

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 Обоснование сроков ремонта и службы тракторов в АПК с
учетом остаточного ресурса двигателя и разновременности за-
трат на эксплуатацию

Магистрант	<u>студент</u>	_____	<u>Гимадиев Р.М.</u>
		подпись	Ф.И.О.
Руководитель	<u>профессор</u>	_____	<u>И.Г.Галиев</u>
	ученое звание	подпись	Ф.И.О.
Рецензент	_____	_____	_____
	ученое звание	подпись	Ф.И.О.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите
(протокол № _____ от ____ января 2019 года)

Зав. кафедрой	<u>профессор</u>	_____	<u>Н.Р.Адигамов</u>
	ученое звание	подпись	Ф.И.О.

Казань – 2019 г.

Annotation

to the master's dissertation of Gimadiyev R. M. On the theme:
"Substantiation of terms of repair and service of tractors in AIC
taking into account the residual resource of the engine and time-
consuming costs for operation"

The master's thesis consists of an explanatory note on 94 pages of typewritten text. The explanatory note consists of an introduction, three sections, conclusions, 10 figures, 3 tables. 70 literature sources were used.

The first section analyzes the status of the issue, analysis of the existing strategy for the assignment of maintenance impacts.

In the second section the theoretical researches on the time of carrying out of repair influences are given.

The third section presents the program, experimental studies, research results and recommendations of production.

The explanatory note concludes with conclusions and proposals for production.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	7
1.1. Анализ существующей стратегии назначения ремонтно- обслуживающих воздействий	7
1.2. Анализ существующих методов обоснования сроков, объемов ремонта тракторов	18
1.3. Цель и задачи исследования	27
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ СРОКОВ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	29
2.1. Общий подход к решению задач	29
2.2. Обоснование сроков ремонта и службы тракторов	35
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ	43
3.1. Программа проведения экспериментальных исследований	43
3.2. Методика сбора и обработки информации	45
3.2.1 Методика сбора информации	45
3.2.2. Определение остаточного ресурса двигателя трактора	48
3.2.4. Оценка наработки на отказ двигателя трактора	50
3.2.5. Методика проверки адекватности математической модели	53
3.3. Результаты определения влияния остаточного ресурса двигателя на эксплуатационные показатели и показатели надежности трактора	55
3.4. Результаты по оптимизации сроков проведения и объемов ремонтно - обслуживающих воздействий тракторов	58
3.4.1. Проверка адекватности математической модели обоснования оптимальных значений сроков ремонта и службы тракторов	65
3.5. Расчет экономической эффективности от внедрения результатов исследования в производство	67
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	69

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 яв-

ляются 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 с учетом остаточных ресурсов агрегатов и систем техники.

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.

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.

Цель работы заключается в повышении эффективности использования тракторов путем оптимизации сроков и объемов ремонтно - обслуживающих воздействий.

Задачи исследования:

- установить закономерности изменения показателей надежности в зависимости от величины остаточного ресурса двигателя трактора;
- разработать математическую модель обоснования наработки для периодов до ремонта, после первого и второго капитальных ремонтов тракторов на основе минимизации затрат по обеспечению их работоспособности с учетом остаточного ресурса двигателя и разновременности затрат на эксплуатации техники;
- разработать мероприятия и практические рекомендации по повышению эффективности эксплуатации тракторов.

Научная новизна работы:

- разработана математическая модель обоснования оптимальных значений наработок тракторов для периодов до ремонта, после первого и второго капитальных ремонтов с учетом остаточного ресурса агрегатов и разновременности затрат;
- выявлены закономерности изменения показателей надежности в зависимости от остаточного ресурса двигателя трактора.

Практическая ценность и реализация исследований.

При внедрении разработанных мероприятий по повышению эффективности использования тракторов путем оптимизации сроков и объемов ремонтно-обслуживающих воздействий обеспечит уменьшение простоев по причинам устранения последствий отказов на 56%.

Годовой экономический эффект от внедрения мероприятий составил 16788,3 рублей на эталонный трактор.

Основные положения выпускной работы опубликованы в 5 научных работах общим объемом 1,12 печатных листов, из них автору принадлежит 0,6 печатных листов.

Научные положения и результаты исследования, выносимые на защиту.

1. Математическая модель обоснования оптимальных значений наработок для периодов до ремонта, после первого и второго капитальных ремонтов тракторов с учетом остаточного ресурса агрегатов и разновременности затрат.

2. Закономерности изменения показателей надежности тракторов в зависимости от остаточного ресурса двигателя.

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.

Первой стратегией предусмотрено, что ТО может проводиться или только через определенные периоды времени наработки машины, или независимо от объема работ и фактического состояния машин, т.е. календарно. При этом обслуживающие воздействия проводятся в определенный период.

Во время проведения ТО, при планово-предупредительной стратегии обслуживания предусмотрена возможность восстановления ресурса некоторых машин «по потребности». На основании диагностирования машин или в результате отказа, при этом, осуществляется обслуживание техники. Комбинированная стратегия допускает применение перечисленных стратегий в различных сочетаниях. Эта стратегия в большинстве случаев обеспечивает минимальные издержки. Наличие перечисленных достоинств данной стратегии и является основной причиной ее широкого применения.

Назначение обслуживающих воздействий для предупреждения внезапного отказа техники, которые не имеют четкой информации о величине параметра состояния, четкого признака возможного отказа, может осуществляться при проведении регламентного технического обслуживания. При этом, отказы не влияют на частоту появления непредотвращаемых отказов, которые могут возникнуть между ТО.

Совершенствование системы ТО и ремонта, привело к значительному развитию методов назначения регламентной стратегии обслуживающих воз-

действий. Определение оптимальной периодичности проведения ремонтно-обслуживающих работ для этих методов стало реальностью.

Методам определения оптимальных периодов проведения ремонтно-обслуживающих работ, где использованы технические и технико-экономические критерии, посвящены работы многих авторов [53, 63]. Периодичность ремонтно-обслуживающих работ определяется наработкой машин, с учетом состояния техники, которая в сельскохозяйственном производстве может определяться тремя параметрами: моточасами, объемом израсходованного топлива и условными эталонными гектарами.

Периодичность обслуживания при хранении машин устанавливается по календарному времени [28].

В работах [44, 48] обоснованы числовые значения наработки до технического обслуживания различных агрегатов, систем и эксплуатационных материалов тракторов, например: в работе [48] 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, рассмотрены режимы смазки трансмиссионных механизмов тракторов [44].

Определением оптимальных значений периода проведения ремонтных работ занимались авторы [17, 16, 32] и другие. Ими были определены оптимальные периоды между капитальными ремонтами по результатам изменения экономического показателя - эксплуатационных затрат [32]. В работе определены значения межремонтных периодов при рассмотрении групп машин различных «возрастов» используя статистические методы по минимальным удельным издержкам с учетом сроков служб наименее долговечных деталей.

В работах [17, 18] рассмотрена задача оптимизации сроков службы машины и агрегатов, при этом оптимизируется стратегия назначения ремонтно-обслуживающих работ. Однако, метод основанной на динамическом про-

граммировании может дать желаемый результат, при незначительном количестве видов восстанавливающих работ.

В работах [38] 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 - обслуживающих работ.

Авторы работ [42, 51, 53] предлагают осуществлять индивидуально - дифференцированный подход к назначению периодичности ремонтно-обслуживающих воздействий, поскольку необходимо учитывать многообразие условий функционирования техники. В работе [28] предлагается учитывать условия эксплуатации сельскохозяйственной техники, в работе [29] для этого предлагается разделить страну на 15 нормативных зон.

Позволило значительно сократить затраты на обеспечение работоспособности машин и оборудования [49] в результате совершенствования регламентной стратегии назначения ремонтно-обслуживающих воздействий и реализации на практике установленной периодичности возобновления их элементов.

В работе [41] 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 из-

держек может объясняться принципиальными недостатками регламентной стратегии определения необходимости ремонтно -обслуживающих работ.

В работах [45] 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 необеспечения гарантированной своевременности назначения ремонтно - обслуживающих воздействий сельскохозяйственная техника отказывает, расход ремонтных ресурсов на обеспечение ее исправного состояния возрастают [21, 26].

Проведение ремонтно –обслуживающих воздействий для техники на основании проведения диагностирования по определению параметров их состояния требует проведения модернизации технологии ремонтно - обслуживающих работ. Условием назначения операций технического обслуживания и ремонта машин является их техническое состояние, т.е. при достижении диагностических параметров допустимых значений остаточного ресурса [45]. Как следствие, предложенный метод обоснования обслуживающих воздействий техники в АПК позволит минимизировать ее возникновения отказов и приведет к обеспечению своевременного назначения работ по ТО и ремонту.

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 про-

верку и по результатам выполнить следующие операции...». По результатам диагностических показателей техники определяют номенклатуру работ ремонтно -обслуживающих воздействий, которые необходимы для нормального функционирования трактора.

Работы [27, 45] 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 [41]. При контроле кроме диагностических приборов и оборудования, которые входят в состав технологической оснастки пункта ТО техники могут использоваться и их штатные средства.

В работах [59, 60, 61] 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 [17, 22, 63]. 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. Иностранными государствами, такие как США, Великобритания, Германия, Чехия, Болгария и другие, агрегатный метод эффективно применяется [22, 42, 64].

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.

Для внедрения агрегатного метода ремонта техники необходимо выполнить следующие условия:

1. Периодическое диагностирование технического состояния узлов и агрегатов техники, мероприятия по ремонтно-обслуживающему воздействию должны проводиться своевременно и качественно;

2. Наличие в достаточном количестве обменных фондов агрегатов и узлов на технических обменных пунктах;

3. Для механизации работ по замене агрегатов и узлов пункты технического обслуживания и мастерские по ремонту должны быть оснащены необходимыми подъемно-транспортными и технологическими средствами;

4. Для выполнения работ по обслуживанию и диагностированию в предприятии должны быть как квалифицированные специалисты, так и необходимое оборудование;

5. Для организации связи и оперативного управления работами по техническому обслуживанию и ремонту, а так же обеспечения функционирования ремонтных предприятий и хозяйств должна быть создана диспетчерская служба;

6. Для ремонта агрегатов и узлов и своевременной поставки их техническим обменным пунктам по установленной номенклатуре и количеству необходимы производственные мощности специализированных предприятий.

Являясь одной из форм последовательного восстановления технического ресурса тракторов [67] 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 [66], является основным назначением ремонта тракторов агрегатным методом. В работах [15, 25] 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 [25]. Сущность метода заключается в прогнозировании показателей безотказности элементов трактора по результатам их диагностирования [25]. Недостатком данного метода является многочисленность элементов трактора, которые участвуют при оценке его надежности по показателям безотказности элементов.

На основании оценки технического состояния тракторов вектором остаточных ресурсов их основных агрегатов, авторы [15] предлагают сделать вывод о необходимом объеме различных ремонтно -обслуживающих воздействий.

В результате изменения сроков и объема ремонтно -обслуживающих работ [51] 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.

Издержки от простоев техники могут снижаться, а плановые ремонтные затраты увеличиваются из-за недоиспользования их технического ресурса в результате повышения уровня безотказности тракторов. В результате повышения интенсивности использования тракторов в рядовой эксплуатации могут ухудшаться показатели безотказности техники. Вместе с тем, что уменьшаются издержки на периодические ремонты могут увеличиться затраты от простоев вследствие устранения отказов. В результате этих суждений возникает задача, решаемая на оптимум, решение задачи связано с установлением закономерностей изменения суммарных издержек на эксплуатацию трактора и их технического состояния. Для решения этих задач, по величине диагностических параметров сборочных единиц трактора, возникает потребность оценки их надежности.

В работах [41, 57, 60] 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. [50]. Предлагаются, так же средние значения и других показателей, которые характеризуют специфику ведения хозяйства.

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

В связи с этим АПК страны несет большие издержки, поскольку ремонтно-обслуживающие работы проводятся или преждевременно или поздно. В работе [62] 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 работах [35].

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.

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 [23] 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 фактическое состояние агрегатов, их степень износа и возможные затраты на простои 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 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 [68].

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 [68].

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. Анализ существующих методов обоснования сроков, объемов ремонта тракторов

Для восстановления ресурса техники в сельском хозяйстве применяют текущий и капитальный ремонты техники [18]. Для восстановления работоспособности машины, а так же технического ресурса всех ее агрегатов применяется капитальный ремонт (КР). Капитальный ремонт предполагает замену большого количества деталей, узлов и агрегатов, при этом возможен недоиспользование ресурс, однако, как правило, он меньше, чем установленной величины межремонтного ресурса.

Текущий ремонт (ТР) проводится для замены только тех деталей, узлов и агрегатов, ресурс которых исчерпаны. Этим обеспечивается наиболее полное использование ресурс оставшихся деталей, узлов и агрегатов. При текущем ремонте, как правило, восстанавливается ресурс некоторых агрегатов и систем машин.

Работы многих ученых посвящены вопросам определения оптимальных значений сроков проведения КР агрегатов и систем тракторов.

В работах авторов [31] рассматривается не предупредительный ремонт с целью восстановления работоспособности, хотя ученые определяют оптимальные значения наработок между капитальными ремонтами по критерию минимума удельных затрат на использование и ремонт.

В работе [64] автор определяет значение межремонтной наработки для различных возрастных групп тракторов статистическим методом по сроку службы наименее долговечной детали и минимальным удельным затратам.

Поскольку необходимая информация в течение эксплуатации может быть получена только при продолжительном использовании тракторов, межремонтная наработка техники статистическим методом основана на реальных данных о большом количестве машин.

Однако, при определении оптимальных значений межремонтных наработок техники или узла по сроку службы их наименее долговечной детали не рассматриваются состояние других агрегатов и систем, их стоимость, затраты на ремонт и использование. Обоснование ремонтных наработок по критерию минимума удельных издержек учитывает основные параметры, которые оказывают влияние на время проведения ремонтных работ, однако в методе все закономерности детерминированы, однако срок эксплуатации агрегатов и узлов – величина случайная. В работе [31], авторы не учли возможности предупредительных ремонтов для улучшения, восстановления технического ресурса тракторов.

В работе [17] авторами достаточно глубоко рассмотрен вопрос обоснования периодов ремонта техники и их агрегатов. Предлагается метод динамического программирования, однако данный метод можно считать эффективным, когда малое число вариантов ремонта и представляется не эффективным, если имеются дополнительные ремонтные работы.

В вышеизложенных исследованиях ремонтные работы имеют плановый характер по выработке, однако техника с одинаковым объемом выпаленных работ может иметь различный износ агрегатов и узлов, поэтому, и разную потребность в восстановительных работах [38], также при обезличенном ремонте выработка техники не может характеризовать его состояние, степень износа агрегатов и систем.

Теоретические основы контроля и прогноз технического состояния тракторов разработаны в Санкт-Петербургский ГАУ, ГОСНИТИ, СибИМЭ, применение которого дает возможность определять оптимальный срок ремонта отдельных элементов машин.

В работе [45] представлены исследования по прогнозированию изменения параметров состояния элементов трактора и оптимизации их остаточного ресурса. При этом рассматривалась наработка от момента контроля до замены элемента. Оптимизация величины остаточного ресурса элемента машины

проводится по экономическому критерию. Удельные затраты на устранение последствий отказа и проведение предупредительного восстановления элемента, определяются по формуле:

$$C(t_{\text{ост}}) = \min_{\text{от } t_{\text{ост}}} \left\{ \frac{AQ(t_{\text{ост}})}{t_{\text{ср}}} + \frac{C[1 - Q(t_{\text{ост}})]}{t_{\text{ср}}} \right\}, \quad (1.1)$$

где $C(t_{\text{ост}})$ - удельные издержки на устранение последствий отказа, руб;
 $t_{\text{ср}}$ - средний ресурс, ед.наработки, A, C - средние дискретные издержки, связанные с устранением последствий отказа и предупредительными операциями по доведению значения параметра до номинальной величины, руб.; $Q(t_{\text{ост}})$ - вероятность отказа элемента в течение периода $t_{\text{ост}}$.

