагностирования, которые характеризуют условия ее функционирования, возможность обеспечить выбор рационального варианта ремонтно - обслуживающих работ решения оптимизационной задачи по критерию минимума издержек на ТО и восстановление работоспособности.

Для определения остаточных ресурсов основных сборочных единиц тракторов необходимо провести диагностирование. В связи с выработкой остаточный ресурс уменьшается, и увеличиваются при проведении ремонтных работ, восстанавливающих его.

Нестабильностью издержки вследствие потерь продукции из-за простоя техники при устранении последствий отказов тракторов определяют специфику сельского хозяйства. Причиной варьирования величин послеремонтного технического ресурса сборочных единиц тракторов по регионам является то, что технологический уровень ремонтных предприятий в земледельческих зонах различен.

В связи с тем, что тракторный парк хозяйств насчитывает большое число модернизаций машин одной марки, исходное техническое состояние которых различны, невозможно обосновать выбор рациональных вариантов ремонтных воздействий без привлечения ЭВМ. Привлечение ЭВМ при распределении сельскохозяйственных работ по тракторам и выбора оптимальных вариантов их ТО и ремонта возможен, поскольку современный уровень развития средств в этом направлении позволяют это осуществить.

Исходя из анализа литературных источников выявлено, что такие подходы учеными были предприняты и полученные теоретические и практические выкладки являются весьма ценными. Так, в работе [5] представлен метод назначения ТО и ремонта техники по периодам сельскохозяйственных работ. Однако, метод основан на регламентном стратегии планирования ремонтно - обслуживающих работ, при этом исследователи не учитывают фак-

техническое состояние агрегатов, их степень износа и возможные затраты на простой по причине их отказов.

Вышеизложенные стратегии так же учитывают изменения в допустимых пределах продолжительности сельскохозяйственных операций до проведения плановых воздействий. Варьировать продолжительностью выполнения сельскохозяйственных операций между ТО допустимо при возникновении надобности в их проведении по раньше планового периода. Чаще всего эта необходимость может возникнуть в результате отсутствия техники или наличием напряженного периода. Наиболее перспективным при обосновании вида и объема ТО машин в АПК является ТО «по потребности» с учетом параметров состояния, т.е. в результате проведения диагностирования.

Проведенные в ГОСНИТИ исследования показали, что действующей регламентной системе технического обслуживания имеется альтернативные стратегии. Смысл их заключается в уменьшении объема профилактических воздействий без снижения общего объема ремонтно -обслуживающих работ. Однако, возникает необходимость придерживаться некоторых правил, которые основаны на разделении операций ТО по весомости с выделением основных, весомых операций, влияющих на надежность техники, финансовый потенциал эксплуатационника, климатические условия [46].

Предлагается следующая стратегия выполнения операций по ТО машин: z_1 - по результатам постоянного контроля технического состояния; z_2 - по результатам периодического контроля технического состояния; z_3 - по заданной периодичности; z_4 - по графику; z_5 - после потери работоспособности [46].

Предполагается возможным исключить отмеченные недостатки существующих методов, проводя поиск решений по своевременному проведению ремонтно-обслуживающих работ, на основе многошагового управления техническим состоянием каждого трактора, целенаправленное формирование которого позволяет обеспечить работоспособность тракторного парка в целом с минимальными затратами средств и труда.

1.2 Цель и задачи исследования

Повышение эффективности функционирования тракторов и сельскохозяйственных машин путем обоснования оптимальных значений сроков и объемов ремонтно-обслуживающих воздействий в основном может быть определена повышением эффективности эксплуатации техники в АПК. Решение этой задачи связано проблемой оптимизации сроков и объемов ремонтно-обслуживающих воздействий тракторов с учетом условий их использования и состояния.

Исходя из литературного анализа можно сделать вывод, что в этой области имеется достаточный научный потенциал, который определяет перспективы совершенствования системы обеспечения работоспособности на основе регламентного принципа назначения ремонтно-обслуживающих работ, с применением диагностического оборудования и ЭВМ. Однако существующая стратегия обеспечения работоспособности сельскохозяйственной техники (СХТ) не позволяет реализовать ее планирование как комплекс с работ с изменчивой структурой, который зависит от остаточных ресурсов агрегатов, условий функционирования техники и обеспечивающий работоспособность тракторов с минимальными затратами средств. Ее целенаправленному совершенствованию способствует обоснование и создание метода

построения процесса обеспечения работоспособности тракторов на основе закономерностей влияния остаточного ресурса агрегатов, узлов на надежность и технический ресурс сборочных единиц с учетом условий функционирования. Это позволит осуществить своевременную разработку нормативной базы системы технического обслуживания и ремонта.

Научная задача определяется, как необходимость установить закономерности влияния состояния тракторов их степени износа, т.е. остаточного ресурса агрегатов и узлов на надежность с учетом условий функционирования с целью повышения эффективности эксплуатации тракторов, в результате внедрения, которого устранится противоречие между потенциальными возможностями техники и фактическим состоянием их использования.

На основе предложенных методик могут быть усовершенствованы методы по определению оптимальных значений периодов проведения ремонтных воздействий тракторов и правил их назначения.

Решением изложенной проблемы может быть повышение эффективности эксплуатации тракторов путем оптимизации сроков ремонта и службы техники с учетом от остаточных ресурсов агрегатов и узлов. При учете условий функционирования и состояния тракторов для обоснования сроков и объемов ремонтно - обслуживающих работ приведет к значительному уменьшению издержек на эксплуатационный ремонт, издержек вследствие простоев при ремонте машин.

Цель работы заключается в обеспечении работоспособности тракторов с учетом остаточных ресурсов их агрегатов и узлов для различных условий функционирования.

Для достижения поставленной цели исследования необходимо решить следующие задачи:

- установить закономерности изменения показателей надежности в зависимости от величины остаточного ресурса агрегатов и систем для различных условий функционирования тракторов;

- обосновать рациональные варианты ремонтных воздействий на технику в зависимости от величины остаточных ресурсов агрегатов и систем для различных условий функционирования тракторов;

- разработать мероприятия и практические рекомендации по повышению эффективности эксплуатации тракторов.

2. ОБОСНОВАНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТРАКТОРОВ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

2.1 Выбор критерия оптимизации обеспечения работоспособности тракторов

В соответствии с ГОСТ 27.002-83 работоспособность – это состояние, при котором машина выполняет заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации. Время нахождения трактора в работоспособном состоянии в определенном году эксплуатации зависит от его надежности. Оценивается надежность коэффициентом технического использования, который учитывает затраты времени на ТО и ремонт [12].

В процессе использования тракторов по назначению увеличиваются износы их сопряжений, возрастает уровень внутренних возмущающих воздействий (таких, как вибрация элементов, нарушение геометрии взаимного расположения элементов и т.д.) в агрегатах. Количество отказов возрастает, все чаще машина теряет работоспособность.

Частота наступления отказов носит случайный характер, так как тракторы работают в условиях изменяющихся внешних воздействий. Главные из этих воздействий, как уже было рассмотрено в главе 2, обусловлены техническими условиями (уровнем технической эксплуатации) и физико-механическими свойствами почвы (влажностью, плотностью, механическим составом), рельефом полей, определяющим затраты энергии на передвижение агрегата и обработку почвы, запыленностью воздуха и т.д.

Восстанавливается работоспособность машин в результате проведения ремонтно-обслуживающих работ, поддерживается — с помощью операций технического обслуживания.

При агрегатном методе ремонта тракторов планово-предупредительная система ТО и ремонта включает следующие ремонтно-обслуживающие работы:

- периодическое техническое обслуживание;
- устранение последствий отказов тракторов;
- плановый текущий ремонт тракторов по состоянию на основе замен их узлов и агрегатов;
- плановый полнокомплектный ремонт.

Функциональная схема изменения технического состояния тракторов приведена на рис.2.1.

Оценочным показателем эффективности системы ТО и ремонта являются удельные затраты на поддержание машин в работоспособном состоянии.

Выбор сроков и объемов ремонтно-обслуживающих воздействий должен определяться по экономическому критерию с учетом конкретных условий функционирования в сельскохозяйственном производстве: объема работ, количества тракторов и их технического состояния.

Большие возможности сокращения трудовых и материальных затрат на обеспечение работоспособности сельскохозяйственной техники заложены в применении агрегатного метода ее ремонта. Однако возможности этой перспективной формы организации ремонтного производства используются далеко не полностью, и показатели, характеризующие надежность машин, значительно ниже потенциальных значений. В результате машиноиспользователи превышают нормативные издержки на техническое обслуживание и

ремонт техники и не получают номинальных значений ее производительности. Одной из причин такого положения является значительное недоиспользование технического ресурса узлов и агрегатов машин, несмотря на применение методов и средств прогнозирования их технического состояния.

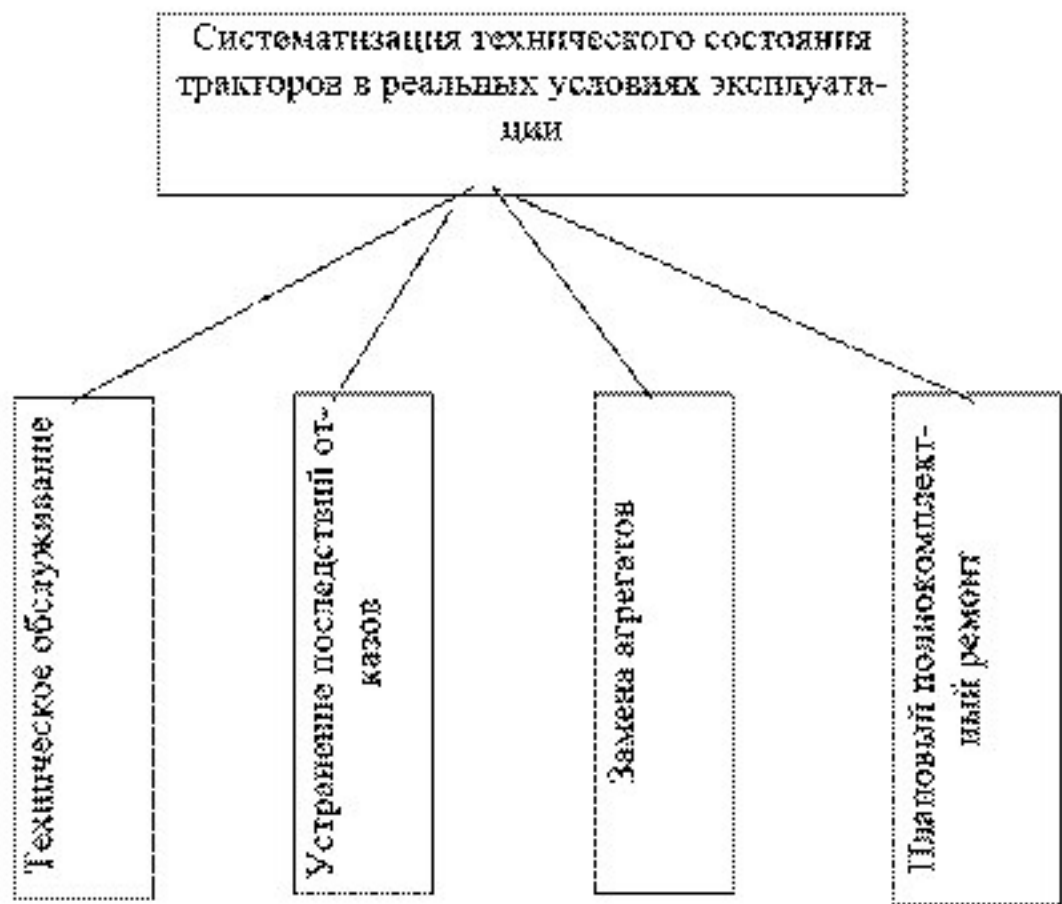


Рисунок 2.1 - Функциональная схема изменения технического состояния тракторов

К недоиспользованию ресурса приводит специфика сельскохозяйственного производства, которая состоит в сезонном характере механизированных работ. В соответствии с агротехническими требованиями операции по

возделыванию сельскохозяйственных культур выполняются в относительно короткие сроки. Недостаточная надежность техники в напряженные периоды приводит к простоям, растяжению сроков и ухудшению качества работ. В результате снижается выход и ухудшается качество продукции, увеличивается ее себестоимость. Для обеспечения высокой готовности техники к проведению полевых работ проводится предупредительный ремонт. Как правило, агрегаты, остаточные ресурсы которых ниже, необходимого значения для выполнения предстоящего объема механизированных работ, заменяются, что приводит к потере технического ресурса.

Данная ситуация в значительной мере объясняется недостатками, заключающимися в отсутствии целенаправленного управления совокупностью факторов, влияющих на работоспособность машин, что не позволяет своевременно оказывать воздействие на показатели их надежности и исключить непроизводительные затраты при использовании техники.

Процесс управления выработкой и восстановлением ресурса базируется на определенных закономерностях старения машин и восстановления их ресурса, что позволяет в процессе моделирования учесть влияние управляемых факторов. Влияние неуправляемых факторов: внешней среды, конструктивно-технологических особенностей объектов машин — учитывается при прогнозировании технического ресурса агрегатов машин, так как эти факторы влияют на величину изменения параметров технического состояния. По мере старения машин затраты на обеспечение их работоспособности возрастают [26]. Удельные потери продукции из-за простоев машин по техническим причинам зависят от времени года. Поэтому стремление к выработке ресурса агрегатов стареющих машин должно увязываться экономическим критерием с необходимостью выполнения технологических работ.

Необходимо кроме выработки технического ресурса регулировать и процесс его восстановления. При этом сроки ремонта должны определяться с учетом сезонности полевых работ и более полного использования ресурса техники. К моменту напряженных полевых работ показатели надежности сельскохозяйственной техники должны быть доведены до уровня, обеспечивающего минимум потерь продукции вследствие простоев.

Следовательно, управление надежностью тракторов заключается в регулировании выработки их ресурсов в зависимости от уровня старения и планирования сроков ремонта с учетом условий функционирования и сезонного характера полевых работ.

В произвольный момент времени каждая машина может находиться в одном из следующих состояний: использоваться по назначению; находиться в техническом обслуживании (ТО); находиться в текущем или капитальном ремонте; храниться. Возможные последовательности перехода трактора из одного вида эксплуатации в другой показаны на рис.2.2.

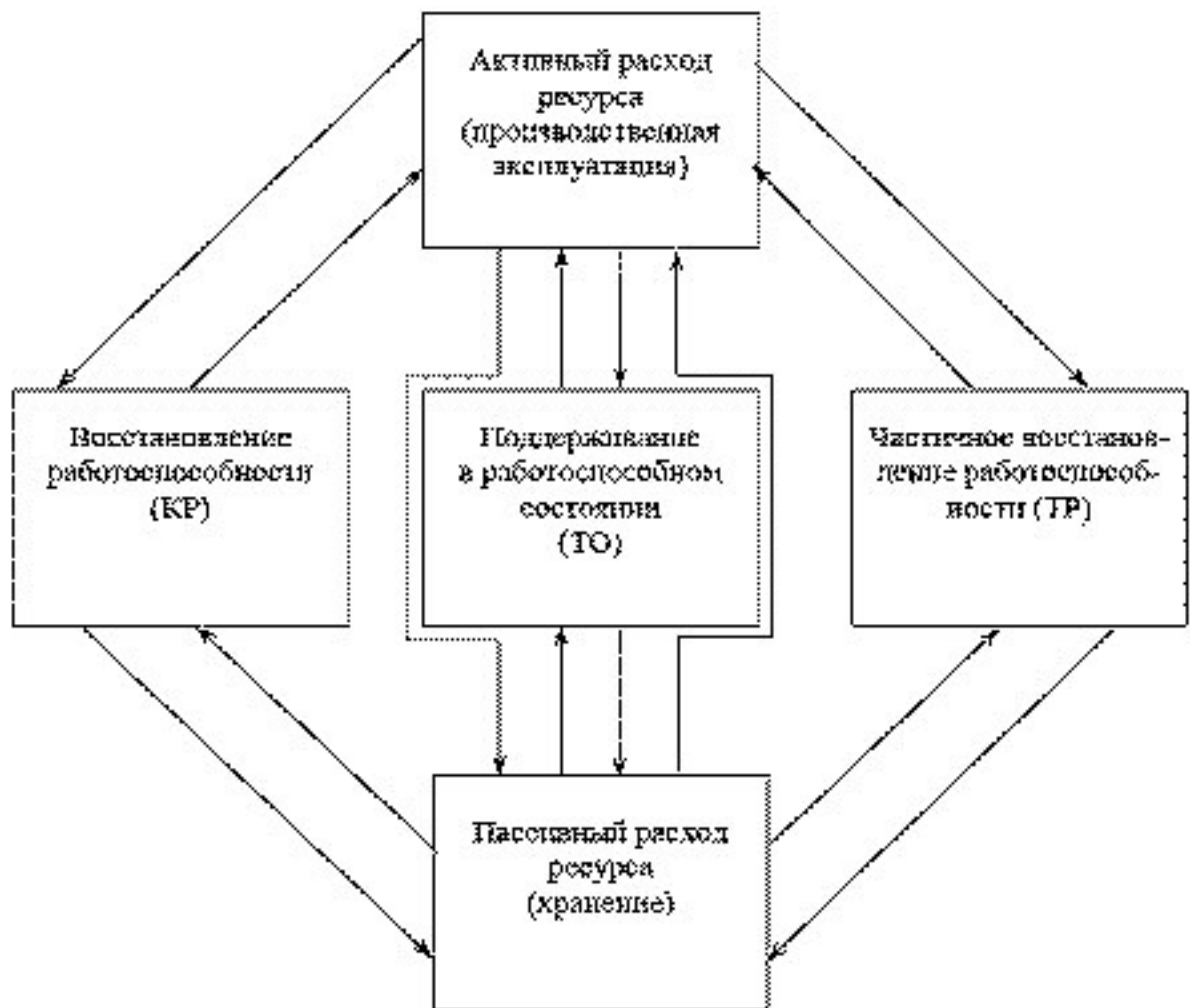


Рисунок 2.2 - Варианты перехода трактора из одного вида эксплуатации в другой

Моменты перехода трактора из состояния «использование по назначению» в другие состояния описаны ниже.