В результате решения оптимизационной задачи, обосновывается оптимальное использование технического ресурса элементов машин, а также предупреждения их отказов.

По результатам ресурсного диагностирования тракторов, авторы [25] предлагают правила назначения вида и срока ремонта, определяемые по технико-экономическому критерию. В зависимости от фактического технического состояния каждой группы составных частей, эти правила дают возможность выявить эффективность попутного их ремонта.

Однако в вышеизложенных работах рассматриваются лишь вероятность ресурсного отказа агрегата и издержки, связанные с предупреждением и устранением последствий отказа тем самым не учитываются нересурсные отказы агрегата за определенную наработку, что может повлиять на выбор ремонтных воздействий, также не учитывается специфика сельскохозяйственного производства, т.е. резко выраженная сезонность механизированных работ. В то время как в отдельные периоды работы стоимость часа простоя К-700 колеблется от 0,5 до 45 руб. [3], в работе предлагается учитывать средние

издержки от часа простоя трактора, которые для данного трактора составляют 5,72 руб. Оптимальные по затратам для отдельной машины ремонтно-обслуживающие воздействия могут оказаться не применимы для тракторного парка хозяйства в целом.

Представляет определенную сложность установить, какой трактор имеет лучшее техническое состояние, выбрать ту или иную машину для проведения технологических операций или ремонта, поскольку параметр состояния агрегатов тракторов могут находиться в самых различных сочетаниях и иметь средние значение или изменяться от минимума до максимума.

Экономические критерии в конкретные периоды планируемого цикла сельскохозяйственных работ должен определять целесообразность выбора конкретных машин для использования в сельскохозяйственных работах, а также определения срока и объема ремонтных работ.

Увеличением затрат времени и средств на обеспечение работоспособности техники в настоящее время определяются из-за значительного количества однотипных тракторов, которые могут иметь разное состояние износа. Однако угадать, какие именно трактора необходимо эксплуатировать в сельскохозяйственном цикле в данный период времени, и какие – ставить на ремонт; если есть в том необходимость, то в каком объеме (заменить один или несколько узлов, полное восстановление ресурса), трудно.

Номенклатура техники, их износ, а также запланированный объем на данное время технологических работ определяет продолжительность периода эксплуатации конкретного трактора, а также увеличение значений параметров его надежности в разном периоде сельскохозяйственного цикла. Вместе с тем сельскохозяйственные операции должны выполняться в соответствии с агротехническими требованиями и с минимальными издержками.

В работе [23] рассмотрен возможность корректировки сроков ТО и ремонта тракторов в зависимости от планов их использования. Напряженность периода определяет объем работ по техническому обслуживанию в периодах

цикла сельскохозяйственных работ. Однако, в этих работах надежность машин определяется как срок их службы, а также учитываются нормативные затраты на ремонт и текущий ремонт предусмотрен плановый, т.е. по наработке и независимо от технического состояния машин.

В работе [51] разработаны рекомендации по определению сроков и объемов ремонта техники, которые учитывают требуемый уровень безотказности агрегатов и систем техники, отличающихся по технологическому назначению. Например, вероятность безотказной работы пахотного агрегата с трактором К-701 должна быть ниже, чем посевного.

Наличие зависимостей количественной оценки влияния ремонтных воздействий на показатели его надежности предполагает обеспечить требуемый уровень безотказности трактора. Оценка влияния замены отдельных агрегатов трактора на показатели надежности его системы принимает важное значение в условиях широкого распространения агрегатного ремонта. Только при наличии средств диагностирования появляется возможность управления надежностью тракторов.

Исходя из анализа литературных источников по обоснованию сроков и объемов ремонта техники в сельском хозяйстве выявлено, что предложенные методы не учитывают общие и индивидуальные особенности расхода ресурса конкретной машины.

Оптимальная продолжительность использования новых и отремонтированных машин определяют эффективность использования и надежности тракторов.

В работах [3, 4, 5, 6, 31, 39, 40, 54, 45, 47, 52, 69] отражены проблема оптимизации наработок, сроков службы техники в сельском хозяйстве. Широта охвата входных и выходных параметров задачи оптимизации, формирование целевой функции оптимизации, выбор аргументов функции производственных и эксплуатационных расходов являются отличительными особенностями подхода авторов проблеме оптимизации сроков ремонта и службы техники.

Исходя из анализа литературных источников, в работах вид целевых функций имеет три особенности:

-работы, которые учитывают удельные эксплуатационные затраты, т.е. целевой функцией является минимумом удельных затрат;

-работы, которые учитывают эксплуатационную прибыль по критерию максимума эффекта;

-работы, которые связаны с потерей урожая в связи с простоями тракторов.

Поскольку трудно подсчитать прибыль, приходящуюся на конкретную машину, а также величина потери урожая зависит от многих других факторов, т.е. не только от простоя тракторов, наиболее перспективным направлением является первое.

Рост производительности тракторов через суммарную наработку, повышение надежности и долговечности через затраты на ремонт и потери от простоев учитывается в суммарных удельных затратах.

Одним из первых авторов исследований, предложивших решение задачи определения обоснованных сроков использования техники, был Дж.С.Тейлора [70], где решается задача на минимум функции вида:

$$Y = \frac{S_0(1-P)^n - S_n + \sum_{i=1}^n (1+P)^{i-1} Q_i}{\sum_{i=1}^n (1+P)^{i-1} T_i} \rightarrow \min, \quad (1.2)$$

где Y - приведенное значение удельных затрат; S_0 - цена новой машины; S_n - остаточная стоимость машины в конце i -го года; Q_i - эксплуатационные затраты, включающие устранение неисправностей и ремонт в i -й год; T_i - наработка машин в i -й год эксплуатации; P -процент на капитал.

В работе затрат задаются на каждый год i отдельно, т.е. затрат носят дискретный характер изменения. В этой ситуации проще всего непосредственно подсчитывать удельные затраты по формуле (1.13) для $n=1,2,\dots$ т.д. до тех пор, пока удельные затраты не перестанет уменьшаться.

При $P=0$ в формуле (1.13), т.е. без учета разновременности затрат на эксплуатацию, то она превратится в известное выражение:

$$Y = \frac{S_0 - S_k + \sum_{i=1}^k Q}{\sum_{i=1}^k T_i} \rightarrow \min. \quad (1.3)$$

Данная модель была применена многими авторами именно в таком виде. При этом следует учитывать, учет разновременности затрат приводит к повышению точности расчетов.

В работах [51, 55] данная проблема наиболее полно решается применительно к тракторам. Для определения оптимального срока службы в работе [52] предлагается формула:

$$t = \sqrt[3]{\frac{A}{C(\delta - 1)}}. \quad (1.4)$$

где C - постоянный для данной машины коэффициент, определяющий исходную норму прогрессирующих затрат и потерь; δ - показатель возрастания затрат и потерь по мере старения машины; A - затраты на приобретение трактора.

Однако, в работе не приведены значения C и δ , а также не учитывается разновременность затрат.

В работе [55] предлагается оценивать техническое состояние трактора величиной:

$$\frac{\sum_{i=1}^n J_i R_{oi}}{\bar{T}_i} \quad (1.5)$$

где n - число рассматриваемых элементов трактора; $\bar{T}_i$ - средний ресурс i -го элемента; R_{oi} - остаточный ресурс i -го элемента; J_i - коэффициент, оценивающий весомость i -го элемента по сумме издержек на его ремонт в общем балансе расходов на машину.

Авторы предлагают делать вывод, что необходимы те или иные ремонтные работы в результате проведения сравнений значения R_o с ранее вычисленным обоснованным значением параметра технического состояния техники. Поскольку авторы оптимизируют объем ремонтно-обслуживающих воздействий с учетом средних часовых потерь от простоев, к недостаткам можно отнести то, что при оценки технического состояния трактора значительная вариация потерь от простоев для различных циклов сельскохозяйственных работ не позволяет учитывать производственные ситуации, в которой находится машина, т.е. условия функционирования техники.

Для различных возрастных групп тракторов, авторы работы [168] определяют величину межремонтной наработки статистическим методом, при этом учитывается только срок службы наименее долговечной детали и минимум удельными затратами на поддержание тракторов в работоспособном состоянии, что приводит к детерминации зависимостей, однако, известно, что срок службы есть величина случайная. В работе [64] также не учитываются разновременность затрат и условия использования техники в сельском хозяйстве.

В работе [31] минимизируется функция вида:

$$Y = U + R + F + Q + E_a K, \quad (1.6)$$

где U - часть стоимости машины, приходящаяся на объем работы, выполненной на цикл (доремонтный или межремонтный); R - затраты на ТО и ТР ($R = aW^n$); F -потери от снижения производительности стареющих машин; K -капиталовложения, приведенные к годовой размерности с помощью коэффициента эффективности E_a .

При решении уравнения (1.17), авторы получают формулы для определения оптимальных доремонтных и межремонтных наработок машин. В данной модели также не учитываются условия функционирования тракторов.

$$C(t_0, t_1, t_2, \dots, t_k) = \frac{S_0 + \sum_{i=1}^k S_i + R_i(t_i)}{\sum_{i=0}^k t_i} \rightarrow \min, \quad (1.7)$$

где t_0 - доремонтный ресурс; t_i - межремонтный ресурс для i -го межремонтного интервала; S_0 - стоимость новой машины; S_i - стоимость i -го ремонта; $R_i(t_i)$ - функция эксплуатационных затрат в межремонтном интервале.

В работе авторы критерием оптимизации выбрали стоимость и качество ремонтов. Однако условия использования техники при этом не учитываются.

В работе [32] авторы пришли к выводу, что затраты на ремонт следует учесть дискретно. Тогда себестоимость продукции равна:

$$Y_{\text{св}} = \frac{S_0 \sum_{i=1}^k E_i + \sum_{i=1}^k S_{i+1}}{\sum_{i=1}^k l_i}. \quad (1.8)$$

где S_i - стоимость машины без учета стоимости металлолома, руб; E_i - сумма затрат на эксплуатацию в течение i -го периода; R_i - затраты на капитальный ремонт; l - пробег автомобиля.

Автор делает акцент на том, что при замене дискретных расходов на непрерывные, существенно повышается ошибка при округлении до целого, а так же максимум прибыли может быть достигнута в завершении межремонтного периода, в связи с этим оптимальное значение кратна целому числу значений наработок до ремонтного периода. В связи с этим в расчетах предлагают применять дискретный подход.

Исходя из литературного анализа и фактического состояния использования техники в сельском хозяйстве можно сделать следующий вывод: исследователями не учитываются состояние техники при обосновании сроков ремонта и службы тракторов, в результате чего сельскохозяйственный процесс, поддержание и восстановление работоспособности тракторов является как бы неуправляемым и не зависящим от усилий человека в процессе эксплуатации.

1.3. Цель и задачи исследования

Повышение эффективности эксплуатации тракторов и сельскохозяйственных машин путем обоснования оптимальных значений сроков и объемов ремонтно -обслуживающих воздействий в основном может быть осуществлены путем оптимизации сроков ремонта и службы техники в АПК.

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 и обеспечивающий работоспособность тракторов с минимальными затратами средств. 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 целью повышения эффективности эксплуатации тракторов, в результате внедрения, которого устранится противоречие между потенциальными возможностями техники и фактическим состоянием их использования.

Цель работы заключается в повышении эффективности использования тракторов путем оптимизации сроков и объемов ремонтно - обслуживающих воздействий.

Для достижения поставленной цели исследования необходимо решить следующие задачи:

- установить закономерности изменения показателей надежности в зависимости от величины остаточного ресурса агрегатов и систем тракторов;
- разработать математическую модель обоснования наработки для периодов до ремонта, после первого и второго капитальных ремонтов тракторов на основе минимизации затрат по обеспечению их работоспособности с учетом остаточного ресурса двигателя и разновременности затрат на эксплуатацию техники;
- разработать мероприятия и практические рекомендации по повышению эффективности эксплуатации тракторов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ СРОКОВ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

2.1. Общий подход к решению задач

Надежность (ГОСТ 27.002-83) – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения.

В течение эксплуатации техники в производстве нарастает износ сопряжений их агрегатов и систем, увеличивается уровень внутренних возмущений (вибрация узлов, нарушение параллельности и перпендикулярности размерных цепей элементов и т.д.). Поэтому это приводит к возрастанию отказов, что приводит к частым потерям работоспособности агрегатов [8, 9].

Поскольку условия использования тракторов в сельскохозяйственном производстве различны, то частота возникновения отказов будет носить случайный характер. Главные из которых обусловлены техническими условиями (уровнем технической эксплуатации тракторов) и физико-механическими свойствами почвы (влажностью, плотностью, механическим составом), рельефом полей, запыленностью воздуха и т.д., определяющими затраты энергии на передвижение агрегата и обработку почвы [7].

Поддержание и восстановление работоспособности машин осуществляется с помощью операций технического обслуживания и в результате проведения ремонтно-обслуживающих работ.

Агрегатный метод ремонта тракторов в существующей системе планово - предупредительного ТО и ремонта предполагает включение следующих ремонтно - обслуживающих работ: периодическое техническое обслуживание, устранение последствий отказов тракторов, плановый текущий ремонт трак-

торов на основе замен их узлов и агрегатов, плановый полнокомплектный ремонт [10, 11].

Изменения технического состояния тракторов приведены на рис.2.1.

Удельные затраты на поддержание машин в работоспособном состоянии является критерием оценки показателя эффективности системы ТО и ремонта тракторов. Поэтому при определении сроков и объемов ремонтно-обслуживающих воздействий следует учитывать изменения экономических показателей, условия функционирования техники в сельскохозяйственном производстве, т.е. объем выполненных работ, состав тракторного парка и их ресурс.

Применение агрегатного метода ремонта тракторов обеспечивает сокращение эксплуатационных затрат и затрат на обеспечение их работоспособности. Эта перспективная форма организации ремонта, но его потенциал используются не полностью. В связи с этим, показатели надежности машин, значительно ниже значений, заложенных при конструировании. В результате у эксплуатационников возникают проблемы с превышением норм издержек на техническое обслуживание и ремонт тракторов, кроме того они недополучают возможных показателей производительности техники [12, 13]. Поэтому, даже применение методов и средств прогнозирования технического состояния тракторов не дает достаточного эффекта полного использования технического ресурса узлов и агрегатов машин.

Специфика сельскохозяйственного производства характеризуется сезонностью механизированных работ, что приводит к недоиспользованию ресурса. Агротехнические требования по выполнению технологических операций при возделывании сельскохозяйственных культур предполагают выполнения работ в относительно короткие сроки. Поэтому низкая надежность тракторов в периоды наложения сельскохозяйственных работ по срокам их выполнения приводит к простоям, увеличению агросроков и снижению качества работ.