Очередные ЕТО, ТО-1, ТО-2, ТО-3 проводятся в соответствии с существующим регламентом: ЕТО – ежемесячно; ТО-1 – через 125, ТО-2 – через 500, ТО-3 – через 1000 моточасов наработки машины. При текущем ремонте машины устраняются последствия отказов или они предупреждаются. Моменты возникновения нересурсных отказов I, II, III групп сложности машины определяются статистически, так как являются внезапными и не прогно-

зируются. Ремонтные работы в этом случае проводятся по потребности — с целью устранения последствий отказа.

Агрегат заменяется предупредительно — по состоянию и определяется величиной остаточного ресурса. В некоторых случаях одновременно заменяются несколько агрегатов.

При попутном ремонте агрегатов ряд операций (транспортирование, очистка трактора, часть разборочно-сборочных работ, подкраска, обкатка) выполняется один раз. В этом случае уменьшается время простоя машины по сравнению со временем индивидуальной замены агрегатов, уменьшается вероятность отказа агрегатов, имеющих невысокий остаточный ресурс. Однако в этом случае недоиспользуется технический ресурс агрегатов, заменяемых попутно. Следовательно, целесообразность попутной замены необходимо проверять через экономический критерий на основе сравнения затрат на поддержание работоспособности машин по двум вариантам.

Вариант первый — агрегат заменяется попутно с агрегатом, исчерпавшим ресурс. Затраты Z_1 , связанные с попутной заменой, складываются из преysкурантной стоимости агрегата и затрат на устранение последствий отказов в дальнейшей эксплуатации, определяемых остаточным ресурсом агрегата.

Вариант второй — агрегат не заменяется попутно с отказавшим агрегатом. Затраты Z_2 определяются как сумма издержек на устранение последствий отказов, обусловленных величиной остаточного ресурса агрегата, а также полных затрат на замену агрегата после выработки ресурса.

Если $Z_1 \leq Z_2$, то агрегат заменяют попутно с отказавшим. В противном случае попутная замена рассматриваемого агрегата нецелесообразна.

В капитальный ремонт трактор отправляют в том случае, когда он теряет работоспособность и текущий ремонт экономически нецелесообразен.

Тракторы ставятся на хранение в соответствии с ГОСТ 7751-79 [13]: межсменное, когда, перерыв в использовании машины меньше или равен 10 дням; кратковременное — от 10 дней до 2 месяцев и длительное — более 2 месяцев.

Время использования машины по назначению в некотором году определяется коэффициентом сменности, установленным для данного периода, кроме того, учитывается время простоя машины в ТО и ремонте.

Время нахождения машины в ТО регламентировано [53]. Предполагается, что ЕТО, ТО-1, ТО-2 проводятся вне времени смены, следовательно, при использовании машины по назначению в рассматриваемом году необходимо учитывать только время нахождения машины в ТО-3.

Время нахождения машины в текущем ремонте складывается из времени на устранение последствий отказов и времени на предупредительную замену агрегатов. Продолжительность устранения последствий отказа определяется в зависимости от групп сложности отказа [45]. Время на замену агрегата определяется по технологическим картам [52].

Машина находится на хранении, если не используется по назначению и не ремонтируется свыше нормативного времени [13].

Нарушение работоспособности трактора происходит вследствие отказа какого-либо агрегата. Отказ агрегата связан, как правило, с отказом одного из его элементов. Если отказал элемент, определяющий технический ресурс агрегата, то необходим капитальный ремонт агрегата. Агрегат демонтируется и заменяется на работоспособный.

Агрегат, исчерпавший ресурс, может быть заменен на новый или капитально отремонтированный. При замене необходимо учитывать состояние остальных агрегатов трактора.

По трудоемкости и стоимости устранения последствий отказов среди агрегатов трактора наибольшее значение имеет двигатель, поэтому он рассматривается обособленно. При замене вспомогательного агрегата двигателя ресурс обменного агрегата определяется остаточным ресурсом двигателя:

$$t_{\alpha}^p \geq T_{\alpha\alpha}, \quad (2.1)$$

При замене агрегатов остальных систем машин остаточный ресурс обменного агрегата t_{α}^p определяется наработкой машины до или между капитальными ремонтами, то есть

$$t_{\alpha}^p \geq T_p, \quad (2.2)$$

Если трактор новый или капитально отремонтированный, то учитывается регламентная наработка. Доремонтная и межремонтная наработки уточняются при очередном ТО-3.

В качестве оценки ресурса нового (капитально отремонтированного) агрегата для практических расчетов принимается среднее значение остаточного ресурса $\bar{t}_{\alpha}^p$, так как ресурс большинства агрегатов машины имеет нормальный закон распределения [10], поэтому среднее значение остаточного ресурса является наиболее вероятным. При очередном ТО-3 оценка состояния трактора уточняется.

Средний ресурс новых агрегатов больше среднего ресурса капитально отремонтированных. Условие (2.1) говорит о том, что остаточные ресурсы заменяемого вспомогательного агрегата двигателя не должны лимитировать остаточный ресурс двигателя, условие (2.2) – о том, что замененный агрегат

должен иметь остаточный ресурс не меньше, чем остаточный ресурс соответствующей межремонтной наработки машины. Однако, новый агрегат имеет не только больший остаточный ресурс, но и большую стоимость, чем капитально отремонтированный. Следовательно, необходимо выбрать такой вариант замены, чтобы остаточные ресурсы основных агрегатов машины не лимитировались и затраты на замену были минимальными.

Учитывая вышеизложенное, естественным является введение правила выбора обменного агрегата. Для вспомогательных агрегатов двигателя оно формулируется следующим образом: если остаточный ресурс двигателя меньше среднего остаточного ресурса капитально отремонтированного агрегата, то выбирается капитально отремонтированный; если остаточный ресурс двигателя больше среднего остаточного ресурса капитально отремонтированного агрегата, то выбирается новый. Для остальных агрегатов машины правило формулируется аналогично, только в качестве ориентира выбирается остаточный ресурс соответствующей межремонтной наработки машины. Другими словами, степень восстановления ресурс j -го агрегата определяется с учетом условий (2.1), (2.2) следующим образом:

для агрегатов двигателя

$$t_j^* = \min(\overline{t_{j0}}, \overline{t_{j01}} \geq T_{j*}) \quad , \quad (2.3)$$

для остальных агрегатов машины

$$t_j^* = \min(\overline{t_{j0}}, \overline{t_{j01}} \geq T_{j*}) \quad , \quad (2.4)$$

где $\overline{t_{j0}}, \overline{t_{j01}}$ - остаточные ресурсы нового и капитально отремонтированного j -го агрегата.

В целях обеспечения работоспособности тракторов целесообразным представляется построение календарного плана, предусматривающего оптимальный выбор машин для выполнения технологических и ремонтно-обслуживающих работ в зависимости от их технического состояния.

В результате построения календарных планов появляется возможность прогнозирования динамики производственного процесса, а также оценки заданных объемов работ с позиции возможностей реализации. Такие особенности использования сельскохозяйственной техники, как наличие большого количества машин, имеющих различное техническое состояние, влияние объективных факторов — погодных условий и т.д. — создают определенные препятствия при оптимизации управленческих процедур.

Значение оптимизации календарного плана особенно возрастает, когда основным источником повышения эффективности управления производственным процессом являются резервы, мобилизация которых может быть достигнута только за счет оптимизации внутрихозяйственных процессов, без привлечения трудовых и материальных ресурсов.

Календарный план решает в первую очередь проблему согласования (синхронизации) действия производственных звеньев, выполняющих технологические операции, звеньев по ТО и т.д.

Анализ календарных планов позволяет получить оценку ресурсов (денежные затраты, горюче-смазочные материалы, запчасти и т.д.), необходимых для выполнения заданных объемов работ.

В математическом программировании созданы эффективные вычислительные методы, позволяющие решать экстремальные задачи с большим числом переменных и ограничений на них [3, 19]

Для теории математического программирования и основных ее приложений характерен однофазовый, одношаговый выбор оптимального решения, таких как распределение выпуска нужной продукции между несколькими производственными участками, определение наилучшего плана перевозок и т.д.

Когда система рассматривается в развитии, одношаговое решение становится непригодным. В этом случае решение должно быть принято на определенное число шагов вперед и задача оптимизации становится многошаговой, динамической. Если для одношаговой задачи основное значение имело нахождение оптимального решения, то для многошаговой задачи, наряду с определением самой программы оптимального развития систем, не меньшее значение имеет и ее практическая реализация, то есть собственно задача управления.

Любая многошаговая задача может рассматриваться и как статическая, а для ее решения возможно привлечение методов математического программирования. Однако непосредственное применение этих методов для решения многошаговых задач обычно не приводит к цели: получающиеся при этом задачи линейного и нелинейного программирования имеют настолько большую размерность, что их невозможно решить даже с помощью современной вычислительной техники. Наиболее эффективным для решения таких задач является вариационный подход, называемый «дискретным принципом максимума» [31].

2.2. Разработка математической модели обеспечения работоспособности тракторов с учетом остаточных ресурсов их агрегатов и систем и функционирования

Комплексным показателем надежности тракторов в k -м году является коэффициент технического использования $K_{т.и.}$. Для определения величины коэффициента технического использования в k -ом году используется статистическая оценка [12]:

$$K_{т.и.}(k) = \frac{\sum_{i=1}^I u_i(k)}{\sum_{i=1}^I u_i(k) + \sum_{i=1}^I t_{в.}(k)}, \quad (2.5)$$

где $u_i(k)$ - время работы i -й машины в k -м году, ч; $t_{в.}(k)$ - время восстановления работоспособности i -й машины в k -м году, ч; I - количество тракторов.

Время восстановления работоспособности i -го трактора в k -м году определяется следующим образом:

$$t_{в.}(k) = t_{т.о.}^{*}(k) + \sum_{g=1}^G \overline{t_{г.}}(k) m_{г.} + \sum_{j=1}^J \overline{t_{а.}}(k) \delta_{а.}(k) + \overline{t_{з.}}(k), \quad (2.6)$$

где $t_{т.о.}^{*}(k)$ - продолжительность ТО i -го трактора в k -м году, $m_{г.}(k)$ - количество отказов g -й группы сложности i -й машины в k -м году, $\overline{t_{г.}}$ - средняя продолжительность устранения последствий отказа g -й группы сложности, ч; $\overline{t_{а.}}$ - средняя продолжительность замены j -го агрегата, ч; $\overline{t_{з.}}$ -

средняя продолжительность капитального ремонта j -го трактора, ч; $\delta_{ij}(k)$ - количество замен j -го агрегата i -го трактора в k -м году; $\delta_{вр,i}(k)$ - количество капитальных ремонтов i -й машины; количество агрегатов трактора.

Величина $\delta_{ij}(k)$ может принимать значения 1, если j -й агрегат i -й машины заменяется вследствие истощения ресурса или предупредительно, и 0, если агрегат не заменяется.

$$\delta_{вр,i}(k) = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ если } i\text{-й трактор сдается в капитальный} \\ \text{ремонт;} \\ 2, \text{ если трактор не сдается в капитальный ремонт} \end{array} \right\}$$

С целью углубления анализа безотказности трактор расчленяется на системы агрегатов. Поскольку нересурсные отказы систем агрегатов являются независимыми, то можно записать:

$$m_{i3}(k) = \sum_{s=1}^n m_{sz}(k) + \sum_{s=n+1}^{n_1} m_{sz}(k), \quad (2.7)$$

где E_1 - общее количество агрегатов систем; E - количество систем агрегатов, показатели безотказности которых рассматриваются индивидуально; $m_{sz}(k)$ - количество отказов g -й группы сложности s -й системы i -го трактора в k -м году.

Отказы систем $E+1, \dots, E_1$ составляют не более 20% от общего числа отказов трактора, поэтому рассматриваются эти системы в совокупности, не

дифференцированно. Безотказность этих систем оценивается наработкой на отказ независимо от остаточных ресурсов составляющих агрегатов.

Экспериментальными исследованиями установлено, что величина $m_{cg}(k)$, ($c=1, E$), зависит от величины остаточного ресурса агрегатов, входящих в c -ю систему и определяется по формуле:

$$m_{cg}(k) = \int_{d_{1k}}^{d_{2k}} T_{cg}(t) dt, \quad (2.8)$$

где $T_{cg}(k)$ - наработка на отказ g -й группы сложности c -й системы, определяемый экспериментальным путем; d_{1k} , d_{2k} - наработка i -го трактора на начало и конец k -го года, м.ч.

В соответствии с ГОСТ 27.002-83 [12] наработка на отказ определяется по формуле:

$$T_{cg}(t) = \frac{\Delta t}{\tilde{m}_{cg}(\Delta t)}, \quad t \in \Delta t, \quad (2.9)$$

где $\tilde{m}_{cg}(\Delta t)$ - математическое ожидание количества отказов g -й группы сложности c -й системы за наработку Δt .

Зависимость количества отказов g -й группы сложности c -й системы от величины остаточного ресурса описывается функцией:

$$m_{cg} = f(T_{cg}) \quad (2.10)$$

Вид зависимости и коэффициенты регрессии определяются в соответствии с разработанной нами методикой. Подставляя конкретные значения остаточного ресурса s -й системы i -й машины в функцию (2.10), получаем параметр потока отказов i -й машины $T_{\alpha s, i}(k)$.

Поскольку состояние системы определяется остаточным ресурсом составляющих его агрегатов, величины которых зависят от уровня технической эксплуатации тракторов, очевидно, целенаправленно изменяя величину последнего, можно влиять на показатели безотказности трактора.

При использовании трактора по назначению остаточные ресурсы всех его агрегатов уменьшается, количество отказов возрастает, в результате ремонтно-обслуживающих воздействий количество отказов трактора уменьшается.

Предупредительно замененные агрегаты, имеющие небольшой остаточный ресурс, в отдельные периоды можно резко сократить количество нересурсных отказов трактора, повышая тем самым коэффициент его технического использования, что особенно важно для напряженных периодов работы, когда велики потери урожая. Однако предупредительная замена агрегатов ведет к недоиспользованию технического ресурса агрегатов, а, следовательно, к увеличению затрат на поддержание работоспособности техники. Таким образом, обоснование величин $w_i(k)$, $t_{\alpha i}(k)$, определяющих комплексный показатель надежности машин $K_{\text{мн}}$ в k -м году, является задачей оптимизационной.

Опишем модель процесса обеспечения работоспособности тракторов. Процесс обеспечения работоспособности i -й машины в k -м году характеризуется переменными $T_{\rho i}(k)$, $u_i(k)$, где

$$T_{\rho i}(k) = (t_{\rho i1}(k), t_{\rho i2}(k), \dots, t_{\rho in}(k)) \quad , \quad (2.11)$$

при этом $(i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}; k = \overline{1, K}; n = \overline{1, N})$

$t_{cj}(k)$ - остаточный ресурс j -го агрегата c -ой системы i -го трактора на начало k -го года, $u_i(k)$ - время работы i -го трактора в k -м году, $t_{ij}^*(k)$ - остаточный ресурс обменного j -го агрегата i -го трактора в k -м году, $ч, n, I, J$ - количество марок машин, машин n -й марки, агрегатов машины n -й марки.

Векторы $T_{ci}(k)$, $i = \overline{1, I}; n = \overline{1, N}$ определяют состояние машины на k -м шаге и называются переменными состояния или фазовыми переменными.

Поскольку остаточный ресурс не может быть отрицательным, на координаты вектора $t_{cj}(k)$ накладываются ограничения:

$$t_{cj}(k) \geq 0; i = \overline{1, I}; n = \overline{1, N}; j = \overline{1, J} \quad , \quad (2.12)$$

Переменная $u_i(k)$, $i = \overline{1, I}; n = \overline{1, N}$ определяет управляющее воздействие - наработку i -й машины в k -м году.

На выбор управления показателями надежности накладываются ограничения:

$$\begin{cases} K_{in} \cdot \sum_{k=1}^t u_i(k) \leq S_n(k); \\ 0 \leq u_i(k) \leq t_{in} K_{in}(k) - t_{in}(k), \end{cases} \quad (2.13)$$

при этом $n = \overline{1, N}; i = \overline{1, I}$

где $S_n(k)$ - запланированный для тракторов n -й марки объем работ в k -м году, у.э.га; K_{in} - коэффициент перевода часа работы трактора n -й

марки в у.э.га; $t_{см}$ - продолжительность смены, ч; $K_{сн}(k)$ - коэффициент сменности для n -й марки в k -м году.

Первое ограничение из (2.13) показывает, что объем работ, выполняемый всеми тракторами в k -м году, не должен превышать заданного, второе - время использования i -й машины в k -м году не может превышать времени работы, установленного в k -м году, за вычетом времени простоя по техническим причинам в этом году.

Время восстановления работоспособности i -го трактора в k -м году определяется как сумма времени устранения последствий отказов I, II, III групп сложности, времени пребывания в ТО, времени предупредительной замены агрегатов и времени пребывания в капитальном ремонте - по формуле (2.6).

Средняя продолжительность замены j -го агрегата $\bar{t}_j$ определяется по формуле:

$$\bar{t}_j = t_j^o + \delta t^a, \quad (2.14)$$

где t_j^o - оперативное время замены j -го агрегата, ч; t^a - вспомогательное время замены агрегата, связанное с переездом к месту ремонта и обратно, мойкой и т.д.; δ - величина, определяемая следующим образом:

$$\delta = \begin{cases} 1, & \text{если ремонт агрегата индивидуальный} \\ 0, & \text{если ремонт агрегата попутный} \end{cases}$$

Таким образом, если ремонт j -го агрегата выполняется попутно, то вспомогательное время на замену агрегата $t^a=0$.

Время нахождения i -го трактора в ТО в k -м году определяется как

$$t_i^{\text{в}} = t^{n-1} l_i^{n-1}(k) + t^{n-1} l_i^{n-1}(k) + t^{n-1} l_i^{n-1}(k), \quad (2.15)$$

где $l_i^{n-1}(k)$, $l_i^{n-2}(k)$, $l_i^{n-1}(k)$ - количество обслуживаний №1, 2, 3 i -й машины в k -м году, t^{n-1} , t^{n-2} , t^{n-1} - нормативное время нахождения машины в ТО - 1, 2, 3, ч [101].

Количество обслуживаний № 3 в k -м году определяется по формуле [53]:

$$l_i^{n-1} = \left\lfloor \frac{\sum_{s=1}^x u_i(s)}{1000} \right\rfloor - \left\lfloor \frac{\sum_{s=1}^{x-1} u_i(s)}{1000} \right\rfloor, \quad (2.16)$$

где $[x]$ означает целую часть числа x ; $u_i(s)$ - наработка i -го трактора в s -й год эксплуатации, ч.

Поскольку операции ТО-1 входят в ТО-3, а ТО-1 - в ТО-2, очевидно, что l_i^{n-1} определяются по формулам:

$$l_i^{n-2} = \left\lfloor \frac{\sum_{s=1}^x u_i(s)}{500} \right\rfloor - \left\lfloor \frac{\sum_{s=1}^{x-1} u_i(s)}{500} \right\rfloor - l_i^{n-1}, \quad (2.17)$$

$$l_i^{n-1} = \left\lfloor \frac{\sum_{s=1}^x u_i(s)}{125} \right\rfloor - \left\lfloor \frac{\sum_{s=1}^{x-1} u_i(s)}{125} \right\rfloor - l_i^{n-2} - l_i^{n-1}. \quad (2.18)$$

Величина остаточного ресурса j -го агрегата i -го трактора на начало $(k+1)$ -го года зависит от величины остаточного ресурса этого агрегата в предыдущем k -м году и времени использования i -го трактора в k -м году, следовательно, уравнение динамики изменения остаточного ресурса агрегата имеет вид:

$$T_{\pi i}(k+1) = T_{\pi i}(k) - \int_0^{t_{ei}(k)} f(T_{\pi i}) dt \quad (2.19)$$

Обозначим приращение $\int_0^{t_{ei}(k)} f(T_{\pi i}) dt = \Delta_{\gamma}$

Если $t_{ei}(k) < \Delta_{\gamma}(k)$ то j -й агрегат необходимо заменить в k -м году. В соответствии со значением остаточного ресурса замененного агрегата $t_{ei}^0(k)$ пересчитывается второе ограничение (2.13) и остаточный ресурс j -го агрегата в $(k+1)$ -м году определяется как

$$t_{ei}(k+1) = t_{ei}^0(k) - \Delta_{\gamma}, \quad (2.20)$$

Целесообразность попутной замены v -го агрегата с j -м отказавшим проверяется, начиная со значений остаточного ресурса, меньших, чем контрольное значение $t_{ei/кон}$, которое принимается в соответствии с рекомендациями [5], то есть при условии:

$$t_{ei} \leq t_{ei/кон}. \quad (2.21)$$

Выбор оптимальных управляющих воздействий, направленных на оптимизацию процесса выработки и восстановления ресурса тракторов, осуществляется в определенной последовательности.

Фиксируется начальное состояние машины $T_p(1)$. Если управление u удовлетворяет ограничениям (2.13), и если при этом состояния $T_p(k)$, где $k = \overline{1, K}$, $i = \overline{1, I}$ соответствующей траектории будут удовлетворять ограничениям (2.12), то такое управление u называется допустимым для начального состояния $T_p(1)$. Задача оптимального управления состоит в том, чтобы найти наилучшее (оптимальное) допустимое управление $u(k)$ для $k = \overline{1, K}$; $i = \overline{1, I}$; $c = \overline{1, C}$, то есть такое, которое доставляет функционалу, характеризующему качество управления, наименьшее значение при ограничениях (2.12), (2.13).

Оценка эффективности организационных форм использования техники должна быть комплексной и учитывать все составляющие затрат. В качестве оценки обеспечения работоспособности тракторов приняты удельные затраты на поддержание в работоспособном состоянии.

Схема процесса управления показателями надежности тракторов приведена на рис.2.3.

В общем виде функционал имеет вид:

$$C = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^I C_i, \rightarrow \min \quad (2.22)$$

где C_1 - затраты на техническое обслуживание тракторов, р; C_2 - затраты на ремонт тракторов, р; C_3 - потери урожая вследствие простоя тракторов по техническим причинам, р.; S - объем работ в планируемом году, у.э.га.

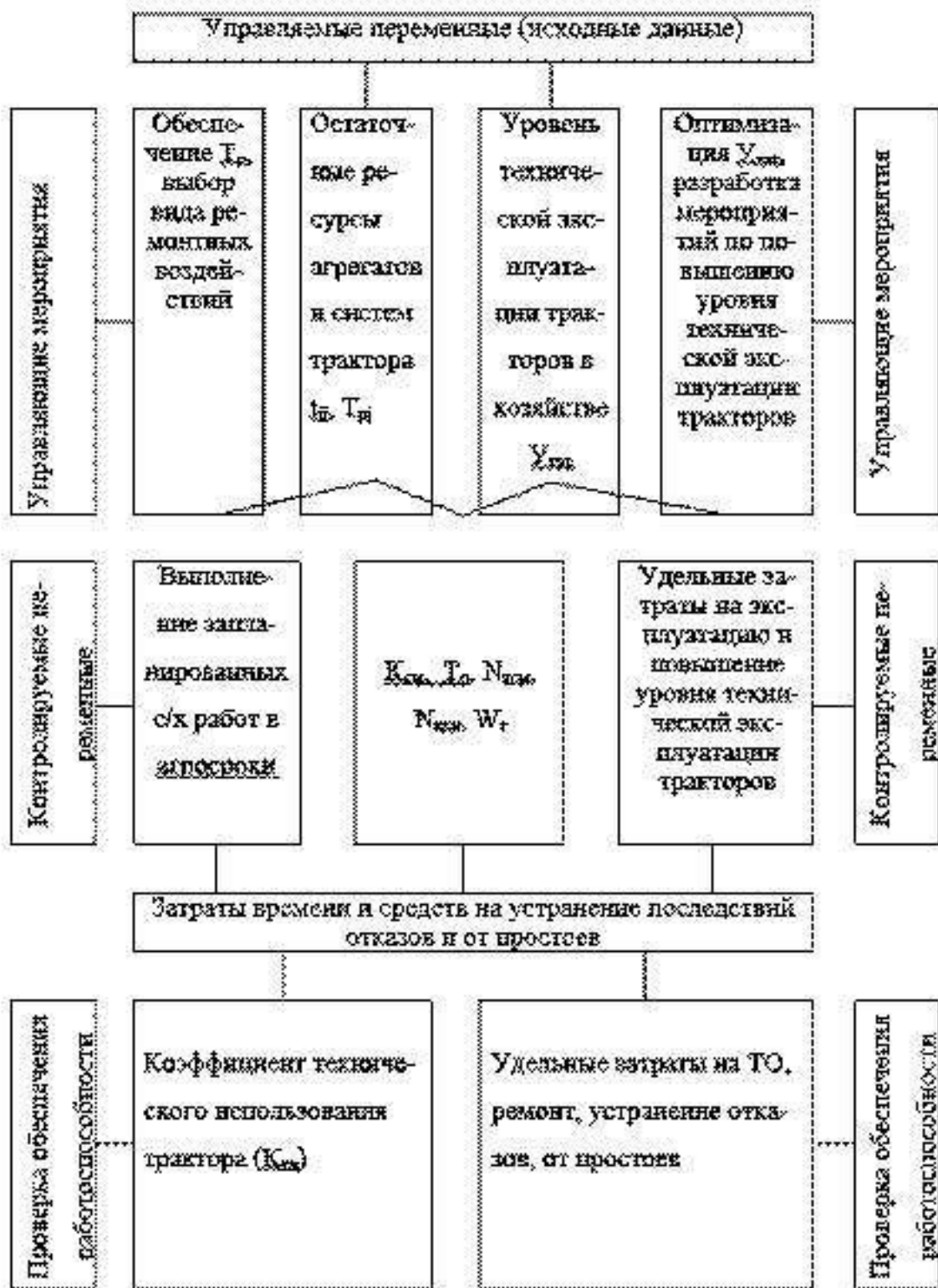


Рисунок 2.3-Схема процесса обеспечения работоспособности тракторов с учетом условий их функционирования.

Отчисления на техническое обслуживание C_1 являются нормативными [21]. Следовательно, затраты на техническое обслуживание тракторов в сельскохозяйственном цикле определяются по формуле:

$$C_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i C_{\dots K_{ij}} \sum_{k=1}^i u_{ij}(k), \quad (2.23)$$

где $C_{\dots}$ - отчисления на техническое обслуживание, р/у.э.га.

Затраты на ремонт тракторов в течение сельскохозяйственного цикла определяются количеством и сложностью устранения последствий нересурсных отказов, количеством и номенклатурой предупредительно заменяемых агрегатов, количеством капитальных ремонтов машин, то есть:

$$C_2 = C_o + C_a + C_{\text{кр}}, \quad (2.24)$$

где C_o - затраты на устранение последствий нересурсных отказов, р.; C_a - затраты на замену агрегатов, р.; $C_{\text{кр}}$ - затраты на капитальный ремонт тракторов, р.

Затраты C_o на устранение последствий нересурсных отказов определяются по формуле:

$$C_o = \sum_{g=1}^p \overline{C_{\alpha}} \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^i m_{\alpha k}(k), \quad (2.25)$$

где $\overline{C_{\alpha}}$ - средние затраты на устранение последствий отказа g -й группы сложности, р.

Затраты C_a на замену агрегатов определяются следующим образом:

$$C_a = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \overline{C_{aj}} \delta_{ij}(k), \quad (2.26)$$

где $\overline{C_{aj}}$ - затраты, связанные с заменой j -го агрегата, p .; $\delta_{ij}(k)$ - функция, принимающая два значения: 1 - если j -й агрегат i -й машины заменяется в k -м году, и 0 - если не заменяется.

Затраты на замену j -го агрегата $\overline{C_{aj}}$ определяются по формуле:

$$\overline{C_{aj}} = (C_{naj} + C_{kadn}) \frac{\sum_{i=1}^l u_i(k)}{\overline{T_w}}, \quad (2.27)$$

где $\overline{T_w}$ - средняя межремонтная наработка j -го агрегата трактора n -й марки, ч; C_{naj} - преysкурantная стоимость j -го агрегата трактора n -й марки, p .; C_{kadn} - затраты на монтаж и демонтаж j -го агрегата трактора n -й марки, p .

Затраты на капитальный ремонт трактора вычисляются следующим образом:

$$C_{kap} = \sum_{k=1}^n \frac{C_{kapk}}{\overline{T_{mk}}} \sum_{i=1}^l \delta_{kapl}(k) u_i(k), \quad (2.28)$$

где C_{kapk} - стоимость капитального ремонта трактора n -й марки, p .; $\overline{T_{mk}}$ - средняя межремонтная наработка трактора, ч; $\delta_{kapl}(k)$ - функция, значение которой определяется из условия:

$$\delta_{\text{вр},i}(k) = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й трактор капитально ремонтируется} \\ & \text{в } k\text{-ом году} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Потери урожая вследствие простоя техники определяются по формуле [13]:

$$C_T = \sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q 0.5 K_{\text{пр}pq} u_q (C_{\text{пр}q} - C_{\text{к}q}) S_{\text{пр}q}(k) t_{\text{пр}q}^{\text{пр}}(k), \quad (2.29)$$

где $K_{\text{пр}pq}$ - коэффициент дифференцированных потерь урожая из-за простоев при выполнении p -й работы на q -й культуре, л/ч; $S_{\text{пр}q}$ - площадь работ p -го вида на q -й культуре в k -м году, га; u_q - оптимальная урожайность q -й культуры, ц/га; $C_{\text{пр}q}$ - закупочно-сдаточная цена q -й культуры, р/ц; $C_{\text{к}q}$ - стоимость послеуборочной обработки q -й культуры, р/ц; $t_{\text{пр}q}^{\text{пр}}(k)$ - время простоя тракторов в k -м году при выполнении p -й работы на q -й культуре, ч; P, Q - количество видов работ, культур.

Время простоя тракторов при выполнении p -й работы q -й культуры в k -м году:

$$t_{\text{пр}q}^{\text{пр}}(k) = D_{\text{пр}q}(k) \left[\frac{1}{K_{\text{к}q}} S_{\text{пр}q}(k) - \sum_{i=1}^I u_i(k) \right], \quad (2.30)$$

где $D_{\text{пр}q}$ - доля p -й работы на q -й культуре от $S_{\text{пр}q}(k)$ в k -м году; $K_{\text{к}q}$ - коэффициент перевода часа работы p -го вида на q -й культуре в га.

Задача, состоящая в отыскании оптимального управления, доставляющего показателю качества управления (2.21) наименьшее значение при ограничениях (2.12), (2.13), является задачей оптимального дискретного управления.

Эта задача в силу нелинейности функционала является достаточно сложной в вычислительном отношении. Поэтому она будет сведена к линейной задаче путем линеаризации функционала.

Для решения преобразованной задачи достаточно решить N задач линейного программирования.

2.2.1 Обоснование варианта ремонтных воздействий

Реализация методики выбора сроков и объемов ремонта трактора с учетом большого количества информации о техническом состоянии и условиях использования его в хозяйстве, описанная в разделах 2.1...2.2., возможна при наличии ПК.

В том случае, если нет возможности проводить расчеты на ПК, можно использовать методику выбора варианта ремонтных воздействий при ограниченном объеме исходной информации.

В процессе ресурсного диагностирования тракторов при ТО-3 определяются остаточные ресурсы их основных узлов и агрегатов. На основании оценки надежности трактора в процессе дальнейшей эксплуатации осуществляется выбор ремонтных воздействий с тем, чтобы обеспечить минимум затрат на восстановление работоспособности в течении наработки до очередного ТО-3. Возможны следующие варианты ремонтных воздействий: устранение последствий отказов трактора по потребности; предупредитель-

ная замена агрегатов при ТО-3 и устранение последствий отказов по потребности; капитальный ремонт трактора.

Критерием оптимальности выбора варианта являются удельные затраты на ремонт с учетом потерь продукции вследствие простоя трактора по техническим причинам.

Целесообразность предупредительной замены j -го агрегата проверяется в том случае, когда величина его остаточного ресурса t_{ej} менее предельного значения, т.е. остаточного ресурса до следующего ТО-3.

В первом варианте затраты C_{1j} , связанные с эксплуатацией j -го агрегата до отказа, определяются по формуле:

$$C_{1j} = C_{1ej} + C_{1nj} + C_{1aj} \quad (2.31)$$

где C_{1ej} - затраты на устранение последствий нересурсных отказов j -го агрегата в эксплуатации, р; C_{1nj} - потери продукции вследствие простоев трактора, связанных с отказами j -го агрегата, р; C_{1aj} - затраты, связанные с заменой j -го агрегата в эксплуатации, р.

Во втором варианте затраты C_{2j} , связанные с заменой j -го агрегата, определяются как

$$C_{2j} = C_{2ej} + C_{2nj} + C_{2aj}, \quad (2.32)$$

где C_{2ej} - затраты на устранение последствий нересурсных отказов обменного j -го агрегата, р; C_{2nj} - потери продукции вследствие простоев трактора, связанные с отказами обменного j -го агрегата, р; C_{2aj} - затраты, связанные с предупредительной заменой j -го агрегата, р.

В том случае, когда $(C_{ij} - C_{zj}) < 0$, принимается первый вариант – использование j -го агрегата до ресурсного отказа. Если $((C_{ij} - C_{zj}) > 0$, то используется второй вариант – предупредительная замена j -го агрегата при ТО-3.