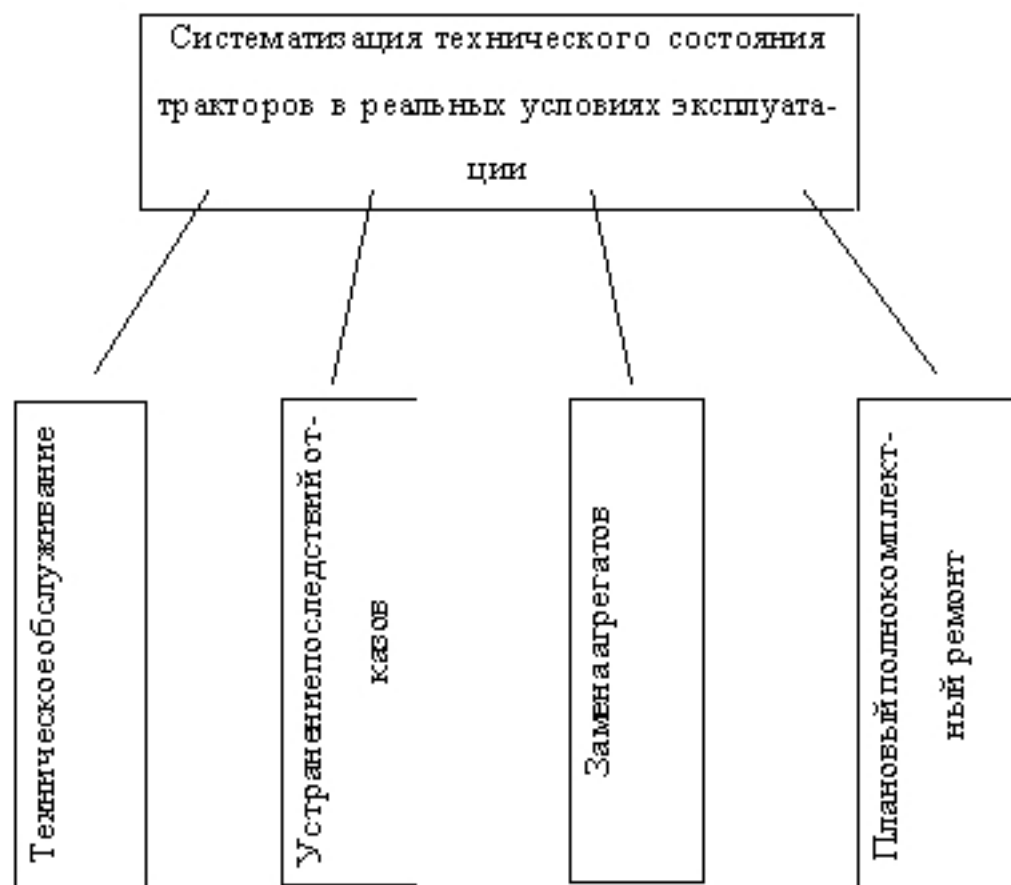


Рисунок 2.1- Схема изменения технического состояния тракторов

Как следствие, это приводит не только к снижению урожайности и ухудшению показателей качества продукции, а также к увеличению ее себестоимость. Проведение предупредительного ремонта обеспечивает повышение готовности техники к выполнению полевых работ. Однако, замена агрегатов с меньшим остаточным ресурсом, необходимым для выполнения запланированного объема сельскохозяйственных работ, может привести к потерям технических ресурсов.

Исходя из вышеизложенного видно, что непроизводительные издержки при эксплуатации тракторов возникают из-за невозможности своевременного оказания ремонтно-обслуживающего воздействия на их агрегаты и системы с целью изменения показателей надежности. Это можно объяснить наличием недостатков, которые заключаются в том, что в настоящее время отсутствует методика направленного регулирования комплексами факторов, которые влияют на техническое состояние тракторов.

Определенные закономерности расхода ресурса тракторов и его восстановление, позволяют в процессе разработки организационной модели восстановления ресурсов агрегатов и систем. При этом неуправляемые факторы, влияющие на надежность техники, такие как внешняя среда, конструктивно-технологические особенности техники, учитываются в процессе прогнозирования технических ресурсов агрегатов и систем техники, поскольку данные факторы оказывают влияние на интенсивность расхода их ресурса. По мере старения машин затраты на обеспечение их работоспособности возрастают [2, 36]. Поскольку время года в процессе использования техники в сельском хозяйстве определяет потери урожая по причине простоя тракторов из-за отказов агрегатов и систем, экономические критерии с агротехническими требованиями к срокам выполнения технологических операций должны определять величину выработки ресурса агрегатов стареющих машин.

При этом кроме расхода технического ресурса агрегатов и систем трактора следует обосновать сроков проведения ремонтных воздействий с учетом

разновременности затрат. Сезонный характер выполнения сельскохозяйственных операций и более полное использование технического ресурса тракторов должны учитываться при обосновании сроков их ремонта. Надежность техники в сельском хозяйстве к напряженному периоду полевых работ должна быть доведена до такого уровня, что бы она обеспечила функционирования тракторов с минимальными потерями продукции по причине простоев.

Исходя из вышеизложенного, старения тракторов и сезонность сельскохозяйственных работ, планирование сроков ремонта и службы - это те факторы, в зависимости которых должны быть, обоснованы и разработаны мероприятия по повышению эффективности техники и регулированию интенсивности выработки их ресурсов [14].

Исходя из литературного анализа и фактического состояния использования тракторов в сельском хозяйстве выявлено, что в любой момент процесса эксплуатации состояние каждой техника может определяться как: использование в производственной эксплуатации; проведение технического обслуживания (ТО); проведение воздействий по частичному или полному восстановлению ресурса. т.е. проведение текущего или капитального ремонтов; хранение. На рисунке 2.2. представлены возможные переходы трактора из одного состояния в период эксплуатации в другой. При этом ЕТО, ТО-1, ТО-2, ТО-3 проводятся в соответствии с существующим регламентом: ЕТО – после каждой смены, ТО-1 – через 125, ТО-2 – через 500, ТО-3 – через 1000 моточасов выработки тракторов. Текущий ремонт машин частично восстанавливает ресурс агрегатов, т.е. устраняет последствий отказов или они предупреждаются. Поскольку возникновение отказов являются внезапными, и прогнозироваться не могут, их можно определить статистически. При этом с целью устранения

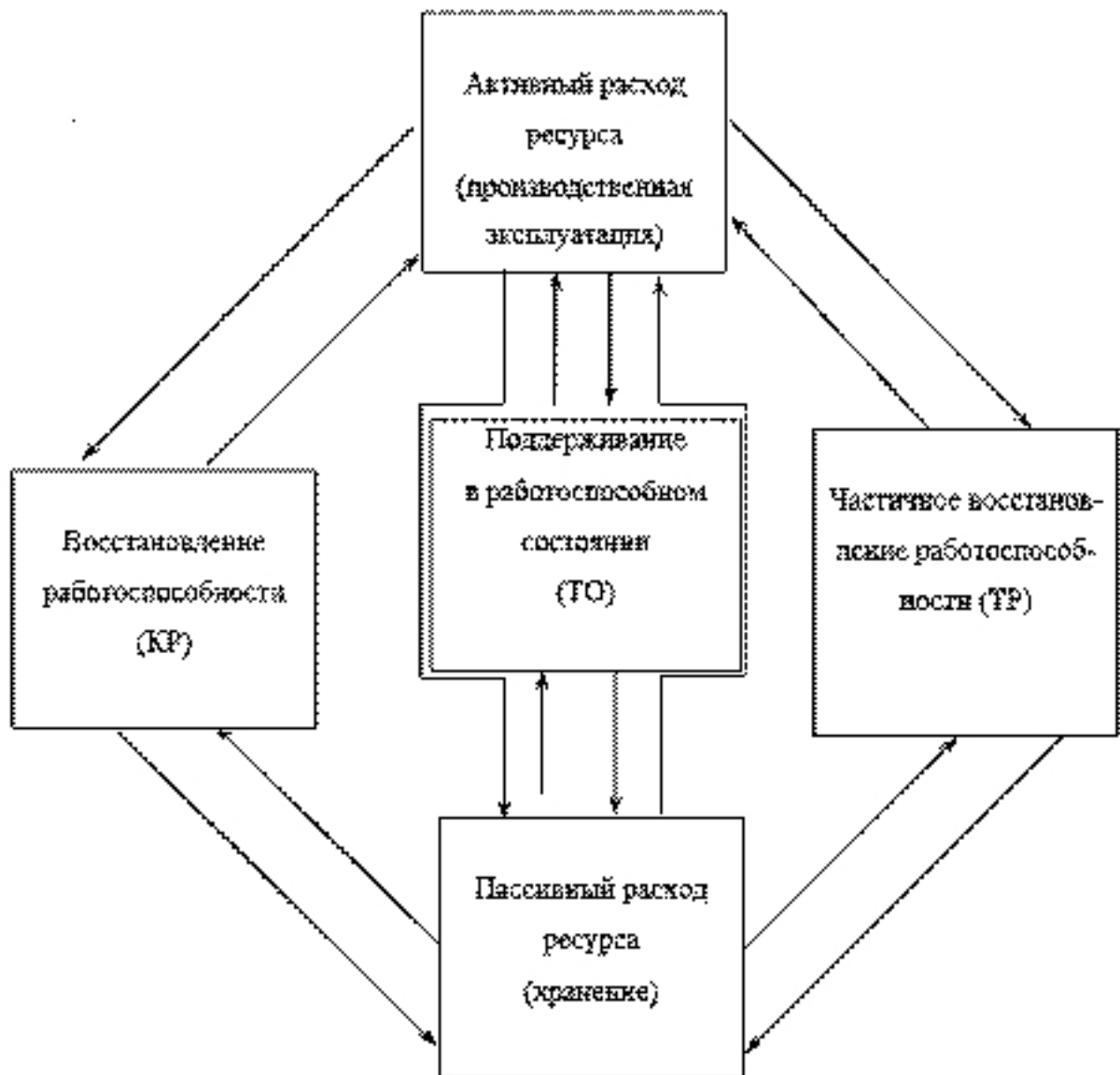


Рисунок 2.2- Варианты перехода трактора из одного состояния в другой в процессе эксплуатации

последствий отказов работы, связанные с ремонтом агрегатов проводятся по потребности.

2.2.Обоснование сроков ремонта и службы тракторов

Для конкретной зоны оптимизация производится путем построения рационального процесса обеспечения работоспособности трактора, предусматривающего следующие ремонтно-обслуживающие воздействия: техническое обслуживание, текущий ремонт и устранение последствий отказа, капитальный ремонт. В связи с тем, что техническое обслуживание проводится в плановом порядке, а текущий ремонт и устранение отказов по мере их появления, в зависимости от условий, при которых трактор выполняет сельскохозяйственные операции, сроки до списания и проведения капитальных ремонтов будут различны.

Проведение плановых ремонтных воздействий направлено на улучшение технического состояния тракторов и сокращения количества отказов. По мере роста трудоемкости ремонтных воздействий они оказывают большое влияние на улучшение технического состояния тракторов, в связи с этим при оптимизации работоспособности из всех возможных вариантов ремонтных воздействий выбирают наиболее эффективные. Их реализация обеспечит минимальные затраты на поддержание и восстановление работоспособности трактора. Поэтому при проектировании данного процесса необходимо расчетным путем оценить затраты на обеспечение работоспособности трактора и осуществить выбор рациональных вариантов ремонтных воздействий для достижения минимума этих затрат.

При определении доремонтных и межремонтных наработок, планирование номерных технических обслуживаний трактора проводилось через регламентную периодичность [35, 36]. Замена узлов и агрегатов трактора осуществлялась по мере исчерпания их технических ресурсов. Для блочных си-

ством агрегатов предусматривалась предупредительная замена низкоресурсных сборочных единиц трактора.

После замены узлов, агрегатов и капитального ремонта трактора дальнейшее проектирование процесса обеспечения его работоспособности осуществлялось из условия, что отремонтированные сборочные единицы имеют технические ресурсы, значения которых равны средним посперемонтным [7].

Объемы ремонтных воздействий по устранению последствий отказов всех групп сложности трактора в интервалах наработки определялись расчетным путем в зависимости от его технического состояния.

Управляющими воздействиями обеспечения и оптимизации работоспособности трактора являются доремонтная и посперемонтная наработки. В качестве управляемого показателя процесса выбраны удельные затраты на поддержание и восстановление работоспособности трактора в течение срока службы T_* . Необходимо определить такие значения доремонтной и межремонтной наработки трактора, чтобы удельные затраты на обеспечение его работоспособности были минимального.

Целевая функция для определения оптимальных значений доремонтной, межремонтной наработок и наработки до списания выглядят следующим образом:

$$Y(T_{dk}) = \frac{(C_k - S_k + \sum_{i=1}^4 C_i(T_{dk}))}{T_{dk}} \rightarrow \min \quad (2.1)$$

где T_{dk} - соответственно наработки до ремонта (T_d), межремонтные (T_m) и до списания (T_c); C_k - стоимость новой машины, руб; S_k - остаточная стоимость новой машины, руб; 1,2,3,4 - соответственно затраты на техническое обслуживание, устранение последствий от отказа, замену агрегата и капитальный ремонт в течении доремонтного, межремонтного периодов и периода до списания, руб.

Исходное техническое состояние трактора в начале доремонтного, межремонтного периодов и периода до списания можно представить в виде совокупности средних ресурсов агрегатов k -ых систем, т.е. $\overline{T_{\kappa}^0}$, $\overline{T_{\kappa}^*}$, $\overline{T_{\kappa}^c}$.

Затраты на техническое обслуживание пропорциональны в силу их планового характера:

$$C_1(T_{\Delta\kappa,c}) = C_{то} \cdot T_{\Delta\kappa,c} \quad (2.2)$$

где $C_{то}$ - удельные затраты на ТО, р/м.ч.

Затраты на проведение текущих ремонтов и устранение отказов учитываются совместно, как непрерывная функция на интервале между капитальными ремонтами. При каждой замене составной части в процессе текущего ремонта машина частично обновляется, что выражается в деформации кривой потока отказов (следовательно, и на функции затрат), снижающей установившийся темп ее роста. При этом затраты на проведение текущего ремонта, устранение отказов и потери от простоя будут выражаться формулой:

$$C_2(T_{\Delta\kappa,c}) = \sum_{i=1}^I m_i(T_{\Delta\kappa,c}) \cdot [C_{\kappa}^0(T_{\Delta\kappa,c}) + Z_{\kappa} \cdot t_i(T_{\Delta\kappa,c})] \quad (2.3)$$

где $m_i(T_{\Delta\kappa,c})$ - количество отказов i -ой группы сложности в ремонтных периодах; $C_{\kappa}^0(T_{\Delta\kappa,c})$ - затраты на устранение последствий отказов i -ой группы сложности в ремонтных периодах, р; Z_{κ} - потери продукции из-за часового простоя трактора по причине отказа, р; $t_i(T_{\Delta\kappa,c})$ - продолжительность простоя по причине отказа в ремонтные периоды, р.

Затраты на замену сборочных единиц трактора определяется из выражения:

$$C_I(T_{\text{дмк}}) = \sum_{j=1}^I C_j \cdot n_j(T_{\text{дмк}}), \quad (2.4)$$

где C_j - затраты на замену j -го агрегата, руб; $n_j(T_{\text{дмк}})$ - количество замен j -го агрегата за межремонтные периоды.

Затраты на капитальный ремонт трактора определяется по формуле:

$$C_d(T_{\text{дмк}}) = C_{\text{кр}} \quad (2.5)$$

где $C_{\text{кр}}$ - стоимость капитального ремонта трактора, р.

С учетом формул (2.2), (2.3), (2.4) и (2.5) целевая функция примет вид:

$$\begin{aligned} Y(T_{\text{дмк}}) = & ((C_{\kappa} - S_{\kappa} + C_{\text{мо}} \cdot T_{\text{дмк}} + \sum_{i=1}^I m_i(T_{\text{дмк}}) \cdot [C_{\text{в}}^0(T_{\text{дмк}}) + \beta_{\kappa} \cdot t_i(T_{\text{дмк}})] + \\ & + \sum_{j=1}^I C_j \cdot n_j(T_{\text{дмк}}) + C_{\text{кр}})) / T_{\text{дмк}} \rightarrow \min \end{aligned} \quad (2.6)$$

Однако, затраты, производимые в процессе использования трактора, неравноценны, поскольку они делаются в разные, значительно удаленные друг от друга моменты времени. Затраты, произведенные раньше, ценятся дороже, чем проведенные в данный момент времени. Следовательно, все затраты необходимо приводить к одному моменту времени с помощью коэффициента приведения затрат.

Коэффициент приведения затрат зависит от продолжительности периода приведения и определяется по формуле [41]:

$$q = (1 - E)^{T-1}, \quad (2.7)$$

где T - период приведения, лет; E - коэффициент народнохозяйственного эффекта капиталовложений.

Затраты, осуществляемые до момента приведения умножаются, а затраты, произведенные после, делятся на этот коэффициент.

В данном случае все затраты будут приводится к моменту начала эксплуатации трактора (нового, после ремонта).

Величину периода приведения в годах необходимо определить по формуле:

$$T = \frac{t}{t_{\infty}}, \quad (2.8)$$

где t - наработка трактора между моментом приведения и моментом осуществления затрат.

Затраты на капитальный ремонт с учетом разновременности затрат выглядят следующим образом:

$$C^* = C_{\infty} \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{t_{\infty}-1}{t_{\infty}}}. \quad (2.9)$$

Остаточная стоимость преобразуется следующим образом:

$$S_k^* = S_k \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{t_{\infty}-1}{t_{\infty}}}. \quad (2.10)$$

Затраты на приобретение трактора с учетом разновременности затрат определяются следующим образом:

$$C_x^*(T_s) = C_x. \quad (2.11)$$

$$C_x^*(T_x) = C_x(1+E)^{\frac{r_x}{r_{\text{max}}}-1}. \quad (2.12)$$

$$C_x^*(T_c) = C_x(1+E)^{\frac{r_c}{r_{\text{max}}}-1}. \quad (2.13)$$

Учитывая, что удельные затраты на ТО постоянны, приведенные затраты на ТО с учетом разновременности, выглядят следующим образом:

$$C_i^* = C_{\text{max}} \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{r_{\text{max}}}{r_i}-1}, \quad (2.14)$$

Приведенные затраты к одному моменту времени используются в экономических расчетах давно [41]. Однако, до сих пор вопрос учета разновременности непрерывных абсолютных затрат должного развития не получил. Затраты на проведение текущего ремонта, на замену агрегата, от простоев наиболее точно характеризуют процесс старения техники, в связи с этим необходимо учитывать их разновременность.

При учете разновременности затрат от простоев и на замену агрегата на коэффициент делится не вся сумма затрат за период T , а только затраты на устранение отказов на соответствующий им коэффициент, определяемый в свою очередь наработкой на отказ:

$$C_1^*(T_{\text{max}}) = \sum_{i=1}^1 m_i(T_{\text{max}}) \cdot \left[C_{\text{в}}^*(T_{\text{max}}) \cdot \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{r_{\text{max}}}{r_{\text{в}}}-1} + Z_{\text{к}} \cdot z(T_{\text{max}}) \cdot \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{r_{\text{к}}}{r_{\text{max}}}-1} \right] \quad (2.15)$$

С учетом выражений (2.9)...(2.15) целевые функции (2.6) примут следующие виды:

$$\begin{aligned}
Y(T_\delta) = & \frac{1}{T_\delta} \left\{ C_\kappa - S_\kappa \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{r_\kappa-1}{r_\kappa}} + C_{\omega\kappa} \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{r_\kappa-1}{r_\kappa}} + \right. \\
& + \sum_{i=1}^1 m_i(T_\delta) \cdot \left[C_{\alpha_i}^b(T_\delta) \cdot \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{p}{r_\kappa-1}} + \beta_\kappa \cdot \alpha_i(T_\delta) \cdot \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{p}{r_\kappa-1}} \right] + \\
& \left. + \sum_{j=1}^l C_j \cdot \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{p}{r_\kappa-1}} \cdot n_j(T_\delta) + C_\omega \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{r_\kappa-1}{r_\kappa}} \right\}.
\end{aligned} \tag{2.16}$$

$$\begin{aligned}
Y(T_\kappa) = & \frac{1}{T_\kappa} \left\{ C_\kappa (1+E)^{\frac{r_\kappa-1}{r_\kappa}} - S_\kappa \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{r_\kappa-1}{r_\kappa}} + C_{\omega\kappa} \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{r_\kappa-1}{r_\kappa}} + \right. \\
& + \sum_{i=1}^1 m_i(T_\kappa) \cdot \left[C_{\alpha_i}^b(T_\kappa) \cdot \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{p}{r_\kappa-1}} + \beta_\kappa \cdot \alpha_i(T_\kappa) \cdot \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{p}{r_\kappa-1}} \right] + \\
& \left. + \sum_{j=1}^l C_j \cdot \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{p}{r_\kappa-1}} \cdot n_j(T_\kappa) + C_\omega \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{r_\kappa-1}{r_\kappa}} \right\}.
\end{aligned} \tag{2.17}$$

$$\begin{aligned}
Y(T_\omega) = & \frac{1}{T_\omega} \left\{ C_\kappa (1+E)^{\frac{r_\kappa-1}{r_\kappa}} - S_\kappa \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{r_\kappa-1}{r_\kappa}} + C_{\omega\kappa} \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{r_\kappa-1}{r_\kappa}} + \right. \\
& + \sum_{i=1}^1 m_i(T_\omega) \cdot \left[C_{\alpha_i}^b(T_\omega) \cdot \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{p}{r_\kappa-1}} + \beta_\kappa \cdot \alpha_i(T_\omega) \cdot \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{p}{r_\kappa-1}} \right] + \\
& \left. + \sum_{j=1}^l C_j \cdot \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{p}{r_\kappa-1}} \cdot n_j(T_\omega) + C_\omega \left(\frac{1}{1+E} \right)^{\frac{r_\kappa-1}{r_\kappa}} \right\}.
\end{aligned} \tag{2.18}$$

При этом накладывается следующее ограничение:

$$Y(T_\delta) > Y(T_\kappa) > Y(T_\omega). \tag{2.19}$$

Для определения оптимальных значений $T_{\text{ж}}$, $T_{\text{ж}}$ и $T_{\text{с}}$ необходимо найти производные функции по этим параметрам, приравнять их к нулю и решить данную систему уравнений. Однако из-за сложности нахождения производных функций (2.16), (2.17), (2.18) реализация такого подхода затруднено. Поэтому решение задачи можно осуществить численным методом, заключающимся в целенаправленном переборе различных вариантов на ЭВМ, характеризующихся определенным сочетанием искомых показателей с учетом ограничений (2.19) для определения минимума удельных затрат на обеспечение работоспособности трактора.

Очевидно, что межремонтная наработка трактора зависит от его технического состояния. Исходное техническое состояние трактора в начале доремонтного, межремонтного периодов и периода до списания характеризуется системами показателей $\overline{G_{\text{ж}}^s}$, $\overline{T_{\text{ж}}^s}$, $\overline{T_{\text{ж}}^c}$ и является величинами доремонтных и послеремонтных технических ресурсов его сборочных единиц.

На величину технических ресурсов сборочных единиц тракторов значительное влияние оказывают их конструктивно-технологические свойства и производственные условия, которые характеризуются природно-климатическими факторами и качеством ремонтно-обслуживающих воздействий. Отдел стандартизации областных АПК непрерывно уточняет информацию о технических ресурсах основных сборочных единиц тракторов сельскохозяйственного назначения. Представляется целесообразным проводить по этим данным расчеты и корректировку межремонтной наработки тракторов на основе разработанной методики.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.

3.1. Программа проведения экспериментальных исследований

Оптимизация сроков и объемов ремонтно – обслуживающих воздействий тракторов 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 эксплуатационные показатели и показатели надежности.

Для достижения цели необходимо выполнить следующие исследовательские работы:

- определение эксплуатационных показателей и показателей надежности каждого исследуемого трактора;
- определение остаточных ресурса двигателя тракторов.

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

При осуществлении выборки тракторов для установления необходимых закономерностей учитывались: год вступления трактора в эксплуатацию и его ремонтные периоды. Остаточный ресурс двигателя определяется на основании проведения диагностирования, а наработка на отказ – используя данные, зафиксированные в бухгалтерской отчетности. В связи с этим, возникает возможность обеспечения общепринятого принципа системности проведения экспериментальных исследований, который заключается в том, что учитываются влияния состояния тракторов на показатели его надежности. Программа экспериментальных исследований представлена на рисунке 3.1.

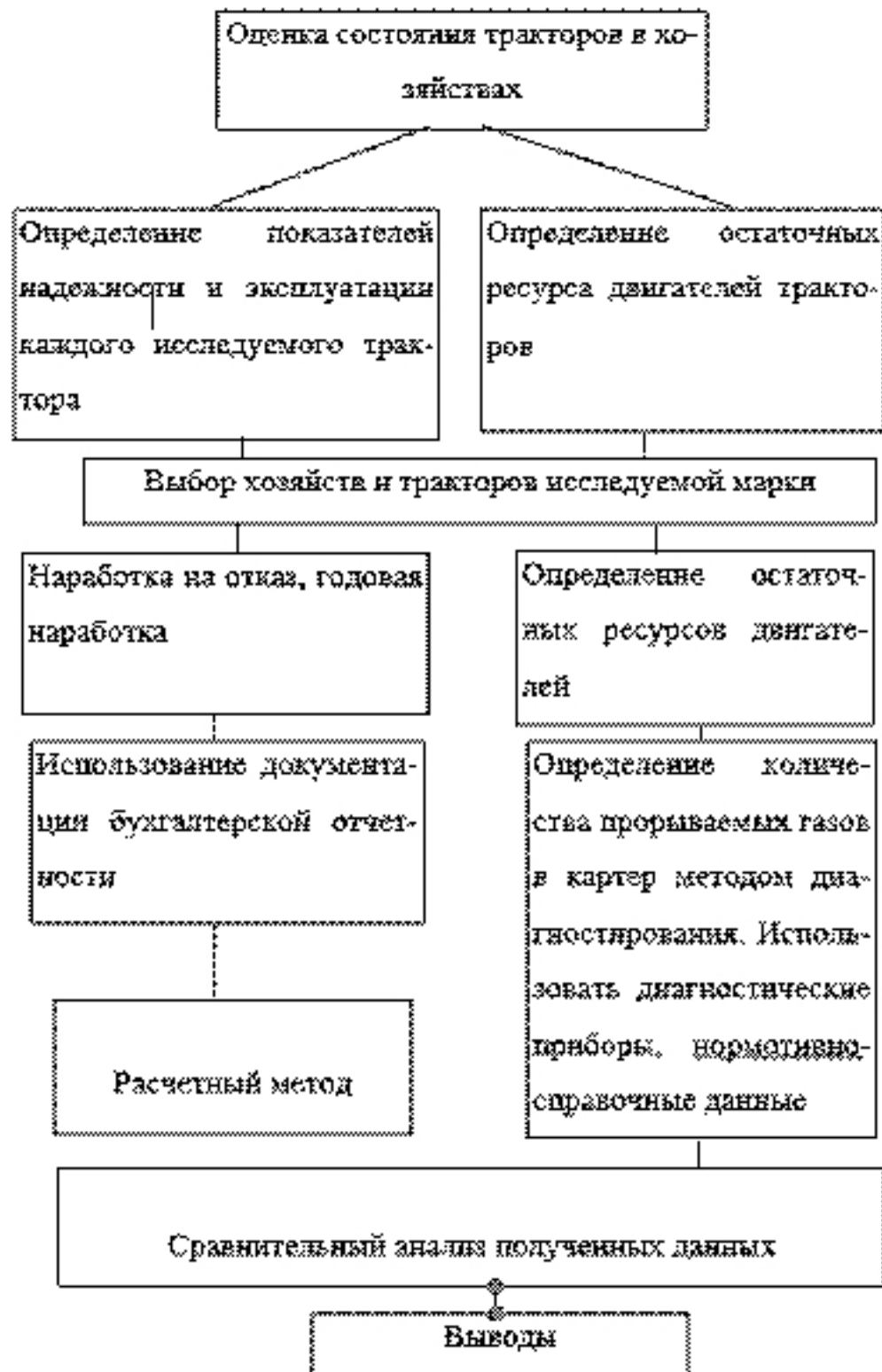


Рисунок 3.1- Программа экспериментальных исследований

3.2. Методика сбора и обработки информации

3.2.1 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 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 [34]:

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

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 [34]. Однако в этом случае погрешность определения коэффици-

ентов будет большой, поэтому рекомендуется четырехкратное увеличение количества наблюдений по сравнению с теоретическим [34].

В связи с тем, что в структуре трактора МТЗ-80, 82, представленной на рисунке 3.2., максимальное количество агрегатов (8) имеет система - двигатель ($c=3$). Поэтому, $N_c=24$ и $N=24$.

Для проведения экспериментальных исследований в магистерской работе были выбраны хозяйства Лаишевского района: 1) ООО «25 лет октября»; 2) ООО «Яратель»; 3) «Птицефабрика Державинская»; 4) ООО «Хаерби» которые расположены в Предкамской зоне Республики Татарстан.

Для обеспечения точности определения исходной информации, продолжительность периода наблюдений за тракторами обосновывался в соответствии с рекомендациями [33].

Ошибка предсказания величин диагностических параметров двигателя по известным методикам составляют $\pm 10\%$ [56]. С учетом данных о значениях среднего ресурса агрегатов [29], 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. Также учитывались то, что остаточные ресурсы двигателей 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.

Наработки двигателей считалась равной, в случае замены его агрегатов после восстановительных ремонтов в процессе эксплуатации. При этом учет

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

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.

3.2.2. Определение остаточного ресурса двигателя трактора

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, замеры параметров состояния агрегатов и систем.

К заключительному этапу относятся прогнозирование остаточного ресурса двигателя по прорыву газов в картер.

Количество газов измеряют индикатором КИ-13671. Для измерения количества газов двигатель прогревают до температуры жидкости в системе охлаждения 70 — 90 °С, закрывают пробками отверстие сапуна, отверстие под масломерную линейку и подключают индикатор с помощью переходника к заливной горловине картера двигателя. Измерение расхода газов проводится при номинальной частоте вращения коленчатого вала. Прорвавшиеся в

картер газы проходят через индикатор и поднимают поршень сигнализатора в верхнее положение. Поворачивая плавно крышку прибора и, тем самым закрывая дроссельное отверстие индикатора, добиваются, чтобы риска на колеблющемся поршне совпала с риской на трубке. По лимбу на крышке против указателя определяют расход газов.

Прогнозирование по параметрам состояния основывается на том, что они имеют тесную связь с наработкой изделия. Установлено [21], что изменение параметра $u(t)$ состояния элементов сельскохозяйственной техники за наработку t аппроксимируется функцией вида:

$$u(t) = v_c t^\alpha + z, \quad (3.2)$$

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 [20] по формуле:

$$T_{\text{ост}} = t_v \left[\left(\frac{u_c}{u(t_v)} \right)^{1/\alpha} - 1 \right], \quad (3.3)$$

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

Предельное отклонение параметра технического состояния агрегата определяется по формуле:

$$u_n = (P_n - P_n) / \Delta P, \quad (3.4)$$

где P_n , P_n - соответственно предельное и номинальное значения параметров, которые устанавливаются согласно рекомендациям [57], приведены в приложении; ΔP - показатель изменения параметра за период приработки, принимается согласно рекомендациям [35].

Изменение параметра на наработку t_n определяется по формуле:

$$u(t_n) = (P(t_n) - P_n) / \Delta P, \quad (3.5)$$

где $P(t_n)$ - измеренное при наработке t_n значения параметра.

Значения α принимается в соответствии с рекомендациями [57]. Номинальные и предельные значения диагностических параметров двигателя трактора МТЗ-80,82 представлены в приложении 1 в таблице 1.

3.2.4. Оценка наработки на отказ двигателя трактора

В качестве показателя безотказности трактора принята наработка на отказ. Этот параметр в интервале наработки $(H, H + \Delta H)$ определяется в соответствии с ГОСТ [20]:

$$T_o(H) = \frac{\Delta H}{M(\Delta H)}, \quad H \in \Delta H, \quad (3.6)$$

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

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 [37]. Более целесообразным является рассмотрение систем агрегатов, отказы которых независимы.