С учетом (2.31), (2.32) можно записать:

$$C_{ij} - C_{zj} = (C_{1ij} - C_{z1ij}) + (C_{2ij} - C_{z2ij}) + (C_{3ij} - C_{z3ij}), \quad (2.33)$$

Затраты C_{1ij} определяются по формуле:

$$C_{1ij} = \sum_{g=1}^1 \overline{C_{\alpha g}} (m_{c/g} + m_{c/g}^p), \quad (2.34)$$

где $m_{c/g}$ – количество отказов g -й группы сложности c -й системы, в которую входит j -й агрегат с остаточными ресурсами t_{cj} ; $m_{c/g}^p$ – количество отказов g -й группы сложности c -й системы с момента замены j -го агрегата в процессе эксплуатации до ТО-3; $\overline{C_{\alpha g}}$ – средние затраты на устранение последствий отказа g -й группы сложности, р.

Затраты C_{z1ij} определяются по формуле:

$$C_{z1ij} = \sum_{g=1}^1 C_{\alpha g} m_{c/g}^p, \quad (2.35)$$

где $m_{c/g}^p$ – количество отказов g -й группы сложности c -й системы в случае замены j -го агрегата на капитально отремонтированный при ТО-3.

Следовательно, с учетом (2.34), (2.35) разность затрат на устранение последствий отказов имеет вид:

$$C_{1сг} - C_{2сг} = \sum_{k=1}^g C_{сгk} (m_{сгk} + m_{сгk}^0 - m_{сгk}^p), \quad (2.36)$$

Для определения величин $m_{сгj}$, $m_{сгk}^0$, $m_{сгk}^p$ используется функция зависимости (2.10). Величина $(m_{сгj} + m_{сгk}^p - m_{сгk}^0)$ показывает, как изменится количество отказов $с$ -й системы, в которую входит j -й агрегат с остаточными ресурсами $t_{сj}$ при замене его на капитально отремонтированный с остаточным ресурсом $t_{сj}^0$ при фиксированном значении остаточных ресурсов остальных агрегатов.

Анализ возможных видов зависимостей для определения количества отказов системы агрегатов рассмотренной в [6] показал, что приращение количества отказов системы за счет изменения уровня технической эксплуатации, а значит и остаточные ресурсы одного из агрегатов на определенную величину является постоянным с погрешностью 5% независимо от фиксированной величины остаточных ресурсов остальных агрегатов. Фиксируем значения остаточных ресурсов агрегатов:

$$t_{с1} = t_{с2} = \dots = t_{с(g-1)} = t_{с(j-1)} = \dots = t_{сn} \quad , \quad (2.37)$$

Допустим зависимость количества отказов от остаточных ресурсов имеет вид (2.39), тогда количество отказов $г$ -й группы сложности $с$ -й системы, в которую входит j -й агрегат с остаточных ресурсов $t_{сj}^0$ определяется по формуле:

$$m_{cig} = a_{g \in c} \left(\sum_{i=1}^n t_{ci} e_{ci} + t_{cj} e_{cj} \right)^{1/v} \quad (2.38)$$

Количество отказов g -й группы сложности c -й системы с момента замены j -го агрегата с остаточным ресурсом h_{cj} в процессе эксплуатации на капитально отремонтированный с остаточными ресурсами t_g^0 до очередного ТО-3 определяется по формуле:

$$m_{cig} = a_{g \in c} \left(\sum_{i=1}^n t_{ci} e_{ci} - t_{cj} e_{cj} + t_g^0 e_{cj} \right)^{1/v} \quad (2.39)$$

Количество отказов c -й системы, j -й агрегат которой заменен попутно при ТО-3 по результатам ресурсного диагностирования определяется по формуле:

$$m_{cig} = a_{g \in c} \left(\sum_{i=1}^n t_{ci} e_{ci} + t_g^0 e_{cj} \right)^{1/v} \quad (2.40)$$

Потери продукции вследствие простоев трактора из-за отказов j -го агрегата, замененного в процессе эксплуатации, равны

$$C_{inj} = C_a \sum_{g=1}^1 \overline{t_{cg}} (m_{cig} + m_{cg}^0), \quad (2.41)$$

где C_a - среднегодовые потери продукции вследствие часа простоя трактора по техническим причинам, р/ч.

Потери продукции при втором варианте замены агрегата при ТО-3 равны

$$C_{znj} = C_a \sum_{k=1}^1 \overline{t_{ek}} m_{t_{ek}}^0. \quad (2.42)$$

Затраты, связанные с заменой j -го агрегата в процессе эксплуатации, определяются как

$$C_{1aj} = \frac{C_a}{T(t_{vj}^*)} (1000 - T(t_{vj}^*)) + C_{1aj}, \quad (2.43)$$

где C_{1aj} - преysкурantная стоимость ремонта j -го агрегата, р;
 C_{1aj} - затраты на демонтаж-монтаж, доставку j -го агрегата, р

Затраты, связанные с заменой j -го агрегата при ТО-3, равны

$$C_{znj} = \frac{C_a}{T(t_{vj}^*)} 1000 + C_{1aj}, \quad (2.44)$$

где C_{1aj} - затраты на демонтаж-монтаж j -го агрегата, р.

Введем обозначение:

$$f_{ek}(t_{ek}) = m_{ek} + m_{\text{аг}}^0 - m_{\text{аг}}^0. \quad (2.45)$$

Выражение (2.45) является нелинейным относительно t_{ek} . Известно, что любая дифференцируемая функция в достаточно узких пределах изменения аргументов может быть приближенно заменена линейной. Для этого функ-

ция (2.45) разлагается в ряд Тейлора в окрестности точки А с координатами $h_{ci}=0,3$ ($i \neq j$); $h_{cj}=0,15$ и сохраняются только члены первого порядка. Выбор точки А определен тем, что необходимость в решении вопроса целесообразности замены агрегата возникает в том случае, когда остаточный ресурс агрегата меньше, чем необходима для эксплуатации до очередного ТО-3, которая равна 1000 мото часам.

Следовательно, можно записать:

$$f_{ce}(h_{ci}) = f_{ce}(A) + \left. \frac{\partial f_{ce}}{\partial h_{ci}} \right|_A \cdot (h_{ci} - 0,15), \quad (2.46)$$

Обозначая коэффициенты разложения функции (2.45) в ряд Тейлора

$$d_{cij} = f_{ce}(A); \quad d_{cij2} = \left. \frac{\partial f_{ce}}{\partial t_{ij}} \right|_A, \quad (2.47)$$

получим

$$f_{ce}(t_{ij}) = d_{cij1} + d_{cij2} (t_{ij} - 0,15), \quad (2.48)$$

или

$$f_{ce}(t_{ij}) = d_{cij1} + d_{cij2} h_{ci}, \quad (2.49)$$

где $d_{cij1} = d_{cij2} \cdot 0,15$

Подставляя формулы (2.34)...(2.49) в (2.33), получим:

$$C_{ij} - C_{ij} = \sum_{i=1}^1 \overline{C_{ce}} (d_{cij1} + d_{cij2} h_{ci}) + C_{ce} \sum_{i=1}^1 \overline{t_{ij}} (d_{cij1} + d_{cij2} t_{ij}) -$$

$$- \frac{C_{aj}}{T(t_{aj}^0)} t_{aj}, \quad (2.50)$$

При фиксированных значениях часовых потерь продукции C_a и межремонтной наработке j -го агрегата $T(t_{aj}^0)$ необходимо определить значение t_{aj}^* , при котором $C_{1j} - C_{2j} = 0$. Тогда при величине остаточных ресурсов j -го агрегата, меньшей t_{aj}^* , будет целесообразна замена этого агрегата на капитально отремонтированный. Решая уравнение $C_{1j} - C_{2j} = 0$ относительно t_{aj}^* , получим:

$$t_{aj}^* = \frac{\sum_{i=1}^j \overline{C_{ai}} d_{ai} + C_a \sum_{i=1}^j \overline{t_{ai}} d_{ai}}{\frac{C_a}{T(t_{aj}^*)} - \sum_{i=1}^j \overline{C_{ai}} d_{ai} - C_a \sum_{i=1}^j \overline{t_{ai}} d_{ai}}. \quad (2.51)$$

Удельные среднегодовые потери продукции из-за простоя трактора характеризуют структуру посевных площадей, номенклатуру работ, выполняемых тракторами данной марки, сроки выполнения работ в хозяйстве. Рассчитываются затраты C_a по формуле:

$$C_a = \sum_{p=1}^P C_{ap} D_p, \quad (2.52)$$

где C_{ap} - потери от простоя на p -м виде работ, р/ч; D_p - доля работы p -го вида в общем объеме работ трактора за год.

В том случае, когда наработка трактора к моменту проведения очередного ТО-3 достигает 3000 моточасов и ресурс некоторых агрегатов менее 1000 моточасов, наряду с описанными двумя рассматривается третий вариант ремонтных воздействий – капитальный ремонт трактора. Затраты C_7 , связанные с капитальным ремонтом трактора, оцениваются по формуле:

$$C_7 = \sum_{g=1}^1 \overline{C_{\alpha}} \sum_{c=1}^s m_{cg}^0 + C_7 \cdot \sum_{g=1}^1 \overline{t_{cg}} \sum_{c=1}^s m_{cg}^0 + \frac{C_w}{T_x} 1000, \quad (2.53)$$

где m_{cg}^0 – количество отказов g -й группы сложности c -й системы, агрегаты которой имеют средний послеремонтный ресурс, определяется по формуле (2.10).

Затраты на текущий ремонт трактора в течении наработки между очередными ТО-3 определяются по формуле:

$$C = \sum_{g=1}^1 \overline{C_{\alpha}} \sum_{c=1}^s m_{cg} + C_7 \cdot \sum_{g=1}^1 \overline{t_{cg}} \sum_{c=1}^s m_{cg} + \sum_{j \in G} C_{1j}, \quad (2.54)$$

где j – номер агрегата, заменяемого предупредительно при ТО-3; G – совокупность агрегатов, заменяемых предупредительно.

Целесообразность предупредительной замены при ТО-3 агрегатов, имеющих остаточные ресурсы, менее необходимых значений до 1000 моточасов, проверяется сравнением затрат (2.42), (2.43).

Количество отказов g -й группы сложности c -й системы определяется с учетом замены j -го агрегата по формуле:

$$m_{\text{сиг}} = a_{\text{гс}} \left(\sum_{i=1}^n t_{\text{с}} d_i + t_{\text{с}}^* d_i^* \right)^{1/v} \quad (2.55)$$

Если затраты на текущий ремонт трактора C в году в течении наработки до очередного ТО-3 больше, чем затраты на капитальный ремонт C_1 , то целесообразен капитальный ремонт машины, в противном случае производится текущий ремонт.

3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Программа проведения экспериментальных исследований

Обеспечение работоспособности тракторов для различных условий их функционирования основаны на установлении зависимостей изменения показателей надежности техники от остаточного ресурса агрегатов и систем. Исходя из вышеизложенного была поставлена цель экспериментальных исследований: установить закономерности влияния остаточных ресурсов агрегатов и систем трактора на его надежность, в частности на наработку на отказ техники в различных условиях использования.

Для достижения цели необходимо выполнить следующие исследовательские работы:

- определение показателей надежности каждого исследуемого трактора в определенных условиях использования;
- определение остаточных ресурсов агрегатов и узлов тракторов.

Для решения данных задач необходимо обосновать выбор административных районов, хозяйств и марку трактора.

При осуществлении выборки тракторов для установления необходимых закономерностей учитывались: год вступления трактора в эксплуатацию и его ремонтные периоды. Остаточные ресурсы агрегатов, на которые оказывают влияние условия функционирования трактора, определяются на основании проведения их диагностирования, а наработка на отказ — используя данные, зафиксированные в течении экспериментальных исследований. В связи с этим, возникает возможность обеспечения общепринятого принципа системности проведения экспериментальных исследований, который заключается в том, что учитываются влияния условий эксплуатации тракторов на

показатели его надежности. Программа экспериментальных исследований представлена на рисунке 3.1.

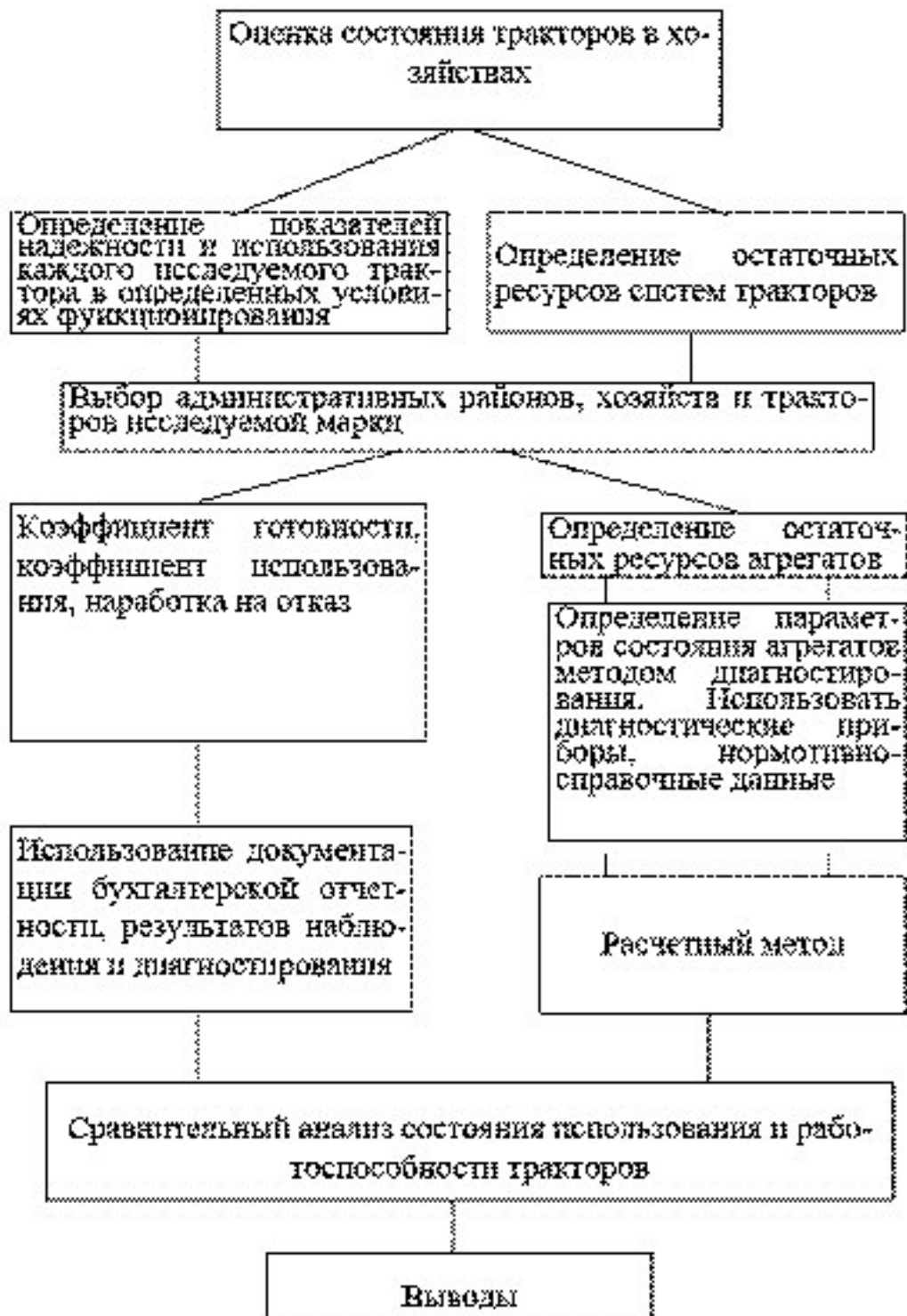


Рисунок 3.1- Программа экспериментальных исследований

Сбор информации о техническом состоянии тракторов проводился на основании методики, разработанной в соответствии с рекомендациями в руководящих документах РД, ГОСТах, ОСТах [10, 11, 12, 13, 45, 49].

Остаточный ресурс агрегатов тракторов, как рассматриваемый нами параметр надежности определялся наработкой от начала эксплуатации до предельного состояния. Информация о показателях надежности агрегатов и систем машин собиралась в соответствии с рекомендуемым планом испытаний. В период наблюдения, в случае проведения ремонтных воздействий для трактора, фиксировалось недоиспользование запланированного ресурса. В связи с этим, был организован сбор дополнительной информации о надежности агрегатов техники, при этом учитывалось ее предремонтная дефектация.

3.2. Обоснование выбора объектов наблюдений

На современном этапе известно, что в сельскохозяйственном производстве используются около 25 марок тракторов. Брать все марки тракторов под наблюдение было бы экономический нецелесообразным. Поэтому для исследуемой зоны следует обосновать выбор наиболее распространенной марки трактора.

На начало экспериментальных исследований, в период 2018 - 2019 годов в сельском хозяйстве Татарстана было в наличии около 42000 физических тракторов разных марок.

Наиболее распространенными тракторами в республике являются колесные тракторы, они составляют почти 31% от всего парка. Во всех без исключения хозяйствах они являются основными почвообрабатывающими машинами, своевременность сельскохозяйственных работ главным образом

зависит от работы этих тракторов. Эти же марки тракторов часто используют в качестве транспортных средств в зимнее время года. Поэтому в качестве объекта изучения был выбран трактор МТЗ-80,82.