Таким образом, количество отказов трактора в интервале наработки ΔH оценивается количеством отказов систем агрегатов:

$$m(\Delta H) = \sum_{s=1}^E m_s(\Delta H), \quad (3.7)$$

где $m_s(\Delta H)$ - количество отказов 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-80,82 они обуславливают более 80% отказов [32]. 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 надежности

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

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

$$m_{cg}(\Delta H) = f(T_{osm1}, T_{osm2}, \dots, T_{osmjc}), \quad (3.8)$$

где $T_{osm j}$ - 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 $T_{osm j}$ и полный T_j ресурсы агрегата связаны соотношением:

$$T_j = H_j + T_{osm j} \quad (3.9)$$

После того, как составлено представление о структуре зависимости, можно было бы установить вид взаимосвязи f между количеством отказов системы m_{cg} на интервале наработки ΔH и показателями остаточного ресурса $T_{osm j}$ 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.

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

$$T_o(h) = \frac{\Delta h}{\tilde{m}_c(\Delta h)}, \quad h \in \Delta h. \quad (3.10)$$

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

$$m_{ik}(x) = \int_{d_{ik}}^{d_{ik} + \Delta h} \Gamma_{\infty, i}(h) dh = \Gamma_{\infty, i}(h)(d_{ik} - d_{ik}), \quad (3.11)$$

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

3.2.5. Методика проверки адекватности математической модели

Проверка адекватности математической модели осуществляется путем сопоставления расчетных и фактических промежуточных значений удельных затрат и суммарной наработки трактора.

Исходными параметрами математической модели, представленной во второй главе являются: нормативные параметры планово-предупредительной системы ТО и ремонта, количество машин, остаточные ресурсы их агрегатов.

Вначале следует рассмотреть степень стабильности этих параметров для конкретного хозяйства. 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 и вы-

ходных 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 [46]. При этом вопрос о замене агрегата в течение цикла выполнения сельскохозяйственных операций не ставится, а определение количества внезапных отказов 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 может остаться в пределах допустимого.

Среднеквадратическая погрешность оценки диагностических параметров составляет $\pm 10\%$ [46]. 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 .

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.

3.3. Результаты определения влияния остаточного ресурса двигателя на эксплуатационные показатели и показатели надежности трактора

Закономерности изменения количества отказов двигателя трактора и годовой наработки в зависимости от его остаточного ресурса определялись, используя методику определения оптимального вида зависимости по критерию минимума остаточной дисперсии, разработанной в [27].

В результате проведения экспериментальных исследований были получены числовые значения по внезапным отказам двигателей тракторов, которые находились под наблюдением. Остаточный ресурс двигателя трактора к началу наблюдений представлены в приложении 1 таблица 2, кроме этого в этой таблице представлены количество отказов и годовая наработки, соответствующие каждому наблюдению. Полученные результаты обработаны с использованием ЭВМ по разработанной программе.

Наработка на отказ двигателя трактора определялся по формуле 3.6.

Закономерность в виде формулы, а также коэффициент корреляции и его ошибка, по которым можно судить о тесноте связи переменных параметров и функции отклика имеет вид:

$$T_{\text{с.н}} = 0,895 \cdot T_{\text{с.м}} - 170,23 - 7,8 \cdot 10^{-2} \cdot T_{\text{с.м}}. \quad (3.12)$$

$$R_{\text{н}} = 0,69; m_R = 0,16$$

На рисунках 3.1 представлен график изменения наработки на отказ двигателя, в зависимости от его остаточного ресурса.

Влияние остаточного ресурса двигателя на годовую наработку трактора можно описать формулой:

$$W_{\text{г}} = 450,7 + 11,1 \cdot T_{\text{с.м}}^{0,21}. \quad (3.13)$$

$$R_{\text{н}} = 0,54; m_R = 0,17$$

На рисунках 3.2 представлен график изменения годовой ☐ наработки трактора, в зависимости от остаточного ресурса двигателя.

Полученные результаты показали, что с уменьшением остаточного ресурса двигателя наработка на отказ уменьшается.

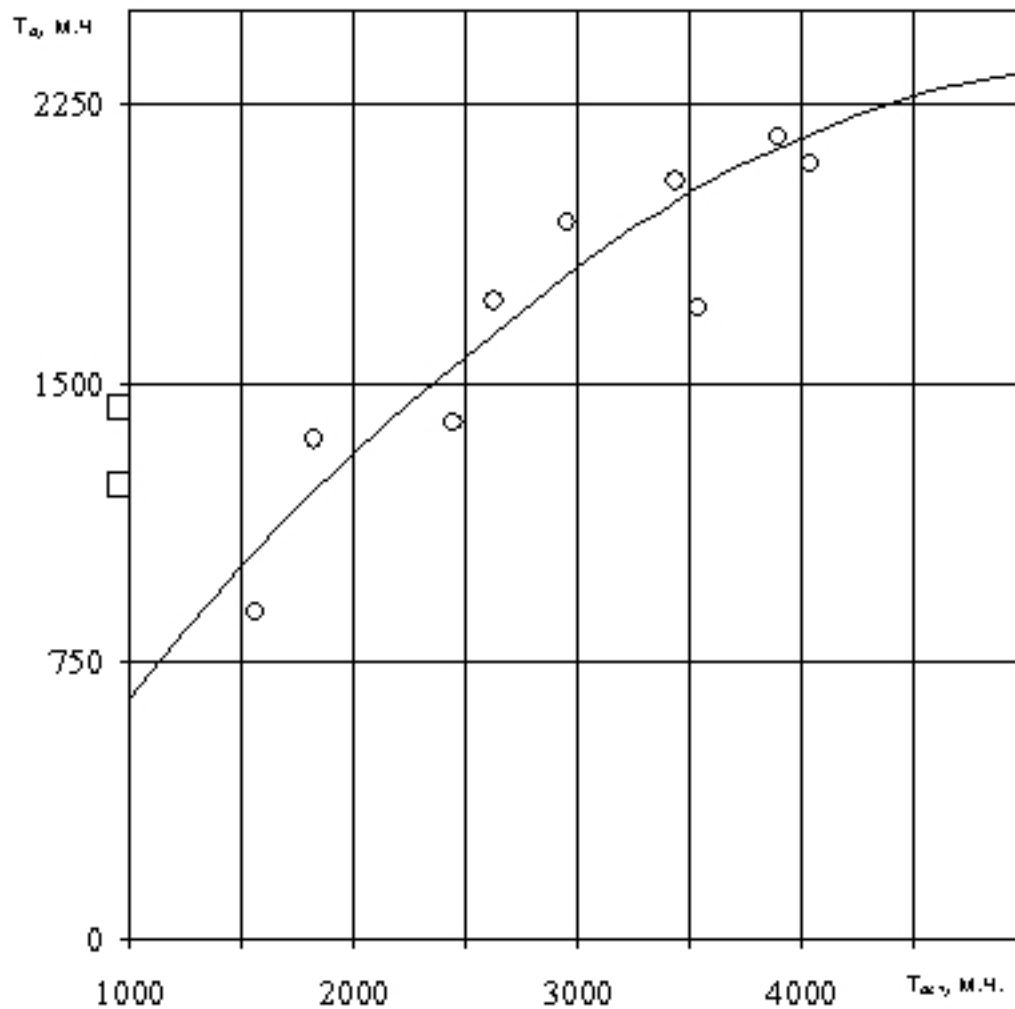


Рисунок 3.1 - Закономерность изменения наработки на отказ двигателя МТЗ-80,82 в зависимости от его остаточного ресурса

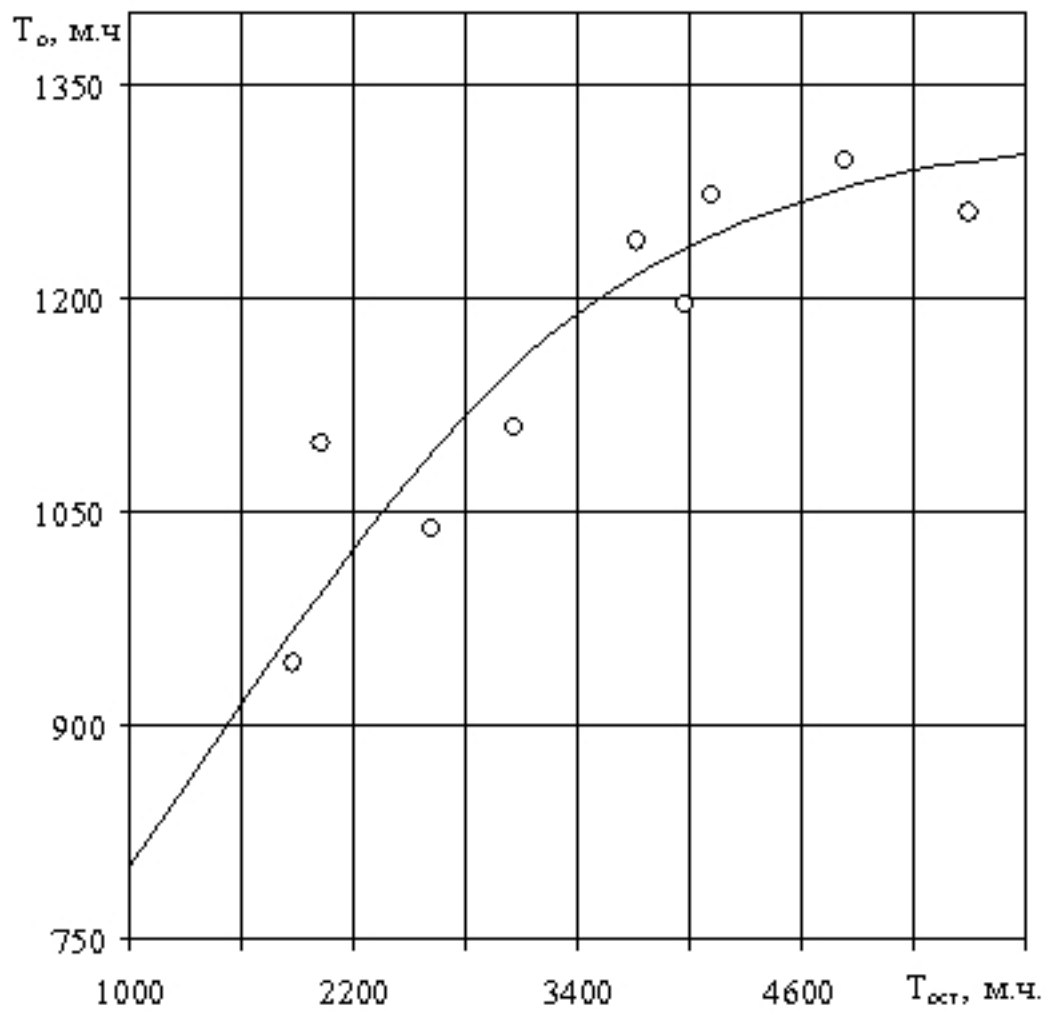


Рисунок 3.2 - Закономерность изменения годовой наработки трактора МТЗ-80,82 в зависимости от остаточного ресурса его двигателя

3.4. Результаты по оптимизации сроков проведения и объемов ремонтно-обслуживающих воздействий тракторов

В соответствии с целевыми функциями (2.1) были проведены вычисления по выявлению числовых значений параметров оптимизации сроков и объемов ремонтно-обслуживающих воздействий трактора.

При этом, варьировались показателями наработок для периодов до ремонта, после первого и второго ремонтов тракторов, его сборочных единиц, направленные на оптимизацию расхода ресурса и затрат.

Используя разработанную методику (раздел 2.1, значение периодов ремонтных наработок и количество капитальных ремонтов за срок службы определялись при реализации целевых функций (2.16, 2.17, 2.18) с учетом ограничений по переменным (2.19). Для этого были собраны данные о техническом состоянии агрегатов и систем трактора, характеризующие комплекс их доремонтных и межремонтных ресурсов, значения которых являются средними для всего тракторного парка хозяйства. Исходя из литературных источников [44, 61] известно, что ресурсы агрегатов и систем тракторов являются величинами случайными и описываются распределением Вейбулла.

Плотность распределения величины ресурса узлов и агрегатов определяется по формуле [44, 61]:

$$f(t) = \frac{e \cdot \Gamma^{*+1}}{t_0} \exp\left(\frac{-\Gamma}{t_0}\right)^*, \quad (3.14)$$

Γ - параметр формы; t_0 - масштабный параметр.

Для оценки параметров распределения ресурса агрегата необходимо использовать уравнения:

$$e = \left(\frac{\sum_{i=1}^n T_i' en T_i + \sum_{i=1}^n T_i' en T_i}{\sum_{i=1}^n T_i' + \sum_{i=1}^n T_i'} - \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n en T_i \right)^{-1} = 0, \quad (3.15)$$

$$t_0 = \frac{\sum_{i=1}^n T_i' + \sum_{i=1}^n T_i'}{n_1}. \quad (3.16)$$

где $T_{i'}$ - значение ресурсов, отказавших во время наблюдения агрегатов, м.ч; $T_{i''}$ - значение ресурсов, не отказавших во время наблюдения агрегатов, м.ч; n_1 , n_2 - соответственно количество отказавших и не отказавших во время испытаний агрегатов.

Для оценки среднего значения ресурса агрегата необходимо определить по расчетным показателям параметров распределения:

$$\bar{T} = t_0' \gamma \left(1 + \frac{1}{e} \right), \quad (3.17)$$

где $\gamma \left(1 + \frac{1}{e} \right)$ - гамма функция.

Информации о среднегодовой наработке тракторов для нашего региона содержится в статистических сборниках [1], нормативные сроки служб машин определены в [43].

В формулах (2.16), (2.17) и (2.18), при расчете оптимальных значений ремонтных периодов задавалось исходное значение полной его нормативной наработки за срок службы. Для трактора МТЗ-80,82 полная нормативная наработка определяется как произведение значений среднегодовой наработки на весь срок службы и равняется 8780 м.ч.