3.3. Методика сбора и обработки информации

3.3.1 Методика сбора информации

Экспериментальные исследования по определению закономерностей изменения показателей надежности машин в зависимости от остаточного ресурса составляющих ее агрегатов для исследуемой зоны проводились в наиболее типичных хозяйствах. При этом учитывались условия функционирования тракторов в хозяйствах, т.е. были выбраны сельскохозяйственные предприятия, в которых уровни технической эксплуатации техники находились в пределах 0,5...0,8.

При обосновании объекта наблюдения, с целью определения закономерностей количества внезапных отказов агрегатов и систем машин в зависимости от их остаточных ресурсов, учитывалось его количественное значение в составе парка техники аграрного производства РТ. В связи с этим был выбран трактор МТЗ-80,82.

Для обеспечения необходимой достоверности и адекватности при установлении закономерностей количества отказов с -ой системы в зависимости от значений остаточных ресурсов ее агрегатов, следует обосновать необходимое количество наблюдаемых с -ых систем. В связи с тем, что количество определяется для всех систем, наблюдения проводились за трактором в целом, поэтому количество машин, которые находились под наблюдением можно определить по формуле [6]:

$$N = \max N_c, \quad (3.1)$$

где N_c - требуемое количество с-ых систем для проведения наблюдения.

Поскольку коэффициенты уравнения регрессии находятся методом наименьших квадратов, то теоретически достаточно, чтобы количество наблюдений n за системой было не меньше числа определяемых параметров уравнения [6]. Однако в этом случае погрешность определения коэффициентов будет большой, поэтому рекомендуется четырехкратное увеличение количества наблюдений по сравнению с теоретическим [6].

В связи с тем, что в структуре трактора МТЗ, представленной на рисунке 3.2., максимальное количество агрегатов (8) имеет система - двигатель ($c=3$). Поэтому, $N_c=24$ и $N=24$.

Первичные данные наблюдаемых тракторов, представлены в приложении А таблица А1.

Для обеспечения точности определения исходной информации, продолжительность периода наблюдений за тракторами обосновывался в соответствии с рекомендациями [24].

Ошибка предсказания величин диагностических параметров агрегатов по известным методикам составляют $\pm 10\%$ [50]. С учетом данных о значениях среднего ресурса агрегатов [20], который может достигать в периоде до ремонта 4000 м.ч., обосновываем продолжительность наблюдения - 1000 м.ч.

С целью увеличения широты диапазона изменения остаточных ресурсов агрегатов и систем тракторов, при выборе объектов наблюдения учитывались периоды их эксплуатации, т.е. машины, находившиеся в начале, в середине и в конце ремонтных периодов.

Трактор	Система контроля	Датчики
		Приборы
	Несущая система, кабина	Рама
		Кабина
		Оперенья
	Гидросистема	Насос
		Распределитель
		Силовой цилиндр
	Электрооборудование	Генератор
		Стартер
		Батарея аккумуляторная
		Реле- регулятор
	Трансмиссия	Коробка перемены передач
		Ведущий мост
	Двигатель	Кривошипно- шатунный механизм
		Головка цилиндров
		Насос топливный
		Форсунка
		Цилиндропоршневая группа
		Агрегаты системы охлаждения

Рисунок 3.2- Структурная схема трактора МТЗ-80, 82

Также учитывались то, что остаточные ресурсы агрегатов тракторов, определяемые по результатам диагностирования, были не меньше 1000 м.ч. и учитывались относительная ошибка прогнозирования остаточных ресурсов. Обоснованность проведения такого отбора продиктована тем, чтобы избежать выбытия объектов наблюдений из экспериментального списка.

В случае замены какого-либо агрегата во время экспериментальных исследований вследствие израсходования ресурса, то система, в которую входил данный агрегат, вычеркивалась из списка наблюдений.

Наработки агрегата и машины считалась равной, в случае его замены после восстановительных ремонтов в процессе эксплуатации. При этом учет наработки велась с момента замены, который определялся по журналу мастера-наладчика, который производил замену. Используя документы бухгалтерской отчетности, определялась наработка машины от начала эксплуатации или от последнего капитального ремонта до начала наблюдений.

В листы наблюдения (форма представлена в приложении А таблица А2) записывалась информация об отказах (дата появления отказа, наработка трактора в моточасах от начала наблюдений до момента отказа, наименование отказавшего агрегата).

Информация приведенные в наблюдательных листах (приложение А) обрабатывалась согласно классификатора отказов [45] и записывалась в таблицу (приложение А таблица А4), где указывались системы, диагностические параметры, остаточные ресурсы составляющих ее агрегатов в начале периода наблюдений, количество возникших внезапных отказов I, II, III групп сложности.

3.3.2. Методика определения уровня технической эксплуатации тракторов

При определении показателя уровня технической эксплуатации тракторов наибольшая сложность заключается в количественной оценке факторов, так как каждый из них имеет свой физический смысл, свою размерность. Более рациональным способом получения количественных значений факторов является обобщенная функция желательности Харрингтона [6].

Факторы, имеющие количественные признаки определяются по формулам:

- классность определяется количеством механизаторов III класса:

$$\varphi_{\text{кл}} = \frac{N_{\text{III}}}{N_{\text{общ}}}, \quad (3.2)$$

где N_{III} - количество механизаторов III класса; $N_{\text{общ}}$ - общее количество механизаторов.

- профессиональная подготовка механизаторов определяется количеством трактористов, окончивших училище:

$$\varphi_{\text{уч}} = \frac{N_{\text{уч}}}{N_{\text{общ}}}, \quad (3.3)$$

где $N_{\text{уч}}$ - количество механизаторов, окончивших училище.

-число трактористов на 100 тракторов определяется из следующего выражения:

$$\varphi_{100} = \frac{N_{\text{трак}}}{N_{\text{т}}}, \quad (3.4)$$

где $\varphi_{\text{до}}$ - уровень определяющего фактора; $N_{\text{мех}}$, $N_{\text{тр}}$ - соответственно, фактическое число механизаторов и число тракторов.

- число механизаторов, сменивших трактор за срок службы характеризуется фактическим числом механизаторов, сменивших данный трактор за срок службы:

$$\varphi_{\text{см}} = N_{\text{см}} - N'_{\text{мех}}, \quad (3.5)$$

где $N'_{\text{мех}}$ - количество механизаторов, работавших на одном тракторе до списания.

Уровни обобщенных факторов определяются для хозяйства по формуле:

$$Y_j^0 = \sum_{i=1}^n \varphi_i K_i, \quad (3.6)$$

где Y_j^0 - уровень j -го обобщенного фактора; K_i - весомость i -го определяющего фактора [6]; φ_i - среднеарифметическое значение уровня i -го определяющего фактора.

Уровень технической эксплуатации тракторов в хозяйствах находится из выражения:

$$Y_{\text{мех}}^0 = \sum_{j=1}^p Z_j^0 Y_j^0, \quad (3.7)$$

где Z_j^0 - весомость j -го обобщенного фактора [6].

3.3.3. Определение остаточного ресурса агрегатов

Под параметром технического состояния понимают физическую величину, характеризующую работоспособность трактора. Различают структурные и диагностические параметры состояния.

Структурные параметры состояния - параметры, непосредственно характеризующие работоспособность трактора. Диагностические параметры состояния - параметры, косвенно характеризующие работоспособность трактора. Диагностирование узлов и агрегатов сложных машин состоит из трех этапов: подготовительного, основного и заключительного.

В подготовительный этап входит очистка, мойка, установка машины на пост диагностирования, снятие защитных щитов, подготовка диагностических средств к работе, внешний осмотр, монтаж датчиков.

Основной этап диагностирования состоит в установлении необходимых режимов работы двигателя и машины, замере параметров состояния агрегатов и систем.

К заключительному этапу относятся прогнозирование остаточного ресурса агрегатов и систем.

Прогнозирование по параметрам состояния основывается на том, что они имеют тесную связь с наработкой изделия. Установлено [3], что изменение параметра $u(t)$ состояния элементов сельскохозяйственной техники за наработку t аппроксимируется функцией вида:

$$u(t) = v_c \cdot t^\alpha + z, \quad (3.8)$$

где v_c - коэффициент, характеризующий скорость изменения параметра технического состояния, ед. параметра/ед. наработки; α - показатель степени

функции, аппроксимирующей изменение параметра; z - случайное отклонение физического изменения параметра от теоретической плавной его реализации, ед.параметра.

Остаточный ресурс агрегата определяется согласно ГОСТ 27502-83 [12] по формуле:

$$T_{\text{ост}} = t_v \left[\left(\frac{u_0}{u(t_v)} \right)^{1/\alpha} - 1 \right], \quad (3.9)$$

где t_v - наработка агрегата от начала эксплуатации или от возобновления эксплуатации после ремонта до момента контроля; u_0 - предельное отклонение параметра технического состояния агрегата; $u(t_v)$ - изменение параметра на наработку t_v .

Предельное отклонение параметра технического состояния агрегата определяется по формуле:

$$u_0 = /P_{\sigma} - P_{\text{н}} / - \Delta P, \quad (3.10)$$

где P_{σ} , $P_{\text{н}}$ - соответственно предельное и номинальное значения параметров, которые устанавливаются согласно рекомендациям [51], приведены в приложении; ΔP - показатель изменения параметра за период приработки, принимается согласно рекомендациям [16].

Изменение параметра на наработку t_v определяется по формуле:

$$u(t_v) = /P(t_v) - P_{\text{н}} / - \Delta P, \quad (3.11)$$

где $\Pi(t_*)$ - измеренное при наработке t_* значения параметра.

Значения α принимается в соответствии с рекомендациями [51]. Номинальные и предельные значения диагностических параметров агрегатов трактора МТЗ, а так же используемые диагностические приборы представлены в приложении А в таблице А3.

3.3.4. Оценка наработки на отказ трактора

В качестве показателя безотказности трактора принята наработка на отказ. Этот параметр в интервале наработки $(H, H+\Delta H)$ определяется в соответствии с ГОСТ [12]:

$$T_o(H) = \frac{\Delta H}{\tilde{m}(\Delta H)}, H \in \Delta H, \quad (3.12)$$

где $\tilde{m}(\Delta H)$ - математическое ожидание количества отказов трактора в интервале ΔH .

Отказы машины отличаются между собой как по времени, так и по стоимости устранения их последствий, следовательно, необходимо рассматривать отказы дифференцированно по группам сложности. Отказы классифицируются по группам сложности в соответствии с принципами, оговоренными в ОСТ 70.28-82 [45]. Характерной особенностью агрегата как сборочной единицы является его автономность, связанная с наличием корпусной

детали и выполнением определенной законченной рабочей функции.

Отказы многих агрегатов являются зависимыми, по отдельным агрегатам наблюдается сравнительно небольшое количество отказов, поэтому прогнозирование их надежности за определенный период наработки может привести к значительным погрешностям. Более целесообразным является рассмотрение систем агрегатов, отказы которых независимы.

Таким образом, количество отказов g -ой группы сложности трактора в интервале наработки ΔH оценивается количеством отказов g -ой группы сложности систем агрегатов:

$$m_g(\Delta H) = \sum_{s=1}^E m_{cg}(\Delta H), \quad (3.13)$$

где $m_{cg}(\Delta H)$ - количество отказов g -ой группы сложности s -ой системы в интервале ΔH ; E - количество систем агрегатов; s - номер системы.

Более глубокого анализа безотказности требуют такие системы, как двигатель, трансмиссия, гидросистема, электрооборудование, поскольку, например, для тракторов МТЗ они обуславливают более 80% отказов [14]. Количество отказов трактора в рассматриваемой период наработки (H , $H+\Delta H$) есть величина случайная и зависит от многих факторов, таких как степень загрузки, качества нефтепродуктов, температура воздуха, сопротивление почв и др. Одним из факторов, способствующих увеличению количества отказов, является старение трактора. При увеличении наработки увеличивается износ ее сопряжений, возрастает уровень внутренних возмущающих воздействий в агрегатах, определяемый условием изготовления и капитального ремонта агрегатов, следовательно, возрастает и количество отказов. Анализ литературы, посвященной методам оценки показателей надеж-

ности тракторов, показывает, что зависимость параметра потока отказов агрегата от величины его наработки имеет вид параболы.

Однако на количество отказов агрегата, систем трактора за период наработки также влияют условия эксплуатации, качество технического обслуживания и ремонта и т.д. как в рассматриваемом, так и в предшествующем периодах. Влияние этих факторов проявляется при определении величины остаточного ресурса составляющих агрегатов трактора по результатам ресурсного диагностирования. Следовательно, целесообразным является установление зависимости между количеством отказов системы трактора и величиной остаточного ресурса ее агрегатов.

Математическое ожидание числа отказов g -ой группы сложности s -ой системы за наработку ΔH определяется как

$$m_{cg}(\Delta H) = f(T_{ост1}, T_{ост2}, \dots, T_{остjc}), \quad (3.14)$$

где $T_{остj}$ - остаточный ресурс j -го агрегата s -ой системы на начало наблюдений; n_c - количество агрегатов s -ой системы.

Для фиксированного момента контроля наработка H_j , остаточный $T_{остj}$ и полный T_j ресурсы агрегата связаны соотношением:

$$T_j = H_j + T_{остj}. \quad (3.15)$$

После того, как составлено представление о структуре зависимости (3.3), можно было бы установить вид взаимосвязи f между количеством отказов системы m_{cg} на интервале наработки ΔH и показателями остаточного ресурса $T_{остj}$ составляющих агрегатов. Однако, ограничение функции одним

видом зависимости отразилось бы на величине погрешности при расчетах. В связи с этим, вид зависимости выбирается из 10 возможных видов, по разработанной программе на ЭВМ, по критерию минимума ошибки коэффициента корреляции [6].

Параметр потока отказов g -ой группы сложности s -ой системы i -го трактора определяется по формуле:

$$T_{\alpha}(h) = \frac{\Delta h}{\tilde{m}_{\alpha}(\Delta h)}, \quad h \in \Delta h. \quad (3.16)$$

В силу предположения о постоянстве наработки на отказ $T_{\alpha g}$, на интервале Δh не совпадающем с периодом приработки, можно рассчитать математическое ожидание количества отказов i -го трактора на любом интервале наработки по формуле:

$$m_{\alpha g}(k) = \int_{d_{i,k}}^{d_{i,k+1}} T_{\alpha g}(h) dh = T_{\alpha g}(h)(d_{i,k+1} - d_{i,k}), \quad (3.17)$$

где $d_{i,k}$, $d_{i,k+1}$ - наработка i -ой машины на начало и конец k -го периода определяемый периодичностью ТО-3.

3.4. Методика проверки адекватности математической модели по обеспечению работоспособности тракторов

Проверка адекватности математической модели осуществляется путем сопоставления расчетных и фактических значений коэффициентов готовности и использования трактора.

Исходными параметрами математической модели, представленной во второй главе являются: уровень технической эксплуатации тракторов [6] в хозяйстве, нормативные параметры планово-предупредительной системы ТО и ремонта, количество машин, остаточные ресурсы их агрегатов.

Вначале следует рассмотреть степень стабильности этих параметров для конкретного хозяйства исследуемой зоны. Поскольку нормативные показатели системы ТО и ремонта не меняются в течении пяти лет, они остаются стабильными. Количественный состав тракторного парка может меняться за счет списывания техники, которые исчерпал свой срок службы и за счет поступления новой. Это может быть осуществлено в соответствии с планом и быть предусмотрено математической моделью.

Поскольку наибольшую погрешность может иметь процесс определения остаточного ресурса агрегатов, то появится погрешность и при прогнозировании количества внезапных отказов различных групп сложности. В связи с этим, определенную погрешность могут иметь расчеты ограничений (2.13) и выходных переменных — количества отказов систем трактора по группам сложности, трудоемкости обеспечения работоспособности тракторов.

Наибольшая погрешность в определении остаточного ресурса допускается при оценке агрегата, имеющего наработку менее половины межконтрольного периода. При этом вопрос о замене агрегата в течение цикла выполнения сельскохозяйственных операций не ставится, а определение количества внезапных отказов (2.10) может измениться незначительно. В случае если наработка агрегата превышает половину межконтрольного периода времени, погрешность предсказания остаточного ресурса существенно снизится, в связи с этим, погрешность оценки количества внезапных отказов по формуле (2.10) может остаться в пределах допустимого.

Среднеквадратическая погрешность оценки диагностических параметров составляет $\pm 10\%$ [40]. Тогда можно констатировать, что вероятность получения погрешности $(+10\%)$ равна вероятности получения погрешности (-10%) . В связи с этим, справедливо, что $P(+10\%) = P(-10\%) = \frac{1}{2}$, т.е. вероятность получения только положительной или только отрицательной погрешности, равна $\left(\frac{1}{2}\right)^n$ и резко уменьшается с ростом n [37].

Исходя из вышеизложенного, погрешность предсказания остаточного ресурса отдельных агрегатов не будет сильно влиять на трудоемкость проведения технических обслуживаний и ремонта всего тракторного парка.

Иногда можно корректировать планирования ремонтных воздействий. В процессе проведения ресурсного диагностирования техники при ТО-3 может быть, что остаточный ресурс некоторых агрегатов меньше, чем требуемое ее значение до очередного планового ТО-3. При выборе варианта ремонтных воздействий (при проведении ТО-3) следует корректировать информацию об остаточных ресурсах агрегатов всего трактора, планируемых сроках и объемах выполнения сельскохозяйственных работ. Корректировка проводится с момента проведения планового ТО-3.