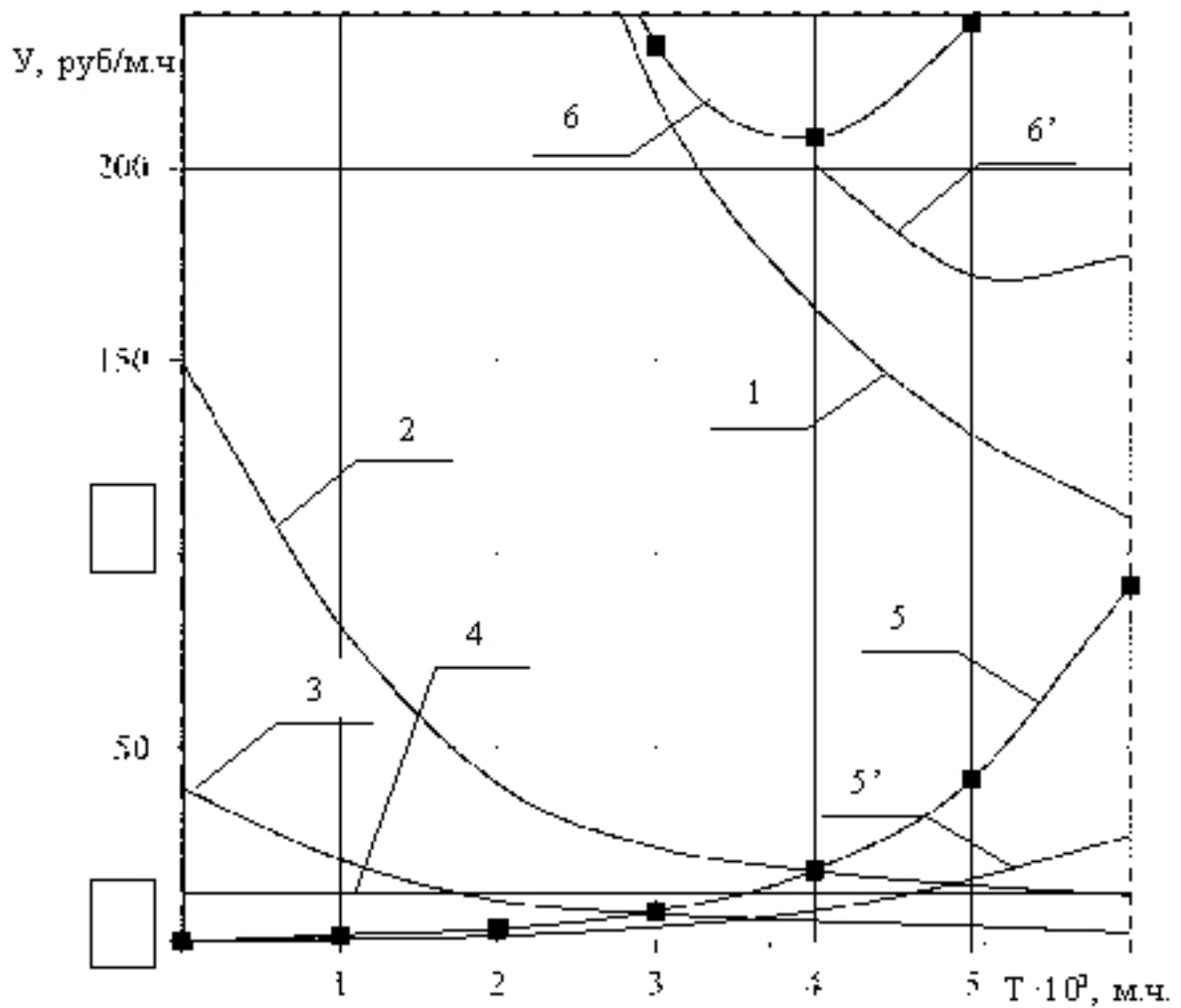
Исходные данные для реализации математической модели приведены в приложении 2 таблица 1. Исходные данные хозяйственной деятельности и зависимости затрат от простоев, на проведение текущего ремонта и затраты на устранение отказов от израсходованного ресурса были использованы из диссертационной работы [65].

Количество отказов зависят от остаточного ресурса, при этом использовалась зависимость (3.12). При реализации целевых функций были использованы ЭВМ и разработанные программы на языке «Бейсик». Разработанная программа для решения этих функций приведены в Приложении 3. В результате реализации целевых функций были получены оптимальные значения наработок для ремонтах периодов и наработки до списания с учетом уровня технической эксплуатации трактора.

На рисунке 3.1. приведены результаты вычисления оптимальных значений наработок до капитального ремонта для двух хозяйств. Первое хозяйство выбрано по самым низким эксплуатационным показателям тракторов, второе – как наиболее близкий к нормативным эксплуатационным показателям.

Как видно из графиков, оптимальная наработка без учета разновременности затрат для первого хозяйства 3700, для второго - 5200 м.ч., а удельные затраты, соответственно 210 р/м.ч. и 175 р/м.ч.

Данные рисунка 3.1. доказывают не обоснованности применяемой в настоящее время периодичности капитального ремонта в исследуемой зоне.



1-удельные стоимость двигателя; 2-удельные затраты на капитальный ремонт; 3-удельная остаточная стоимость двигателя; 4 удельные затраты на ТО; 5 и 5'-удельные затраты от простоев, отказов и на ТР для первого и второго хозяйств; 6 и 6'- суммарные удельные затраты на эксплуатацию в первом и втором хозяйствах

Рисунок 3.1. - Зависимости удельных затрат от наработки тракторов.

Рекомендуемая наработка до первого капитального ремонта, который составляет 6000 м.ч., значительно не согласуется с оптимальными расчетными значениями, что приводит к производственным затратам.

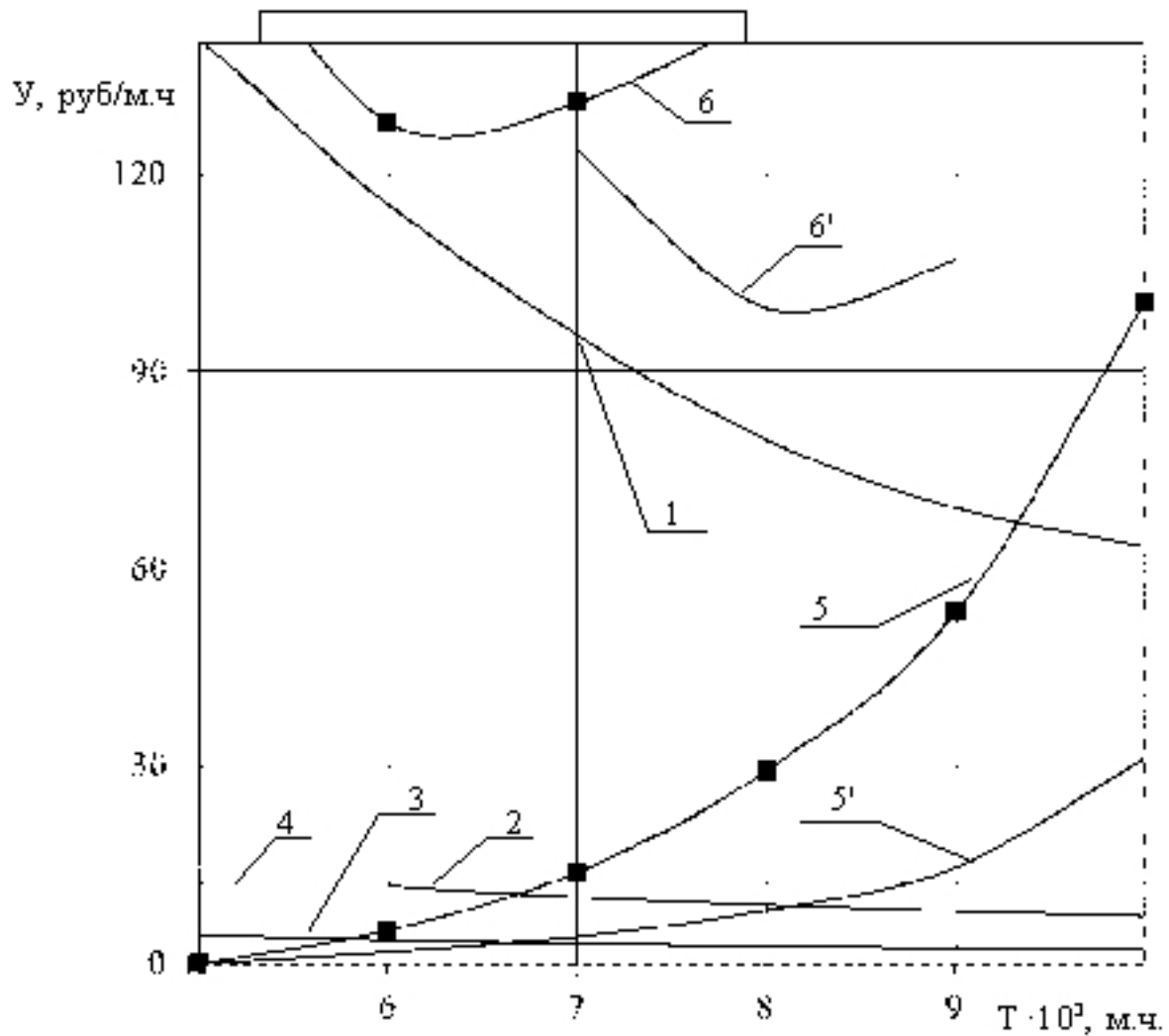
На рис. 3.2. представлены результаты определения оптимальных наработок в периоде после первого капитального ремонта тракторов для двух хозяйств. Из рисунка видно, что в этом периоде удельные затраты уменьшаются за счет снижения удельные затраты на приобретение техники.

Оптимальные значения наработок после первого ремонта составляют 8250 м.ч. и 6440 м.ч. соответственно для двух хозяйств. При этом удельные затраты соответствуют значениям 99,5 р/м.ч. и 128,4 р/м.ч.

В настоящее время все чаще встает вопрос о дополнительном капитальном ремонте для увеличения срока службы техники. Однако, в результате расчетов установлено, что при проведении третьего капитального ремонта удельные затраты при оптимальном значении наработки будет выше удельных затрат соответствующих второму капитальному ремонту, это противоречит условию (2.63). Далее расчеты велись без учета затрат на капитальный ремонт.

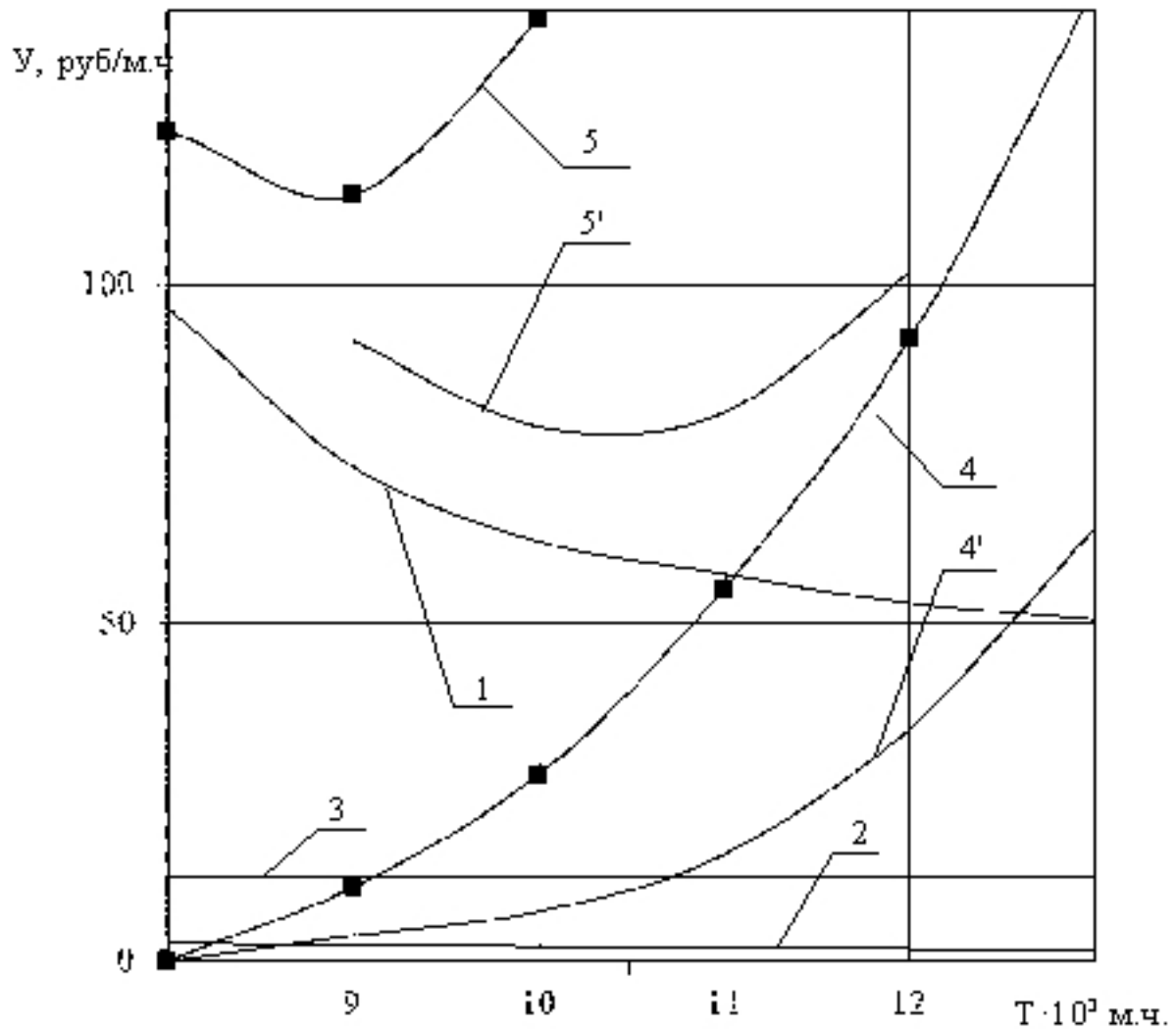
Суммарные удельные затраты изменяются по кривой 5 (рис. 3.3) и достигает своего минимального значения 83,5 р/м.ч. при оптимальном значении наработки 10445 м.ч. для второго хозяйства. Для первого - эти значения соответственно равняются - 134,8 р/м.ч. и 7895 м.ч.

Проведенные расчеты позволили выявить, что расход остаточного ресурса двигателя трактор при одних и тех же условиях функционирования, величине удельных издержек, соответствующих оптимальным наработкам может не меняться, изменяется лишь сроки их исчерпания. Так как определение оптимальных значений межремонтной наработки трактора производится на интервале времени, который равен послеремонтному периоду, а затраты производятся в различные, достаточно удаленные друг от друга моменты времени, то большое значение приобретает учет разновременности затрат.



1-удельные стоимость двигателя; 2-удельные затраты на капитальный ремонт; 3-удельная остаточная стоимость двигателя; 4-удельные затраты на ТО; 5 и 5'-удельные затраты от простоев, отказов и на ТР для первого и второго хозяйств; 6 и 6'-суммарные удельные затраты на эксплуатацию в первом и втором хозяйствах

Рисунок 3.2. - Зависимости удельных затрат от наработки тракторов.



1-удельные стоимость двигателя; 2-удельная остаточная стоимость двигателя; 3-удельные издержки на ТО; 4 и 4'-удельные затраты от простоев, отказов и на ТР для первого и второго хозяйств; 5 и 5'- суммарные удельные затраты на эксплуатацию в первом и втором хозяйствах.

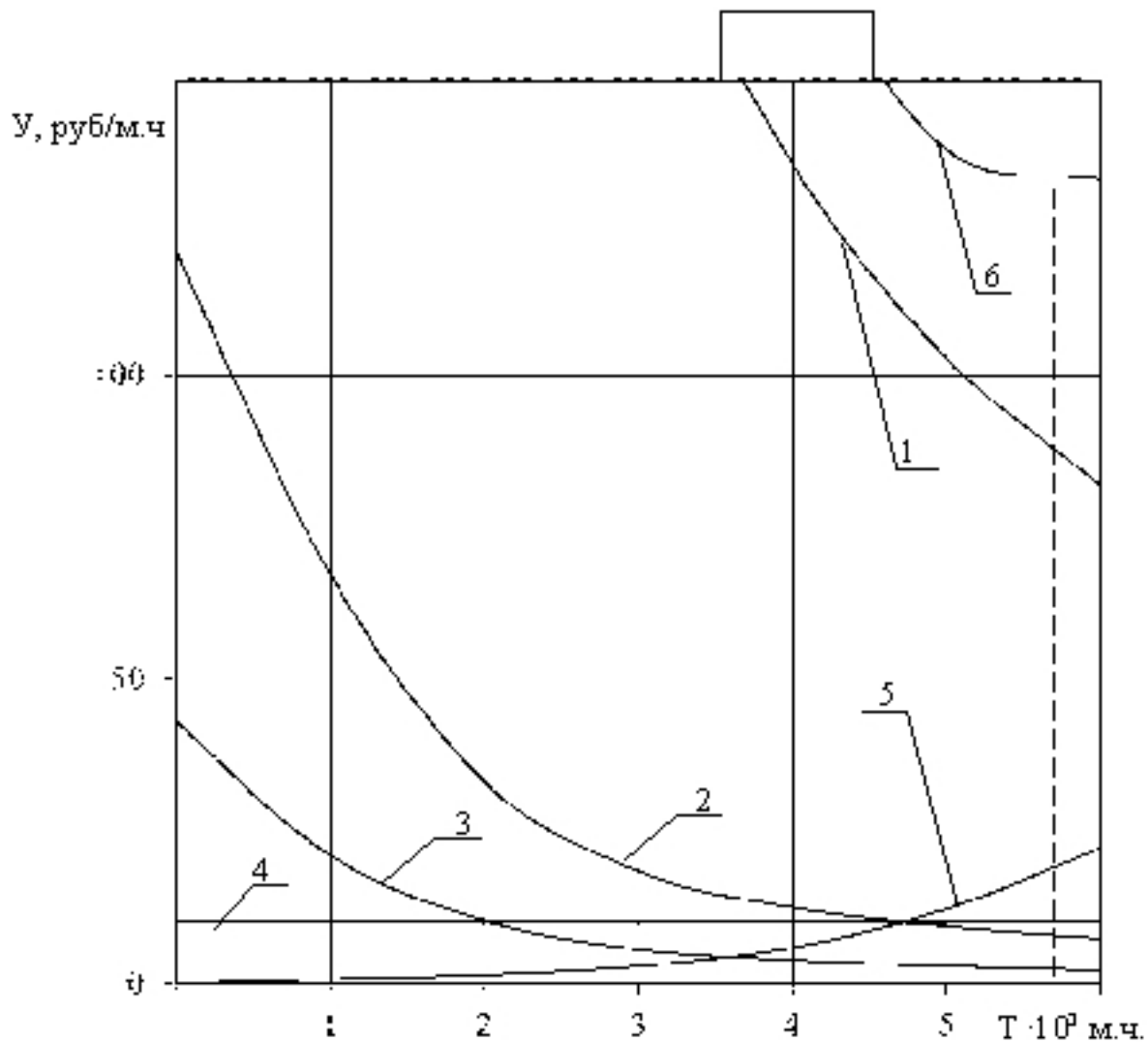
Рисунок 3.3 Зависимости удельных затрат от наработки тракторов.