3.5. Результаты оценки наработки на отказ двигателя тракторов

Закономерности изменения количества отказов агрегатов систем трактора в зависимости от их остаточных ресурсов определялись, используя методику определения оптимального вида зависимости по критерию минимума остаточной дисперсии разработанной в [6].

В результате проведения экспериментальных исследований были получены числовые значения по внезапным отказам различных групп сложности

двигателей тракторов, которые находились под наблюдением. Остаточные ресурсы агрегатов систем трактора к началу наблюдений представлены в приложении А таблица А4, кроме этого в этой таблице представлены и количество отказов (фактическое и расчетное) соответствующие каждому наблюдению. Полученные результаты обработаны с использованием ЭВМ по разработанной программе.

Наработка на отказ систем агрегатов трактора определялся по формуле 3.12.

Закономерности в виде формул, а также коэффициенты корреляции и их ошибки, по которым можно судить о тесноте связи переменных параметров и функции отклика, представлены в таблице 3.1.

На рисунках 3.3 представлены графики изменения наработки на отказ двигателя, в зависимости от остаточного ресурса составляющих его агрегатов.

Полученные результаты показали, что с уменьшением остаточного ресурса составляющих агрегатов наработка на отказ систем трактора по группам сложности изменяются следующим образом (таблица 3.2).

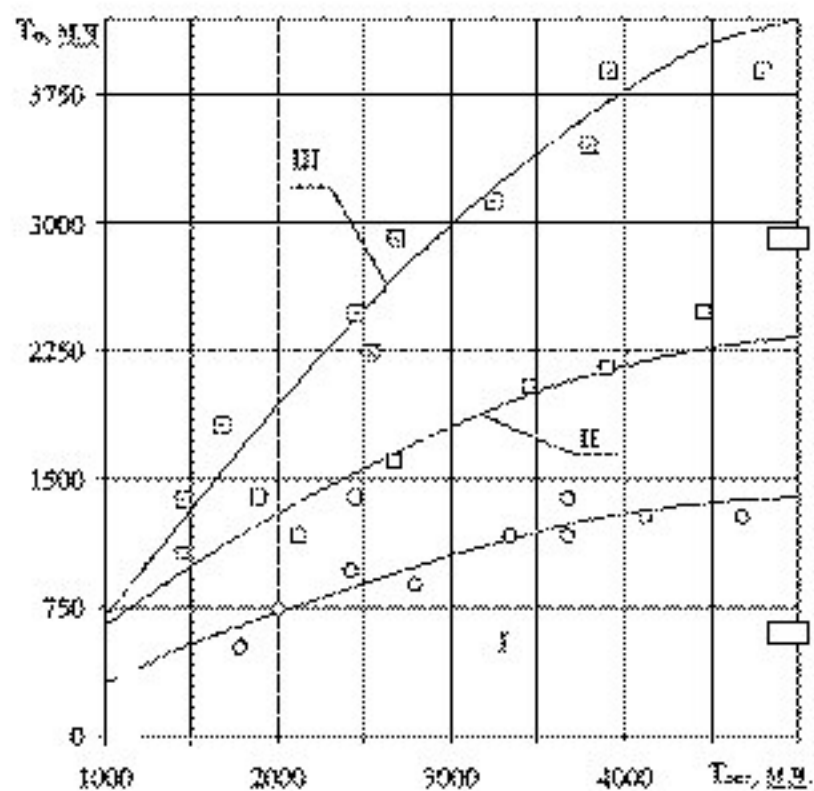


Рисунок 3.3 - Закономерность изменения наработки на отказ двигателя МТЗ-80,82 1, 2, 3 группы сложности в зависимости от остаточного ресурса

□

Системы трактора	Группа сложности отказа	Уравнение зависимости наработки на отказ от остаточного ресурса, м.ч.	Коэффициент корреляции	Ошибка коэффициента корреляции
Двигатель	1	$T_{отв}^I = 27 \cdot T_{ост}^{0,51} - 610$	0,68	0,18
	2	$T_{отв}^{II} = 0,895 \cdot T_{ост} - 170,23 - 7,8 \cdot 10^{-5} \cdot T_{ост}$	0,62	0,17
	3	$T_{отв}^{III} = 5319,9 \cdot \lg T_{ост} - 15443,8$	0,59	0,15

Таблица 3.2-Пределы изменений наработок на отказ двигателя по группам сложности

Группа сложности	Наработка на отказ системы в течении наблюдения		
1	434,7	...	1562
2	781,2	...	2500
3	1000	...	4761,9

Во втором разделе отмечено, что расход ресурса агрегатов и систем трактора зависит от условий их функционирования, т.е. с изменением тех или иных условий расход ресурса будет увеличиваться с различной интенсивностью. Поэтому, в зависимости от расхода ресурса будет меняться остаточный ресурс агрегатов и систем трактора, а значит и количества появления отказов различных групп сложности.

Закономерность изменения интенсивности износа двигателя, т.е. интенсивности уменьшения остаточных ресурсов во времени в зависимости от условий эксплуатации за периоды до ремонта и после ремонта представлены на рисунках 3.4 и 3.5. При этом K_0 рассчитывали по формуле (2.20), исходные данные представлены в приложении А таблице А4.

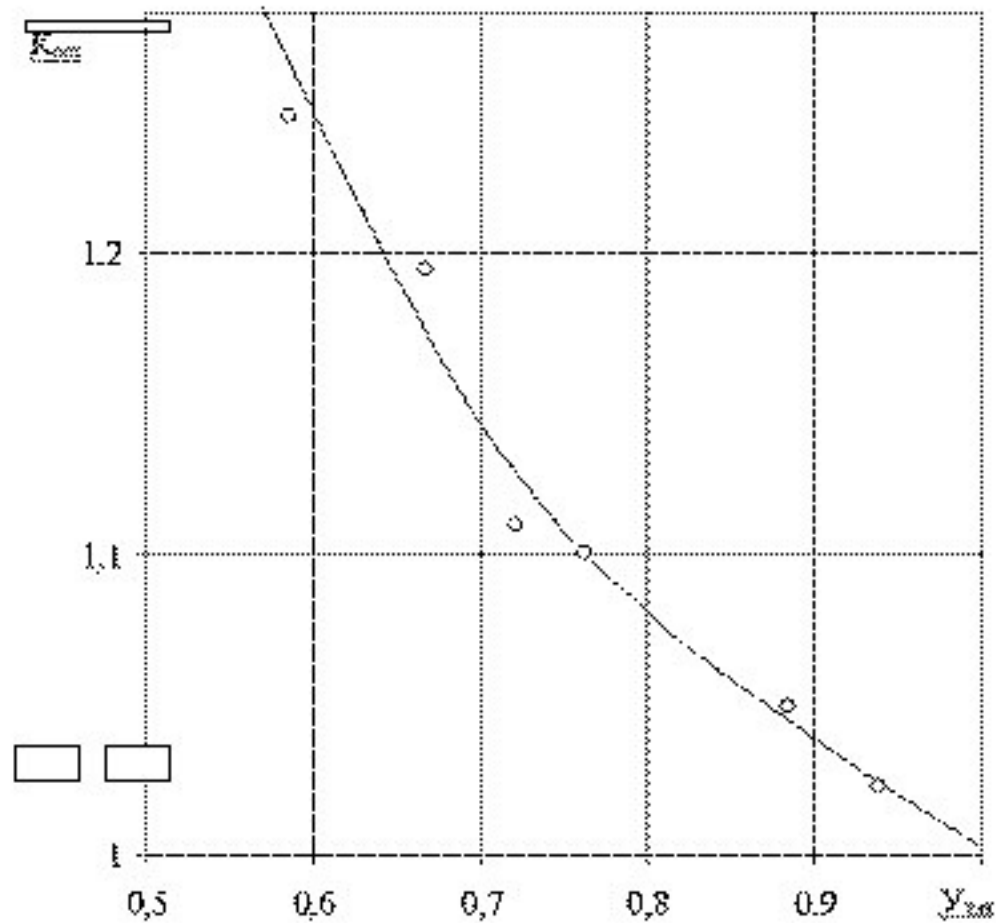


Рисунок 3.4 - Закономерности изменений интенсивности уменьшения остаточного ресурса двигателя трактора МТЗ в зависимости от уровня технической эксплуатации в периоде до ремонта

Зависимость изменения интенсивности уменьшения остаточного ресурса в зависимости от уровня технической эксплуатации в период до ремонта трактора МТЗ выглядит следующим образом:

$$K_{\text{ост}} = 0,549 + 0,438 \cdot Y_{\text{тех}}^{-0,391} \quad (3.18)$$

$$R_{\text{в}}=0,625, m_{\text{в}}=0,216$$

Исходя из закономерности, представленного на рис. 3.6 видно, что с изменением уровня технической эксплуатации от 0,5 до 1 интенсивность уменьшения остаточного ресурса двигателя увеличивается 36,3%, т.е. в 1,36 раза. На практике это означает, что если при номинальных условиях эксплуатации до очередного ТО-3 остаточный ресурс уменьшится на 1000 м.ч., то при $Y_{т.э.}=0,5$ за тот же период – уменьшится на 1360 м.ч. В связи с этим, при прогнозировании состояния трактора до очередного ТО-3 необходимо учитывать уровень его технической эксплуатации.

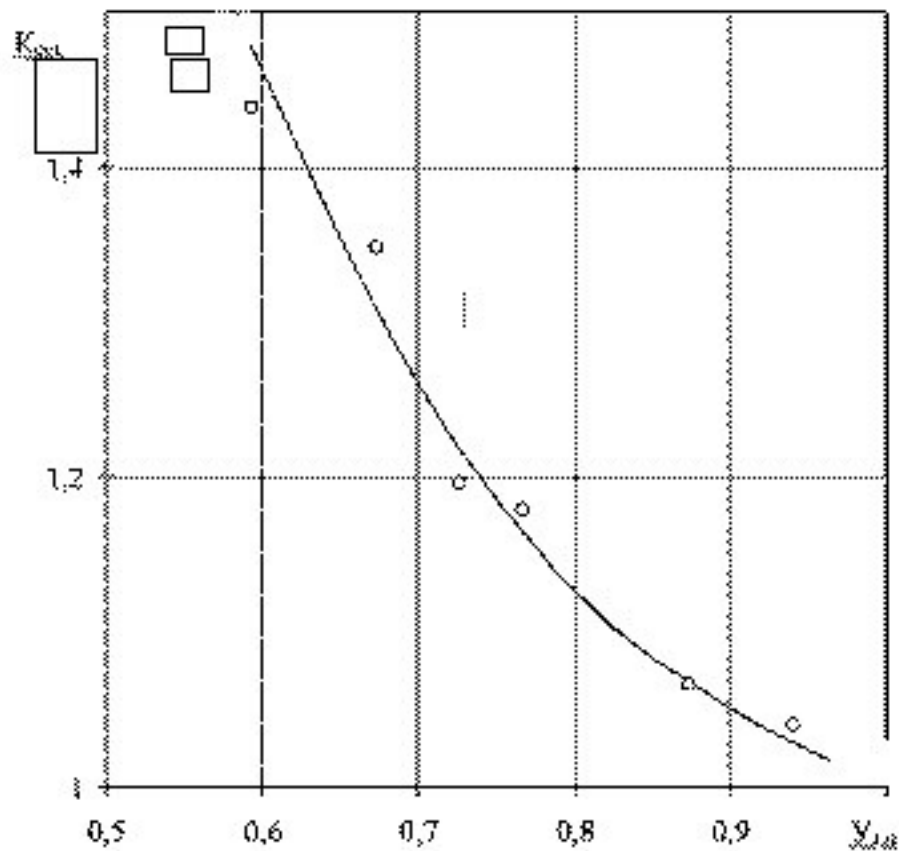


Рисунок 3.5 - Закономерности изменений интенсивности уменьшения остаточного ресурса двигателя трактора МТЗ в зависимости от уровня технической эксплуатации в послеремонтный период

Зависимость изменения интенсивности уменьшения остаточного ресурса в зависимости от уровня технической эксплуатации в период после ремонта трактора МТЗ выглядит следующим образом:

$$K_{\text{в}} = 0,779 + 0,871 \cdot Y_{\text{в}}^{-0,796} \quad (3.19)$$

$$R_{\text{в}}=0,613, m_{\text{в}}=0,3$$

Исходя из закономерности (рисунок 3.5) видно, что интенсивность расхода ресурса двигателя в послеремонтном периоде увеличивается в 1,69 раз.

3.6. Реализация математической модели обеспечения работоспособности тракторов с учетом остаточного ресурса их агрегатов и систем

Расчетные значения реализации математической модели обеспечения работоспособности тракторов, т.е. изменение комплексного показателя надежности тракторов, коэффициента технического использования в зависимости от наработки при номинальном значении уровня технической эксплуатации тракторов МТЗ и при остаточных ресурсах двигателя $T_p=6000$ и 3000 м.ч. представлены на рис.3.6...3.8.

Из графиков (рис. 3.6) видно, что при номинальном значении технической эксплуатации и остаточном ресурсе двигателя 6000 м.ч., т.е. для нового двигателя следует предусмотреть капитальный ремонт после 5000 м.ч., второй КР – 8000 м.ч., и списание – 11000 м.ч.

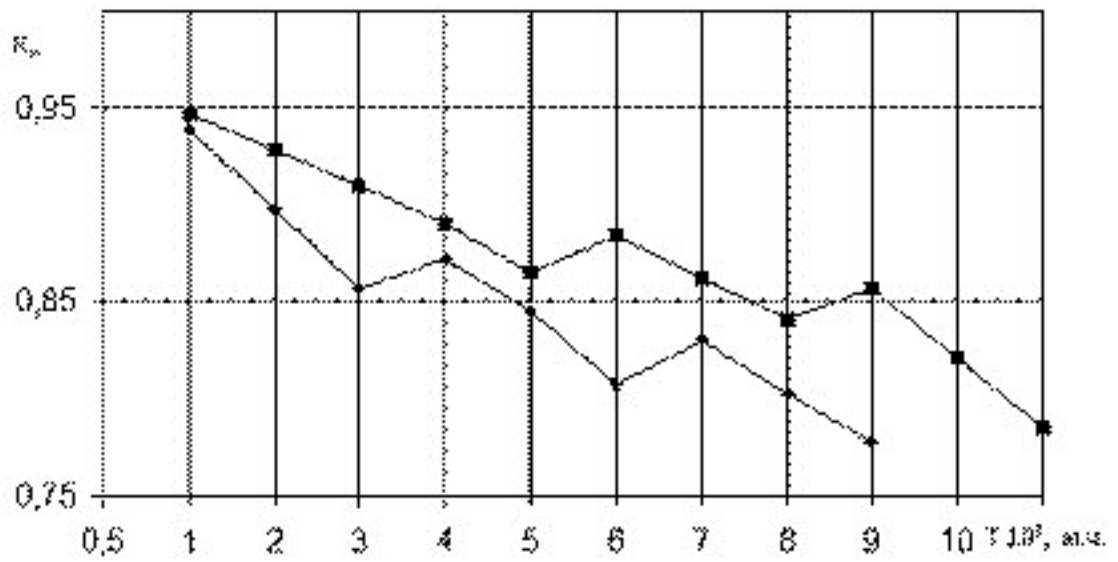


Рисунок 3.6 - Результаты расчета коэффициента использования тракторов при:

$T_{\phi}=6000$, $Y_{тсг}=1$ - ■■■

$T_{\phi}=3000$, $Y_{тсг}=1$ - ◆◆◆

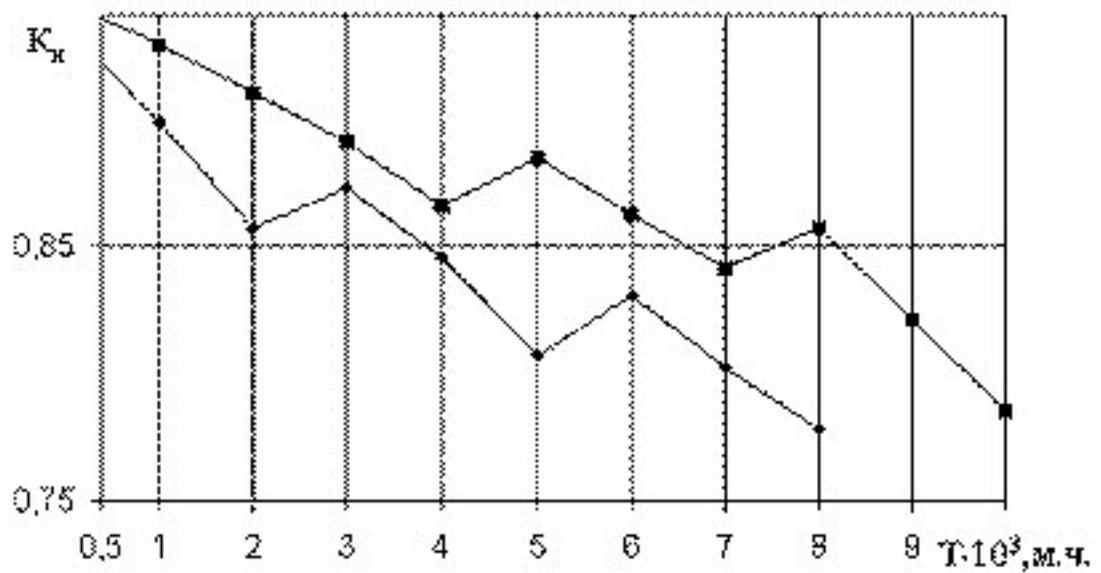


Рисунок 3.7 - Результаты расчета коэффициента использования тракторов при:

$T_{\phi}=4200$ м.ч., $Y_{тсг}=1$ - ■■■

$T_{\phi}=4200$ м.ч., $Y_{тсг}=0,5$ - ◆◆◆

Из графиков (рис. 3.7) видно, что при номинальном значении технической эксплуатации и остаточном ресурсе двигателя 4200 м.ч., следует предусмотреть капитальный ремонт после 4000 м.ч., второй КР – 7000 м.ч., и списание – 10000 м.ч. При том же остаточном ресурсе двигателя и при уровне технической эксплуатации тракторов 0,5, следует предусмотреть капитальный ремонт после 2000 м.ч., второй КР – 5000 м.ч., и списание – 8000 м.ч.