Из рисунка 3.3 видно, что с учетом разновременности затрат оптимальная наработка до первого капитального ремонта составляет 5960 м.ч. при минимальном значении удельных затрат 134,6 р/м.ч.

3.4.1. Проверка адекватности математической модели обоснования оптимальных значений сроков ремонта и службы тракторов

Как показано в разделе 3.3, проверка адекватности расчетных и фактических показателей наработок до ремонта, после первого и второго ремонтов тракторов может свестись к простому действию - сравнение фактических данных, которые были получены в хозяйствах по предложенной методике и расчетных значений, которые вычислены используя формулы (2.33), (2.34), (2.35) и (2.36) или определенные используя графики (рис.3.1 - 3.4).

Графическим методом расчетные показатели наработок определялись исходя из фактических значений удельных затрат на эксплуатацию в периодах до ремонта, после первого и второго ремонтов. Например: для СПК «Родина» Лаишевского района удельные затраты на эксплуатацию до ремонта составила 196,3 р/м.ч. Из рисунка 3.1 определяется доремонтная наработка, соответствующая фактическим удельным затратам, что составляет 3902 м.ч. Фактический в данном хозяйстве тракторы МТЗ-80,82 отправляются на первый капитальный ремонт только после серьезной поломки. В среднем, суммарная наработка составляет 3566 м.ч. Отклонение расчетных значений от фактических составляет 9,6%. В целом, фактические показатели ремонтных наработок на практике подтверждают значения, найденные расчетным путем.



1-удельные стоимость двигателя; 2- удельные издержки на капитальный ремонт; 3- удельная остаточная стоимость двигателя; 4-удельные издержки на ТО; 5-удельные затраты от простоев, отказов и на ТР; 6- суммарные удельные издержки

Рисунок 3.4 Зависимости удельных затрат от наработки тракторов с учетом разновременности издержек.

Таблица 3.1-Данные для проверки адекватности расчетных показателей фактическим (СПК «Родина» Лаишевского района РТ).

Фактические значения удельных затрат за пе- риод р/м.ч.			Фактические значения наработок за период м.ч.			Расчетные значения наработок за период м.ч.		
до 1 КР	до 2 КР	до спи- сания	до 1 КР	до 2 КР	до спи- сания	до 1 КР	до 2 КР	до спи- сания
196,3	125,8	118,4	3566	5925	8510	3902	6406	8322

3.5. Расчет экономической эффективности от внедрения результатов исследования в производство

Эффект от внедрения вышеизложенных разработок, т.е. от повышения эффективности использования тракторов путем оптимизации сроков и объемов ремонтно - обслуживающих воздействий тракторов будет следующим.

В результате внедрения проекта по повышению эффективности использования тракторов в аграрном 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 [31, 49] рассмотрены вопросы экономического обоснования новых организационных форм и технологий ТО и ремонта техники в аграрном производстве, где отмечено, что экономическая эффективность определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = (C_e + E_e K_e) - (C_a + E_a K_a), \quad (3.16)$$

где $C_б, C_н$ - затраты на обеспечение работоспособности тракторов при существующем и предлагаемом варианте, руб; $K_б, K_н$ - капиталовложение на обеспечение работоспособности при существующем и предлагаемом варианте, руб; $K_н$ - нормативный эффект капиталовложений.

В результате преобразования, формула (3.16) примет вид:

$$\mathcal{E} = (Z_б - Z_н)W_н - E_н(K_н - K_б), \quad (3.17)$$

где $Z_б, Z_н$ - суммарные удельные издержки на поддержание тракторов в работоспособном состоянии при базовом и новом вариантах, р/м.ч.; $W_н$ - годовая наработка трактора при новом варианте, м.ч.

Разница дополнительных капиталовложений определяются по формуле [30]:

$$\Delta K = C_н \cdot \alpha \quad (3.18)$$

где $C_н$ - стоимость трактора (в ценах 2018 года $C_н = 67350$ руб [17]); α - норматив капиталовложений в сельском хозяйстве.

В конечном счете, формула примет вид:

$$\mathcal{E} = (Z_б - Z_н)W_н - C_н \cdot \alpha \cdot E_н. \quad (3.19)$$

Как было отмечено в разделе 3.2 при базовом варианте эксплуатации тракторов, средние удельные издержки на поддержание МТЗ-80, 82 в работоспособном состоянии равны 102,8 руб/м.ч. В результате внедрения предложенных мероприятий по повышению эффективности эксплуатации тракторов

и математической модели определения оптимальных значений сроков, объемов ремонтно - обслуживающих работ - удельные затраты уменьшились до 75,6 руб/м.ч., при нормативной годовой наработки 1200 м.ч.

Подставив значения в формулу (3.22), можно определить годовой экономический эффект (в ценах 2018 г):

$$\mathcal{E} = (102,8 - 86,2) \cdot 1200 - 0,1567350 \cdot 0,31 = 16788,3 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект на один эталонный трактор, равняется 16788,3 руб.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Выявлена закономерность изменения наработки на отказ двигателя трактора в зависимости от его остаточного ресурса. С изменением остаточного ресурса от 4500 м.ч. до 1500 м.ч. наработка на отказ изменится от 744 м.ч. до 274 м.ч. Полученная регрессионная зависимость позволяет определить трудоемкость ремонта двигателя 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.

2. Разработана математическая модель, позволяющая вычислить оптимальные сроки проведения капитальных ремонтов для каждого трактора. При этом в качестве критерия принят минимум удельных издержек на обеспечении работоспособности двигателя тракторов с учетом его остаточного ресурса и разновременности затрат. Оптимальная наработка до первого капитального ремонта для первого хозяйства 3700, для второго - 5200 м.ч., наработка до второго КР - 6440 м.ч. и 8250 м.ч., наработка до списания трактора - 7895 м.ч. и 10445 м.ч. Проверка адекватности математической модели путем сопоставления расчетных и фактических промежуточных значений удельных затрат и суммарной наработки трактора показала, отклонения, соответственно,

равняется 9,8% и 8,6%. В целом, фактические показатели ремонтных наработок на практике подтверждают значения, найденные расчетным путем.

3. 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 16788,3 рублей на один эталонный трактор.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агропромышленный комплекс России в 2002 году: Стат.сб. / Госкомстат России – М., - 2003. - 453 с.
2. Антонов, В.В. Экономические факторы в оценке надежности сельскохозяйственной техники / В.В.Антонов, Ю.А.Козенко // Повышение надежности сельскохозяйственной техники: Сборник научных трудов ВСХИ. - Волгоград, 1987. - С.10-12.
3. Барам, Х.Г. Методика определения величины потерь за час простоя мобильной сельскохозяйственной техники в полеводстве / Х.Г. Барам – М.: ГОСНИТИ, 1976. – 40 с.
4. Барам, Х.Г. Эффективность полнокомплектного ремонта машин с позиций машиноиспользования //Сб.тр. ГОСНИТИ. – Т.58. –1979. –С.3-19.
5. Барам, Х.Г. К вопросу о критериях целесообразности постановки машин в капитальный ремонт / Х.Г.Барам, Н.П. Полуэктов. // Сб. науч. тр. ГОСНИТИ. – М., – Т.53. –1977.– С. 3-9.
6. Гаврилов, Ф.И. Методы анализа использования сельскохозяйственной техники / Ф.И. Гаврилов – М.: «Колос», -1971. – 261 с.
7. Галиев, И.Г. Повышение эффективности использования тракторов с учетом условий их функционирования / И.Г. Галиев – Казань: Изд-во Казан. ун-та, -2002.- 204 с.
8. Галиев, И.Г. Обзор методов обоснования оптимальных значений сроков ремонта тракторов / Р.М.Гимадиев // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Modern scientific potential - 2018, February 28 - March 7 , 2018. : Sheffield. Science and education LTD -100 p.
9. Галиев, И.Г. Анализ существующих методов определения сроков, объемов ремонта тракторов и оптимизация доремонтных, межремонтных наработок / Р.М.Гимадиев, Т.А.Хусаинова // Агроинженерная наука XXI ве-

ка. / Труды региональной научно-практической конференции. Научное издание. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2018. – 312-317 с

10. Галиев, И.Г. Анализ работ по развитию планово- предупредительной системы технического обслуживания и ремонта техники в аграрном производстве / Д.Н. Мухаметзянов, А.Р.Галимов, Р.М.Гимадиев // Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса, Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса, 15-16 мая 2018 г., 2018. С. 90-95.

11. Галиев, И.Г. Оптимизация доремонтных и межремонтных наработок тракторов с учетом качества технического обслуживания (описание программы) / Р.К.Хусаинов, Т.А.Хусаинова, Р.М.Гимадиев // Свидетельство о регистрации в Федеральной службе по патентам и товарным знакам (Роспатент). Регистрационный номер №2018614522 26.04.2018

12. Галиев, И.Г. Обзор исследований по проведению ремонтно- обслуживающих воздействий для тракторов в аграрном производстве / Д.Н. Мухаметзянов, А.Р.Галимов, Р.М.Гимадиев // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Trends of modern science - 2018, May 30 - June 7, 2018 Ecology. Medicine. Agriculture. Physical culture and sport. : Sheffield. Science and education LTD-P. 74-79.

13. Галиев, И.Г. Обоснование сроков ремонта и службы тракторов в аграрном производстве / Д.Н. Мухаметзянов, А.Р.Галимов, Р.М.Гимадиев // Materiały XIV Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji „Europejska nauka XXI wiek - 2018», Volume 3 Przemysł: Nauka i studia –s. 17-25.

14. Гальперин, А.С. Определение оптимальной долговечности машин / А.С.Гальперин, М.И. Сушкевич – М.: Колос, -1970. – 183 с.

15. Гальперин, А.С. Совершенствование правил обслуживания машин операциями ремонта / А.С.Гальперин, В.А. Ушанов. // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1980. - № 2. – С. 40-42.

16. Гимадиев, Р.М. Обеспечение работоспособности тракторов в АПК путем оптимизации их сроков ремонта и службы / А.А.Мухаметшин, И.Г. Галиев // 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.

17. Гологорский, Е.Р. Индустриальные методы ремонта строительных машин в энергетическом строительстве / Е.Р.Гологорский – М.: Энергия, - 1968. – 62 с.

18. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, -1980. – 11 с.

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

20. РД 50-690-89. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным.

21. Григорьев, А.И. Диагностика и долговечность сельскохозяйственных машин / А.И. Григорьев //Техника в сельском хозяйстве. –1979. -№12. –С. 42-43.

22. Дмитриев, Б.А. Новая система ремонта тракторов в Болгарии / Б.А. Дмитриев // Совершенствование методов организации ремонта и ТО МТП: Сб. науч. тр. ГОСНИТИ. –М., - 1975. – Ч. 1. –С. 68-72.

23. Дуров, С.М. Взаимоувязки планов использования МТП и работы службы технического обслуживания / С.М.Дуров, М.К.Ландина, А.Г. Любимцев // Науч.-техн. бюл. ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – 1982. – Вып. 24: Вопросы повышения эффективности использования техники на базе инженерно-технических комплексов. – С. 33-42.

24. Железкина, М.А. Оценка качества ремонтпригодных машин: Автореф. Дис. ... канд. экон. наук / М.А. Железкина – М.,- 2006. – 18 с.

25. Зуль, М.Н. Назначение ремонтных работ по результатам диагностирования / М.Н. Зуль // Механизация и электрификация сельск. хоз-ва. – 1979. – № 11. – С. 36-39.

26. Игнатъев, Г.С. Использование остаточного ресурса деталей при ремонте машин / Г.С. Игнатъев // Техника в сельском хозяйстве. – 1982. – №10. – С. 41-42.

27. Капшун, Г.П. Оценка влияния технического обслуживания на ресурс машин / Г.П. Капшун // Сб. науч. тр. / ЦНИИМЭСХ. – Минск, - 1978. – Вып. 15. – С. 171-182.

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

29. Кастен, А.Д. О методах и результатах анализа машинно-тракторного парка / А.Д.Кастен, Х.Н. Брюкнер и др. // Международный сел. – хоз. журнал. – 1976. – № 2. – С. 93-97

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

31. Колегаев, Р.Н. и др. Управление обновлением машинного парка / Р.Н. Колегаев и др. – Киев: Техника, 1981. – 176 с.

32. Колегаев, Р.Н. Установление оптимальной системы ремонта машин / Р.Н.Колегаев, В.Д.Демченко //Оптимальные сроки службы и экономическая эффективность ремонта машин и оборудования. –Минск, - 1971. –С. 160-162.

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

34. Конкин, Ю.А. Бережно относиться к технике / Ю.А. Конкин // Техника в сельском хозяйстве. –1982. –№ 3. –С.3.

35. Конкин, Ю.А. Технический сервис в АПК: проблемы и пути их ре-

шения / Ю.А. Конкин //Тракторы и с.-х. машины. -1999. - №4. - С. 2-6.

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

37. Краснощеков, Н.В. Концепция развития технического сервиса в АПК на период до 2005 года / Н.В. Краснощеков, С.С.Черепанов, А.Э. Северный и др. – М.: ГОСНИТИ, - 1990. – 19 с.

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

39. Кучеренко, В.П. Оценка срока службы машин / В.П.Кучеренко, Л.С.Либов, В.С. Кикоть // Механизация и электрификация сельского хозяйства. -1987. -№ 11. -С. 36.

40. Лезин, П.П. Формирование надежности сельскохозяйственной техники / П.П. Лезин.– Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, - 1987. – 196 с.

41. Лившиц, В.М. Динамический метод диагностики автотракторных двигателей. Принципы построения переходных процессов: Метод. рекомендации /СибИМЭ: Подгот. И.П.Добролюбов, В.М. Лившиц.– Новосибирск, - 1981. –Ч. 1. –93 с.

42. Ломоносов, Ю.Н. Износ звеньев гусениц тракторов класса 30 кН / Ю.Н.Ломоносов, А.Т.Лепяхин // Сб. науч. тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск. –Вып. 66. – С. 40-43.

43. Лычкин, В.П. Экономико-математическая модель замены парка сельскохозяйственных машин / В.П. Лычкин.– Труды ВСХИЗО. – М.: - 1981.