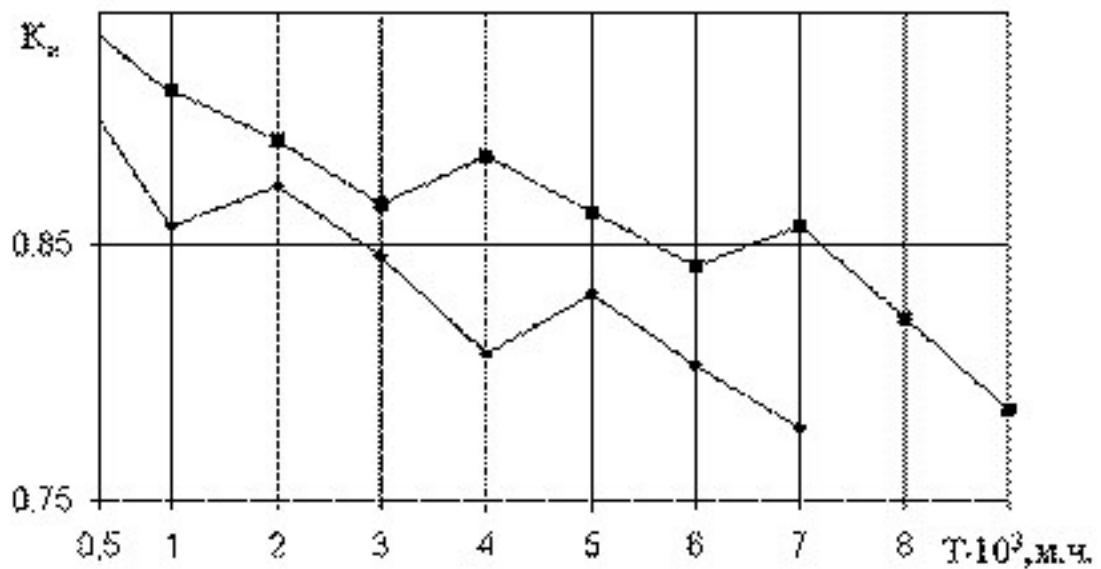


Рисунок 3.8 - Результаты расчета коэффициента использования тракторов при:

$$T_p = 3000 \text{ м.ч.}, Y_{тст} = 1 \text{ - ромбы}$$

$$T_p = 3000 \text{ м.ч.}, Y_{тст} = 0,5 \text{ - квадраты}$$

Из графиков (рис. 3.8) видно, что при номинальном значении технической эксплуатации и остаточном ресурсе двигателя 3000 м.ч., следует предусмотреть капитальный ремонт после 3000 м.ч., второй КР – 6000 м.ч., и списание – 9000 м.ч. При том же остаточном ресурсе двигателя и при уровне технической эксплуатации тракторов 0,5, следует предусмотреть ка-

питательный ремонт после 1000 м.ч., второй КР – 3000 м.ч., и списание – 7000 м.ч.

3.7. Рекомендации по обеспечению работоспособности тракторов с учетом условий их функционирования

При определении оптимальных сроков и объемов ремонтных работ следует пользоваться методикой выбора варианта ремонтных воздействий по результатам ресурсного диагностирования при ТО-3 с учетом уровня технической эксплуатации тракторов, изложенной в разделе 2.

В соответствии с этой методикой определялись значения остаточных ресурсов агрегатов, с учетом интенсивности падения ресурса в зависимости от уровня технической эксплуатации тракторов (ТЭТ), при котором затраты при использовании агрегата до ресурсного отказа с последующим его заменой, равны затратам от предупредительной замены агрегата при ТО-3.

Затраты времени и денежных средств на устранение последствий отказов различных групп сложности представлены в (приложение Б таблица Б2).

Обоснование потребности тракторов в капитальном ремонте можно осуществить по числовым значениям прогнозируемых удельных издержек по обеспечению его работоспособности в периодах наработок до очередного ТО-3.

Определенные предельные значения остаточного ресурса систем и агрегатов, заменяемые предупредительно, составляют от 890 до 1990 м.ч. и зависят от уровня технической эксплуатации тракторов.

Зависимости изменения предельной величины остаточного ресурса масляного насоса, топливного насоса и цилиндра - поршневой группы представлены на рисунке 3.9.

Анализируя рисунок 3.9 можно сделать вывод, что увеличение уровня технической эксплуатации тракторов от минимального (0,5) до нормативного значения приводит к изменению предельных значений остаточного ресурса цилиндра - поршневой группы от 963 до 1134 м.ч.; топливного насоса от 987 до 1470 и масляного насоса от 1004 до 1753 м.ч. В связи с тем, что предельные значения остаточных ресурсов агрегатов и систем трактора увеличиваются, что приводит к снижению вероятности их отказов и делает дальнейшую эксплуатацию агрегатов экономически целесообразным.

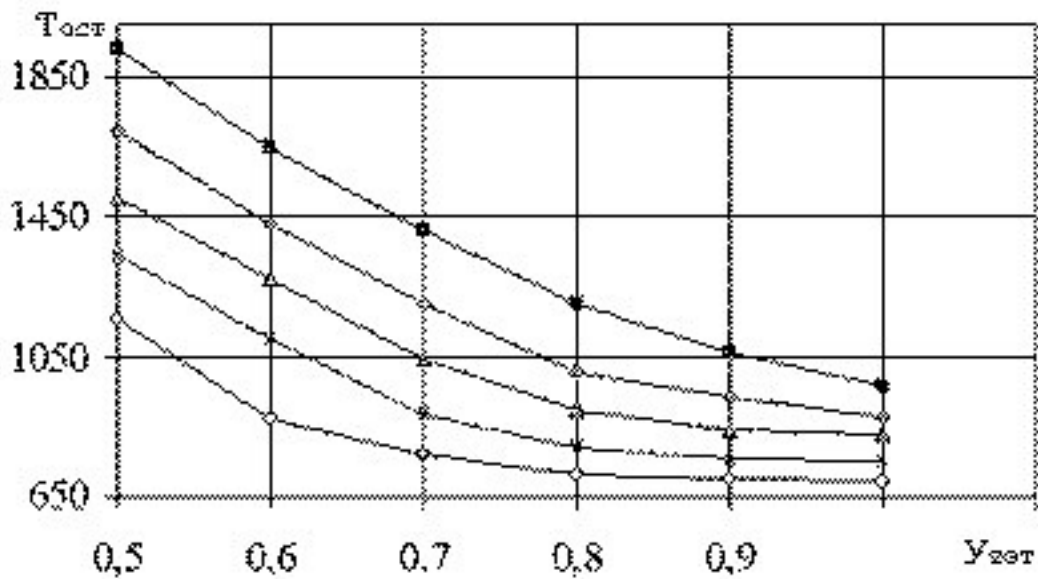


Рисунок 3.9- Предельное значение остаточных ресурсов агрегатов двигателя трактора МТЗ, заменяемых предупредительно при ТО-3

- форсунка
- головка цилиндров
- ▲—▲—▲— топливный насос
- ×—×—×— воздушный фильтр
- ◇—◇—◇— кривошипно-шатунный механизм

Для примера по обеспечению работоспособности трактора МТЗ в ООО «Чулпан» Тукаевского района РТ.

Количественные значения и наработки тракторов получены из хозяйственных карточек тракторов.

Таблица 3.3 - Количественные значения наработки тракторов МТЗ в ООО «Чулпан»

Хоз. номер	Выработка, м.ч.			Выработка от начала экс- плуатации, м.ч.
	от ТО-1	от ТО-2	от ТО-3	
8	30	90	570	2495
12	34	33	270	2622
15	9	65	545	1321

Диагностические параметры агрегатов систем техники перед планированием были определены, используя контрольный журнал мастера - диагноста. Используя расчетный способ, были получены параметры, которые формируют данные: наработка, время на проведения восстановление ресурса, определены оптимальных значений сроков и объема ремонта.

Показатели, которые характеризуют обеспечение работоспособности всех тракторов, представлены в таблице 3.2. Данные параметры для разных машин будут различны, это объясняется тем, что изначально остаточные ресурсы агрегатов и систем трактора различны.

Таблица 3.4 Расчетные показатели по повышению эффективности использования тракторов путем оптимизации сроков и объемов ремонтно - обслуживающих воздействий МТЗ в ООО «Чушпан» Тукаевского района

Параметры	Номер тракторов в хозяйстве						% изменения в среднем
	Фактические значения			После реализации разработанных мероприятий			
	8	14	15	8	14	15	
Уровень ТЭТ тракторов	0,63	0,63	0,63	0,92	0,92	0,92	+46
Остаточный ресурс, м.ч.	2868	4422	2724	3978	4188	3913	+38
Время на устранения отказов, ч							
в том числе:							
на проведение ремонта	148,3	122,2	152,9	93,3	94,9	86,17	
на проведение замены	140,2	120,2	144,4	92	90,7	86,17	-31,8
	6,7	0	11,7	5,3	4,2	0	
Трудоемкость ТО, м.ч.							
в том числе на проведение ТО:							
1							
2							
3	88,5	69,8	80,1	92,9	92,9	77,9	
	39,5	42,2	41,5	45,9	45,9	45,9	+20,7
	25,6	25,6	19,2	25,6	25,6	32	
	21,4	-	21,4	21,4	21,4	-	
Трудоемкость работ по устранению отказов по							

гр. сложности, чел.ч							
1	6,3	4,7	6,1	3,1	3,5	2,73	
2	63,3	52,8	65,2	48,1	46,2	42,1	-54
3	72,1	68,3	69,8	40,8	41,4	41,3	
Трудоемкость по проведению обслуживания, чел.ч	219,5	187,2	224,7	278,2	278,5	250,2	+8,9

Исходя из анализа таблиц 3.4, внедрение разработанных мероприятий, т.е. мероприятий обеспечивающие работоспособность тракторов с учетом остаточных ресурсов их агрегатов и систем позволило: уровень ТЭТ повысить с 0,65 до 0,92; время, затраченное для устранения отказов снизить на 31,8 %, т.е. от 744,6 до 1092 ч; затраты труда на проведение ремонтно-обслуживающих работ повысилось на 20,7% за счет увеличения количества технических обслуживаний.

3.8 Расчет экономической эффективности от внедрений результатов исследования в производство

В результате внедрения мероприятий в производстве, который разработан с использованием математической модели в течение всего цикла сельскохозяйственных работ, позволил решать практические задачи по вычислению оптимальных наработок с помощью ЭВМ на все периоды ремонтных воздействий.

Внедрение разработанной системы технического обслуживания и ремонта с учетом условий эксплуатации тракторов позволил уменьшить время их простоев по причинам отказа в среднем на 56%.

В работах [22, 28] рассмотрены вопросы экономического обоснования новых организационных форм и технологий ТО и ремонта техники в аграрном производстве, где отмечено, что экономическая эффективность определяется по формуле:

$$\Xi = (C_{\text{с}} + E_{\text{к}} K_{\text{с}}) - (C_{\text{н}} + E_{\text{к}} K_{\text{н}}), \quad (6.9)$$

где $C_{\text{с}}$, $C_{\text{н}}$ - затраты на обеспечение работоспособности тракторов при существующем и предлагаемом варианте, руб;

$K_{\text{с}}$, $K_{\text{н}}$ - капиталовложение на обеспечение работоспособности при существующем и предлагаемом варианте, руб;

$K_{\text{н}}$ - нормативный эффект капиталовложений.

В результате преобразования, формула (6.9) примет вид:

$$\Xi = (Z_{\text{с}} - Z_{\text{н}}) W_{\text{н}} - E_{\text{к}} (K_{\text{н}} - K_{\text{с}}), \quad (6.10)$$

где $Z_{\text{с}}$, $Z_{\text{н}}$ - суммарные удельные издержки на поддержание тракторов в работоспособном состоянии при базовом и новом вариантах, р/м.ч.;

$W_{\text{н}}$ - годовая наработка трактора при новом варианте, м.ч.

Разница дополнительных капиталовложений определяются по формуле [25]:

$$\Delta K = C_{\text{м}} \cdot \alpha \quad (6.11)$$

где $C_{\text{м}}$ - стоимость трактора (в ценах 2019 года $C_{\text{м}} = 1\,503\,50$ руб).

α - норматив капиталовложений в сельском хозяйстве.

В конечном счете, формула примет вид:

$$\Xi = (Z_{\text{с}} - Z_{\text{п}}) W_{\text{г}} \cdot C_{\text{м}} \cdot \alpha \cdot E_{\text{п}}. \quad (6.12)$$

Как было отмечено в разделе 4.2 при базовом варианте эксплуатации тракторов, средние удельные издержки на поддержание МТЗ в работоспособном состоянии равны 1002,8 руб/м.ч. В результате внедрения предложенных мероприятий - удельные затраты уменьшились до 960,2 руб/м.ч., при нормативной годовой наработке 1200 м.ч.

Подставив значения в формулу (6.11), можно определить годовой экономический эффект (в ценах 2019 г):

$$\Xi = (1002,8 - 960,2) \cdot 1200 \cdot 0,15 \cdot 150350 \cdot 0,31 = 44128,7 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект на один эталонный трактор, равняется 44128,7 руб.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Выявлены закономерности изменения наработки на отказ двигателя (по группам сложности) трактора в зависимости от остаточного ресурса. С изменением остаточного ресурса от 4500 м.ч. до 1500 м.ч. наработка на отказ изменится I группы сложности от 551 м.ч. до 178 м.ч., II – от 744 м.ч. до 274 м.ч., III – от 1530 до 571 м.ч. Полученные регрессионные зависимости позволяют определить трудоемкость ремонта трактора по результатам диагностирования. Доверительная вероятность для доверительного интервала

наработки на отказ, который не превышает 7,8% от значения, полученного расчетным путем, равняется 0,95.

Выявлены закономерности интенсивности изменения остаточных ресурса агрегатов двигателя в зависимости от уровня технической эксплуатации тракторов. С изменением уровня технической эксплуатации от 1 до 0,5 интенсивность расхода остаточного ресурса двигателя увеличивается 36,3%. Полученные регрессионные зависимости позволяют прогнозировать надежность техники до очередного ТО-3 для различных условий их функционирования, что дает полное представление об интенсивности износа при оптимизации сроков и объемов ремонтно-обслуживающих воздействий трактора. Среднее значение коэффициента корреляции 0,64, относительная ошибка коэффициента корреляции 0,17, что в пределах допустимого.

2. Разработана математическая модель для обеспечения работоспособности тракторов с учетом остаточных ресурсов их агрегатов и систем, а также условий функционирования. При уменьшении остаточного ресурса двигателя от 6000 м.ч. до 3000 м.ч. и изменении уровня технической эксплуатации тракторов от 1 до 0,5 доремонтная наработка уменьшится от 5000 м.ч. до 1000 м.ч., межремонтная – от 8000 м.ч. до 4000 м.ч. и наработка до списания – от 11000 м.ч. до 7000 м.ч.

Проверка адекватности математической модели путем сопоставления расчетных и фактических промежуточных значений коэффициентов использования и ремонтных наработок трактора показала, отклонения равняется 9,8% и 8,6%. В целом, фактические показатели ремонтных наработок на практике подтверждают значения, найденные расчетным путем.

3. Обоснованы рациональные варианты ремонтных воздействий в зависимости от величины остаточных ресурсов агрегатов двигателя трактора, позволяющие не лимитировать остаточные ресурсы основных агрегатов ма-

шины и минимизировать затраты на их замену. При этом предельные значения величин остаточных ресурсов агрегатов двигателя трактора позволяют производить их замену предупредительно при проведении ТО-3 - они изменяются от 890 до 1990 м.ч. и зависят от условий эксплуатации тракторов в хозяйстве.

4. Внедрение разработанных мероприятий позволило: уровень ТЭТ повысить с 0,65 до 0,92; время, затраченное для устранения отказов снизить на 31,8 %, т.е. от 744,6 до 1092 ч; затраты труда на проведение ремонтно-обслуживающих работ повысились на 20,7% за счет увеличения количества технических обслуживаний.

5. При внедрении результатов теоретических и экспериментальных исследований в производство можно сократить простои по техническим причинам в среднем на 56%. Годовой экономический эффект от внедрения мероприятий составил 44128,7 рублей на один эталонный трактор.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богомолов Ф.И., Косынкин А.А. АПК: Организация, планирование, управление: Продовольственная программа в действии. – М.: Политиздат, 1983. – 64 с.
2. Бьков П.Л. Агроклиматический справочник по Татарской АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 151 с.
3. Волков М.К. Исследование и совершенствование способов получения достоверной информации об отказах сельскохозяйственной техники. Автореф. Дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 1982. – 18 с.
4. Галеев Г.Г., Галиев И.Г. Резервы улучшения использования тракторов // Техника в сел. хоз-ве. 1996. - № 2. – С. 22-24.
5. Галиев И.Г. Определение весомостей агрегатов, систем и влияние уровня работоспособности на надежность трактора. //Труды Казанской государственной сельскохозяйственной академии (раздел: технических наук). Том 70. -Казань: Изд-во КГСХА, 2001. –С. 75-83.
6. Галиев И.Г. Повышение эффективности использования тракторов с учетом условий их функционирования / И.Г. Галиев – Казань: Изд-во Казан. ун-та, -2002.- 204 с.
7. Garifullin R.F., Galiev I.G. Providing the ability to carry out the work of tractors in agricultural production / Материалы международной научно-практической конференции «Достижения техники и технологии в АПК» - Ульяновск. Ульяновский ГАУ, 2018. – с. 255-263.
8. Галиев И.Г., Гарифуллин Р.Ф. Кадиров Ш.Р. Анализ работ по оптимизации использования ресурса тракторов в аграрном производстве / Материали за XIV международна научна практична конференция, Динамиката на

съвременната наука - 2018, 15 - 22 юли 2018 г.: София. « Бял ГРАД-БГ » - с. 94-98.

9. Кадиров Ш.Р., Мухаметшин А.А., Гарифуллин Р.Ф. Анализ факторов, влияющих на качества ремонта техники в аграрном производстве // Materials of the XV International scientific and practical Conference Science and civilization - 2019, 30 January - 07 February, 2019: Sheffield. Science and education LTD -116 p.

10. Гимадиев Р.М., Мухаметшин А.А., Гарифуллин Р.Ф. Обеспечение работоспособности тракторов в АПК путем оптимизации их сроков ремонта и службы // Материалы Национальной научно-практической конференции «Актуальные проблемы разработки, эксплуатации и технического сервиса машин в агропромышленном комплексе», посвященной 40-летию Белгородского ГАУ. – п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2019, с.18-22

11. Гомошинский В.Г., Флиорент Г.И. Теоретические основы инженерного прогнозирования. М.: «Наука». –1973. –С.62-89.

12. ГОСТ 20831-75 Система технического обслуживания и ремонта техники. Порядок проведения работ по оценке качества отремонтированных изделий. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 21 с.

13. ГОСТ 24.294-80 Определение коэффициентов весомости при комплексной оценке технического уровня и качества продукции. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 23 с.

14. ГОСТ 27.002-83. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов,- 1983. – 30с.

15. ГОСТ 7751-79 Техника, используемая в сельском хозяйстве. Правила хранения. – М.: Изд-во стандартов, 1982. –14 с.

16. Дуров С.М., Ландина М.К., Любимцев А.Г. Взаимоувязки планов использования МТП и работы службы технического обслуживания // Науч.-

техн. бюл. / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – 1982. – Вып. 24: Вопросы повышения эффективности использования техники на базе инженерно-технических комплексов. – С. 33-42.

17. Ждановский Н.С., Николаенко А.В. Надежность и долговечность автотракторных двигателей. – Л.: Колос, 1981. – 273 с.

18. Жукевич К.И. Методы экономической оценки сельскохозяйственных машин и технологий. – Минск: Урожай, 1974. – 285 с.

19. Игнатьев Р.А. Защита техники от коррозии, старения и повреждений. – М.: Россельхозиздат, 1987. – 347 с.

20. Кавалерчик К.М. Методика определения оптимальной доремонтной и межремонтной долговечности тракторов // Механиз. и электриф. сел. хоз-ва. – 1981. - №11. – С.47-50.

21. Карпов Л.И., Зимин Н.Е. Обоснование нормативной периодичности технического обслуживания сельскохозяйственных тракторов // Сб. науч. тр. / МИИСП. – М., 1979. – Вып. 3. – Т. 16. – С.80-86.

22. Кастен А.Д. О методах и результатах анализа машинно-тракторного парка // Международный сел. – хоз. журнал. – 1976. - № 2. – С. 93-97

23. Киртбая Ю.К., Шаров Н.М. Повысить эффективность использования технического потенциала сельского хозяйства // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1981. – № 3. – С.1.

24. Коллегаев Р.Н. и др. Управление обновлением машинного парка. – Киев: Техника, 1981. – 176 с.

25. Коллегаев Р.Н. Установление оптимальной системы ремонта машин //Оптимальные сроки службы и экономическая эффективность ремонта машин и оборудования. –Минск, - 1971. –С. 160-162.

26. Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве: Метод. рекомендации ЛОСНИТИ; Подгот. под рук. Черепанова С.С. – М., –1985. –142 с.

27. Конкин Ю.А. Проблема эффективности использования техники // Механизация и электрификация сельского хозяйства. –1978. –№ 10. –С.1.

28. Конкин Ю.А. Экономика ремонта сельскохозяйственной техники. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос 1982.- 319с.

29. Конкин Ю.А. О материально-технической основе агропрома // Коммунист. – 1984. - № 18. – С.49-60.

30. Конкин Ю.А. Технический сервис – реальность и проблемы // Механизация и электрификация сельского хозяйства. –1988. –№ 9. –С.3.

31. Конкин Ю.А. Технический сервис в АПК: проблемы и пути их решения //Тракторы и с.-х. машины. -1999. - №4. - С. 2-6.

32. Косачев Г.Г. Состояние и перспективы развития технической базы сельского хозяйства // Механизация и электрификация сельского хозяйства. –1981. –№ 3. –С.1.

33. Крастинь О.П. Методы анализа регрессий и корреляций. – Рига: ЦСУ СМ Латвийской ССР, 1970. – 347 с. Кутель Р.В. Долговечность автомобиля. Машгиз. М., 1961. 124

34. Кутель Р.В. Предельное состояние машин и их элементов // Вестник машиностроения. – 1972. - № 10. – С.3-6.

35. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. – М.: Высшая школа, 1988. – 239 с.

36. Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М.: «Колос», 1977.

37. Методические указания по определению экономической эффективности использования новой техники, изобретений и рационализаторских предложений на предприятиях и в организациях. Системы «Союзсельхозтехника». – М.: ЦНИИТЭИ Союзсельхозтехники СССР, 1978. – 91 с.

38. Методические указания по оценке, прогнозированию и нормированию ресурса и безотказности сельскохозяйственной техники. – М.: ГОСНИТИ, - 1985. – 272 с. 11

39. Методические указания. Оценка уровня технической эксплуатации тракторов. – М.: НАТИ, 1981. – 50 с.

40. Михлин В.М. К вопросу определения оптимального межремонтного срока службы узла или агрегата машины // Тр. ГОСНИТИ. – 1964. - № 4. С.82-89.

41. Михлин В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники. –М.: Колос, - 1984. –335 с.

42. Народное хозяйство СССР в 1988 г.: Стат. ежегодник / Госкомстат СССР. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 766 с.

43. Нефедов Б.Б., Остапко А.Т. Анализ и определение потерь от простоев сельскохозяйственных агрегатов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. –1966. –№ 3. –С.16-20.

44. Определение издержек на устранение последствий отказов тракторов: Временные метод. указания / С.С.Дмитриенко и др. – М., 1983. – 20 с.

45. Основы технико-экономического обоснования периодичности технического ухода за машиной // Актуальные вопросы эксплуатации МТП в сельском хозяйстве: Сб. науч. тр. / ВИМ. – М., 1969. – С. 223-226.

46. ОСТ 70.2.8-82 Испытания сельскохозяйственной техники. Надежность. Сбор и обработка информации.

47. Пасечников Н.С. Исследование процесса освежения масла в картере двигателя // Сб. науч. тр./ ГОСНИТИ. – М., 1964. – Т.4. – С. 13-19.
48. Пасечников Н.С. Научные основы методики оптимизации технического обслуживания машин // Сб. науч. тр. / ВИМ. – М., 1979. – Т. 85. – С.21-69.
49. Пасечников Н.С. Научные основы технического обслуживания машин в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1983. – 304 с.
50. РД 50-690-89. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным.
51. Таблицы показателей для определения надежности элементов, вида и срока ремонта машин по результатам диагностирования. – М.: ГОСНИТИ, - 1980. – 394 с.
52. Топилин Г.Е. Работоспособность тракторов. – М.: «Колос», - 1984. – 303 с.
53. Ульман И.Е. Основы агрегатного метода ремонта машин // Сб. науч. тр. / ГОСНИТИ. – М., 1972. – Т. 34. С. 3-29.
54. Черепанов С.С. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве. –М.: Колос, 1978. –287 с.

Приложение А

Таблица А1-Перечень наблюдаемых тракторов для оценки работоспособности

Район	Агропредприятие	Уровень ТЭТ	Номер трактора	Д- до капитального ремонта, П- после капитального ремонта	Начало эксплуатации
Пестречинский район	ООО «Ленино-Кокушкино»	0,5903	10	П	2004
			14	П	1995
			16	Д	2000
			15	П	2007
			11	П	2007
			9	П	2011
			5	Д	2015
			7	Д	2014
Нижнекамский район	ООО «Каенль»	0,6889	14	Д	2012
			13	Д	2000
			5	П	2006
			4	П	2014
Лаишевский район	ООО «Юлдуз»	0,6464	32	П	2015
			1	П	2010
			3	Д	2008
			8	Д	2011
			20	П	2013
			21	П	2012

			12	Д	2000
			10	Д	2009
			5	П	2009
			6	Д	2011
			18	Д	2012

Таблица А2-Лист наблюдения

Марка трактора

Хочу видеть

Дата появления отказа	Наименование отказавшего узла, агрегата	Характеристика отказа	Наработка узла, от начала наблю- дений до отказа, м.ч.
1	2	3	4

Таблица А4 – Изменение состояния двигателя трактора, рассчитанные и фактические значения количества отказов за наработку в 1000 м.ч.

№ опыта	Остаточный ресурс, м.ч.		Фактическое коли- чество отказов по группам сложности			Расчетные значения количе- ства отказов по группам сложности		
	начало	конец						
			I	II	III	I	II	III
1.	4470	3430	1	1	0	0,877	0,515	0,314
2.	2952	1920	1	1	0	1,273	0,709	0,465
3.	3186	2133	1	1	1	1,195	0,670	0,432

№ опыта	Остаточный ресурс, м.ч.		Фактическое количество отказов по группам сложности			Расчетные значения количества отказов по группам сложности		
	начало	конец						
			I	II	III	I	II	III
4.	2070	1017	2	1	0	1,680	0,881	0,654
5.	1986	525	2	1	1	1,735	0,934	0,681
6.	2712	1251	2	1	0	1,635	0,754	0,504
7.	4110	2860	1	1	0	0,951	0,550	0,339
8.	1884	423	2	1	1	1,803	0,996	0,714
9.	4044	2734	1	0	0	0,966	0,558	0,345
10.	3408	2098	1	1	0	1,127	0,637	0,405
11.	2718	1528	1	1	0	1,362	0,753	0,503
12.	3252	2074	1	1	1	1,174	0,660	0,424
13.	2388	1246	1	1	1	1,509	0,825	0,570
14.	3138	1996	1	1	0	1,210	0,678	0,438
15.	3372	1128	1	1	0	1,138	0,642	0,409
16.	1788	1878	2	1	1	1,870	0,998	0,754
17.	1770	600	2	2	1	1,880	1,005	0,762
18.	2364	1194	2	1	1	1,521	0,831	0,575
19.	948	152	3	2	1	2,877	1,415	1,405
20.	3072	1972	1	1	0	1,232	0,689	0,448
21.	2772	1412	1	1	0	1,341	0,743	0,495
22.	2550	1190	2	1	1	1,434	0,788	0,535
23.	2988	1788	1	1	0	1,261	0,703	0,459
24.	4710	3510	1	0	0	0,833	0,493	0,298

ОТЗЫВ

на магистерскую диссертацию Гарифуллина Р.Ф. на тему: «Обеспечение работоспособности тракторов с учетом остаточных ресурсов их агрегатов и узлов (на примере хозяйств Республики Татарстан)» научного руководителя, д-ра техн. наук, профессора кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Галиева Ильгиза Гакифовича

Развитие сельского хозяйства в условиях рыночных отношений сопровождается обострением проблемы эффективности использования техники.

Существующая в настоящее время системы ремонтно – обслуживающих работ не могут обеспечить надежность выполнения операций в растениеводстве из-за отсутствия методов оптимизации сроков и объемов ремонтно - обслуживающих воздействий машинно-тракторного парка с учетом остаточных ресурсов агрегатов, узлов техники и условий функционирования тракторов в целом.

Сущность решаемой научной проблемы определяется как установление закономерности влияния остаточного ресурса двигателя трактора на показатели его надежности для разработки мероприятий, которые обеспечивали бы надежность функционирования тракторов. При реализации этих мероприятий устраняются противоречие между потенциальными эксплуатационными возможностями тракторного парка и их фактическим уровнем, который является одной из причин роста издержек на ремонтные воздействия.

Научной новизной в работе является: разработана математическая модель обоснования работоспособности тракторов для периодов до ремонта, после первого и второго капитальных ремонтов с учетом остаточного ресурса агрегатов; выявлены закономерности изменения показателей надежности в зависимости от остаточного ресурса двигателя трактора.

Выпускником установлены закономерности изменения показателей надежности в зависимости от величины остаточных ресурсов агрегатов двигателя тракторов; разработана математическая модель по обеспечению работоспособности тракторов с учетом остаточного ресурса агрегатов двигателя; разработаны мероприятия и практические рекомендации по обеспечению работоспособности тракторов.

Теоретические и экспериментальные исследования выполнены выпускником самостоятельно, достаточно грамотно сформулированы выводы и предложения для производства.

По теме магистерской диссертации опубликовано 4 статьи в том числе получено свидетельство на регистрацию программного обеспечения.

В ходе выполнения выпускной работы Гарифуллин Р.Ф. проявил высокую дисциплинированность, трудолюбие, систематически посещал консультации, соблюдал график выполнения работы и в назначенный срок представил к защите.

В целом считаю, что данная выпускная работа соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям, а ее автор Гарифуллин Р.Ф. достоин присуждения квалификации «магистр».

Научный руководитель
д.т.н., профессор кафедры ЭРМ

И.Г.Галиев

С отзывом ознакомлен:

РЕЦЕНЗИЯ

на выпускную квалификационную работу

Выпускника Гарифуллина Рамиса Рамисовича

Направление 35.04.06 Агроинженерия

Направленность Технический сервис в сельском хозяйстве

Тема ВКР Обеспечение работоспособности тракторов с учетом
остаточных ресурсов их агрегатов и узлов (на примере
хозяйств Республики Татарстан)

Объем ВКР: текстовые документы содержат: 99 страниц, в т.ч. пояснительная записка 96 стр.; включает: таблиц 4, рисунков и графиков 12, фотографий — штук, список использованной литературы состоит из 54 наименований.

1. Актуальность темы, ее соответствие содержанию ВКР Тема ВКР актуальна
и соответствует содержанию.

2. Глубина, полнота и обоснованность решения поставленных задач Постав-
ленные задачи полностью решены и обоснованы расчетами.

3. Качество оформления ВКР оформлена аккуратно

4. Положительные стороны ВКР (новизна разработки, применение информационных технологий, практическая значимость и т.д.)
Используемая методика оценивания остаточных ресурсов и

способностью и готовностью применять знания о современных методах исследований (ПК-4)	4
способностью и готовностью организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, вести поиск инновационных решений в инженерно-технической сфере АПК (ПК-5)	5
Средняя компетентностная оценка ВКР	5

* Уровни оценки компетенции:

«**Отлично**» – студент освоил данную компетенцию на высоком уровне. Он может применять (использовать) её в нестандартных производственных ситуациях и ситуациях повышенной сложности. Обладает отличными знаниями и умениями по всем аспектам данной компетенции. Владеет полными навыками применения данной компетенции в производственных и (или) учебных целях.

«**Хорошо**» – студент полностью освоил компетенцию, эффективно применяет её при решении большинства стандартных производственных и (или) учебных задач, а также в некоторых нестандартных ситуациях. Обладает хорошими знаниями и умениями по большинству аспектов данной компетенции.

«**Удовлетворительно**» – студент не полностью освоил компетенцию. Он достаточно эффективно применяет освоенные знания при решении стандартных производственных и (или) учебных задач. Обладает хорошими знаниями по многим важным аспектам данной компетенции.

«**Неудовлетворительно**» – студент не освоил или находится в процессе освоения данной компетенции. Он не способен применять знания, умение и владение компетенцией как в практической работе, так и в учебных целях.

6. Замечания по ВКР

1. В работе отмечаются некорректные ссылки на используемую литературу (стр. 16, 22, 29, 34, 68 и т.д.)
2. Цель и задачи исследования повторяются в 2х местах: на стр. 7...8 и 20...21.
3. В формулах (2.25) и (2.26) есть некоторые отклонения в описании формул, т.е. $\sum_{n=1}^N$ не согласуется с индексами формулы.
4. Не совсем понятно, где это поставили скобки в формулах (3.10) и (3.11)
5. В подразделе 3.8 не правильная нумерация формул. (6.9... 6.12)
6. «Общие выводы» печатать было бы лучше с новой страницы.