44. Мецгерин, Е.М. Исследование эффективности периодичности замены масла в тракторных двигателях средней напряженности. Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Е.М. Мецгерин – М., - 1976. – 24 с.

45. Михлин, В.М. Прогнозирование технического состояния машин / В.М. Михлин – М.: Колос, - 1978. – 288 с.

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

47. Оганесян, С.В. Оценка доремонтных и послеремонтных ресурсов сельскохозяйственных машин / С.В. Оганесян // Тр. МИИСП, - 1983. - 56 с.
48. Пасечников, Н.С. Исследование зависимости вероятности работоспособности состояния машины от времени ее эксплуатации / Н.С. Пасечников // Сб. науч. тр. ВИМ.-М., - 1982. - Т. 95. - С. 73-87.
49. Пасечников, Н.С. Прогнозирование оптимального времени работы масла в тракторном двигателе / Н.С.Пасечников, М.О.Темиржанов, Е.М. Мещерин // Сб.науч.тр. ВИМ. -М., - 1982. -Т.91. -С.126-143.
50. Петухов, Р.М. Методика экономической оценки износа и сроков службы машин / Р.М. Петухов. - М.: Экономика, - 1965. - 161 с.
51. Полузков, Н.П. Текущий ремонт и надежность машины / Н.П. Полузков // Надежность и контроль качества. -1982. -№ 6. -С.12-15.
52. Рабинович, А.Ш. Техничко-экономические критерии и оптимизация ресурсов машин / А.Ш.Рабинович, А.А. Шаровский // Надежность и контроль качества. - 1977. - №7. С.10-17.
53. Сафонов, В.А. Изменение показателей технического состояния сопряжений трансмиссии / В.А. Сафонов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. - 1979. - № 4. - С. 12-14.
54. Севернев, М.М. Работоспособность и сохранность сельскохозяйственной техники / М.М.Севернев, Г.П.Капшур, Н.Н. Полекарев и др. - Минск: Урожай, - 1980. -191с.
55. Соломкин, А.П. Трактору К-700 - Централизованное техническое обслуживание / А.П. Соломкин // Техника в сельском хозяйстве. -1975. -№ 3. -С.59-61.
56. Таблицы показателей для определения надежности элементов, вида и срока ремонта машин по результатам диагностирования. - М.: ГОСНИТИ, - 1980. - 394 с.
57. Топилин, Г.Е. Работоспособность тракторов. / Г.Е.Топилин, В.М. Забродский.- М.: «Колос», - 1984. - 303 с.

58. Улитовский, Б.А. Диагностирование сельскохозяйственной техники: Учеб. пособ. для фак-тов повыш. квалиф. руковод. Кадров колхозов и совхозов и спец. сел. хоз-ва / Б.А. Улитовский. – М.: Агропромиздат, - 1985. – 65 с.

59. Ульман, И.Е. Инструкция по агрегатному методу ремонта и устранению отказов зерноуборочных комбайнов / И.Е. Ульман. – Челябинск, - 1975. – 40 с.

60. Ульман, И.Е. Основные направления развития службы ТО и ремонта МТП в сельском хозяйстве / И.Е. Ульман //Совершенствование методов организации ремонта МТП. –М.: Союзсельхозтехника, - 1975. –С. 23-29.

61. Ульман, И.Е. Основы агрегатного метода ремонта машин / И.Е. Ульман. // Сб. науч. тр. ГОСНИТИ. – М., - 1972. – Т. 34. С. 3-29.

62. Ульман И.Е. Ремонт машин / И.Е. Ульман – М.: Колос, - 1977. – 448 с.

63. Фельцке, В.И. Организация специализированного ремонта узлов индустриальным методом и организация снабжения сельского хозяйства ГДР отремонтированными агрегатами / В.И. Фельцке //Совершенствование методов организации ремонта и ТО МТП: Сб. науч. тр. /ГОСНИТИ. –М., -1975. – Ч. 1. –С. 62-67.

64. Халфин, М.А. Повышение эксплуатационной и ремонтной технологичности сельскохозяйственных тракторов: Автореф. Дис. ... д-ра техн.наук / М.А. Халфин – Л. – Пушкин, - 1987. – 32с.

65. Хусаинов Р.К. Повышение эффективности использования тракторов в АПК путем обоснования расхода ресурса их систем с учетом условий функционирования: Дис. ... к-та техн. наук / Р.К.Хусаинов – Рукопись. – Казань, - 2016. – 198 с.

66. Черепанов, С.С. Основные проблемы исследований по управлению работоспособностью машин / С.С. Черепанов //Исследование динамики со-

стояния и способов управления работоспособностью машин. –М., ГОСНИТИ. - 1976. –С. 3-12.

67. Черепанов, С.С. Совершенствовать организацию ремонта и технического обслуживания машин / С.С. Черепанов // Механиз. и электриф. сел. хоз-ва. – 1971. - № 3. –С.51-53.

68. Черноиванов, В.И. Концепция развития технического сервиса в АПК России на период до 2010 года / В.И.Черноиванов, А.Э.Северный, В.П.Лялякин, В.М.Михлин, и др. -М.: ФГНУ «Росинформагротех», - 2004.- 200с.

69. Черноиванов, В.И.. Научные основы технической эксплуатации с.-х. машин / В.И.Черноиванов, С.С.Черепанов, В.М. Михлин и др.- М.: ГОСНИТИ, - 1996. -360с.

70. Taylor, I.S. A statistical theory of depreciation/ I.S. Taylor // The journal of American Statistical Association, December, - 1923.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица 1 - Исходная информация для расчета ремонтных наработок основных отечественных тракторов [42]

Показатели	Единица измерения	Значения показателей
		MTЗ-80,82
Удельные затраты на техническое обслуживание	руб/м.ч	24,6
Средняя продолжительность устранения последствий отказа	ч	30
Издержки вследствие одного часа простоя по техническим причинам (в ценах 2017 г)	р/ч	500
Средняя стоимость устранения последствий отказов (в ценах 2017 г)	р	1500
Номинальный объем прорывающихся газов в кар-	л/мин	28

тер двигателя		
Предельно- допустимый объем прорывающихся газов в картер двигателя	л/мин	68

Таблица 2 – Изменение состояния двигателя трактора, рассчитанные и фактические значения количества отказов за наработку в 1000 м.ч.

№ опыта	Остаточный ресурс, м.ч.		Фактическое количество отказов по группам сложности	Расчетные значения количества отказов по группам сложности	Годовая наработка трактора, м.ч.
	начало	конец			
1.	3408	2098	2	1,515	1310
2.	2718	1528	2	1,709	1190
3.	3252	2074	3	2,670	1178
4.	2388	1352	3	2,881	1036
5.	3138	1996	4	0,934	1142
6.	3372	2100	3	2,754	1272
7.	1788	890	2	2,550	898
8.	1770	820	4	2,996	950
9.	2364	1194	1	0,558	1170
10.	948	152	2	2,637	796

11.	3072	1972	1	0,753	1100
12.	2772	1612	3	2,660	1160
13.	2550	1555	3	2,825	995
14.	2988	1788	2	1,678	1200
15.	4710	3510	2	1,642	1200
16.	3408	2098	4	3,998	1310
17.	2718	1528	5	4,005	1190
18.	3252	2074	4	3,831	1178
19.	2388	1352	6	5,415	1036
20.	3138	1996	2	1,689	1142
21.	3372	2100	2	1,743	1272
22.	1788	890	4	3,788	898
23.	1770	820	2	1,703	950
24.	2364	1194	1	0,493	1170

Приложение 2

Описание вычислений и программа управления
работоспособностью тракторов

Разработана программа (язык БЕЙСИК) управления работоспособностью тракторов. Планирование технического обслуживания и определение материально - технической базы ТО осуществляется операторами 5 - 830, расчет показателей обеспечения работоспособности с учетом условий функционирования тракторов и их состояния проводятся операторами 831- 1190, опре-

деление оптимальных значений ремонтных наработок и наработки до списания с учетом условий функционирования и одновременности затрат осуществляется операторами 1210 - 1610.

Таблица 1-Основные обозначения в программе и их соответствие обозначениям.

Обозначения	
В формуле	В программе
$C_{то}$	C2
$C_{вр}$	C3
T_{λ}	T1
T_{μ}	T2
T_c	T3
$Y(T_{\lambda})$	Y1
$Y(T_{\mu})$	Y2
$Y(T_c)$	Y3

5REM Программа управления работоспособностью тракторов

10 INPUT "Ввести количество тракторов в хозяйстве"; O

15 DIM A1(O), Z1(O), Z2(O), Z3(O), Z4(O), Z5(O), Z6(O)

16 DIM L1(O), L2(O), L3(O), L4(O), L5(O), L6(O), A2(O), A3(O)

20 C2 = 0: Y4 = 0

21 i = 0: Z = 2: Z9 = 2

22 X2 = 0: D2 = 7

23 i = 1

30 REM Планирование технического обслуживания

35 INPUT " Выбрать 1-Расч.кол-во ТО и рем.,2-расч.материальной базы"; Y6

38 INPUT " Выбрать периодичность ТО-1 1-60м.ч, 2-125 м.ч"; X8

40 IF Y6 = 1 GOTO 48

INPUT "Ввести расстояние пробега АТО за расч. период, км (30)-"; L

```

INPUT "Ввести скорость движения АТО, км/ч (40)-"; V
INPUT "Ввести объем цистерны МЗ, м3 (1800)-"; V2
INPUT "Ввести начальный месяц расчетного периода М1 (5)-"; M1
INPUT "Ввести конечный месяц расчетного периода М2 (10)-"; M2
INPUT "Ввести коэф. долевого учас. мастера-налад. (0.5)-"; D
INPUT "Ввести число рабочих дней масера-наладчика (180)-"; D1
INPUT "Ввести коэффицент сменности (1.5)-"; D3
INPUT "Ввести коэф. использ. времени смены (0.8)-"; D4
IF L = 0 THEN L = 30: IF V = 0 THEN V = 40: IF V2 = 0 THEN V2 = 1800
IF M1 = 0 THEN M1 = 5: IF M2 = 0 THEN M2 = 10: IF D = 0 THEN D = .5
IF D1 = 0 THEN D1 = 180: IF D3 = 0 THEN D3 = 1.5: IF D4 = 0 THEN D4 = .8
47 IF Y6 = 2 GOTO 50
48 A1(i) = 1
INPUT "Ввести расход топлива от последнего КР -"; A2(i)
INPUT "Ввести расход топлива на плановый период -"; A3(i)
INPUT "Ввести периодичность ТО-1 в литрах (кг) -"; T1
49 GOTO 53
50 INPUT "Ввести расход топлива от последнего КР -"; A2(i)
INPUT "Ввести расход топлива на плановый период -"; A3(i)
INPUT "Ввести периодичность ТО-1 в литрах (кг) -"; T1
INPUT "Ввести трудоемкости ТО-1, ТО-2, ТО-3, СТО -"; B1, B2, B3, C1
A1(i) = 1
53 IF Z9 = 2 GOTO 60
55 A1(i) = 1
INPUT "Ввести расход топлива от последнего КР -"; A2(i)
INPUT "Ввести расход топлива на плановый период -"; A3(i)
60 C2 = C2 + A3(i)
75 IF X8 = 2 GOTO 84
80 T2 = T1 * 4: T3 = T2 * 4: T4 = T3 * 2: T5 = T4 * 3

```

```

82 GOTO 85
84 T2 = T1 * 4: T3 = T2 * 2: T4 = T3 * 2: T5 = T4 * 3
85 N1 = 0: N2 = 0: N3 = 0: N4 = 0: N5 = 0: N6 = 0
87 F1 = 0: F2 = 0: F3 = 0: F4 = 0: F5 = 0
90 N6 = 2
100 L6(i) = N6 * A1(i)
120 IF Z = 1 GOTO 245
132 IF Z9 = 1 GOTO 245
134 IF Y6 = 1 GOTO 245
140 PRINT
160 PRINT "    Расстояние пробега АТО, км    -"; L
170 PRINT "    Скорость АТО, км/ч          -"; V
180 PRINT "    Коэффициент сменности АТО    -"; D3
190 PRINT "    Напряженные месяцы          -"; M1; "-"; M2
195 GOTO 245
200 PRINT
205 PRINT "-----"
210 PRINT "    !    Марка      !    Кол-во !    Расход топлива"
215 PRINT "    N !    трактора    !тракторов!-----"
220 PRINT "п/п!           !    ! от посл. КР !    на план."
225 PRINT "-----"
230 FOR J = 1 TO O
240 PRINT " "; J; " _____"; TAB(25); A1(J); TAB(35); A2(J);
242 PRINT TAB(50); A3(J): NEXT J
243 RETURN
245 X2 = X2 + A1(i)
250 Y1 = A3(i) + A2(i)
260 IF Y1 >= T5 THEN N5 = Y1 / T5
265 N5 = INT(N5)

```

```

270 IF Y1 >= T4 THEN N4 = Y1 / T4 - N5
275 N4 = INT(N4)
280 IF Y1 >= T3 THEN N3 = Y1 / T3 - N5 - N4
285 N3 = INT(N3)
290 IF Y1 >= T2 THEN N2 = Y1 / T2 - N5 - N4 - N3
295 N2 = INT(N2)
300 IF Y1 >= T1 THEN N1 = Y1 / T1 - N5 - N4 - N3 - N2
305 N1 = INT(N1)
310 IF A2(i) >= T5 THEN F5 = A2(i) / T5: F5 = INT(F5) \ N5 = N5 - F5
311 L5(i) = N5 * A1(i)
320 IF A2(i) >= T4 THEN F4 = A2(i) / T4 - F5: F4 = INT(F4): N4 = N4 - F4
321 L4(i) = N4 * A1(i)
330 IF A2(i) >= T3 THEN F3 = A2(i) / T3 - F5 - F4: F3 = INT(F3): N3 = N3 - F3
331 L3(i) = N3 * A1(i)
340 IF A2(i) >= T2 THEN F2 = A2(i) / T2 - F5 - F4 - F3: F2 = INT(F2): N2 = N2
- F2
341 L2(i) = N2 * A1(i)
350 IF A2(i) >= T1 THEN F1 = A2(i) / T1 - F5 - F4 - F3 - F2: F1 = INT(F1): N1 =
N1 - F1
351 L1(i) = N1 * A1(i)
355 Y4 = Y4 + N1 + N2 + N3 + N6
357 IF Y6 = 1 GOTO 376
360 Z1(i) = B1 * L1(i): Z2(i) = B2 * L2(i): Z3(i) = B3 * L3(i)
370 Z6(i) = C1 * L6(i): Z5(i) = .1 * (Z1(i) + Z2(i) + Z3(i) + Z6(i))
375 Z4(i) = 10 * Z5(i) + Z5(i)
376 PRINT " В вашем хозяйстве еще есть тракторы данной марки 1-ДА,2-
НЕТ"
377 INPUT Z9
378 IF Z9 = 1 THEN i = i + 1: GOTO 55

```

```

380 PRINT " В вашем хозяйстве еще есть тракторы 1-ДА,2-НЕТ": INPUT Z
381 IF Y6 = 1 GOTO 385
382 IF Z = 1 THEN i = i + 1: GOTO 50
383 GOTO 386
385 IF Z = 1 THEN i = i + 1: GOTO 48
386 W1 = 0: Y1 = 0: Y2 = 0
387 FOR J = 1 TO i: Y2 = Y2 + L1(J): Y3 = Y3 + A1(J): W1 = W1 + Z4(J)
388 NEXT J
390 IF Y6 = 1 GOTO 395
391 W3 = W1 / (M2 - M1 + 1)
393 S = W3 * D / (D1 * D2 * D3 * D4)
395 GOSUB 200
400 PRINT
410 PRINT " _____"
420 PRINT "      ! Расчетное количество технического обслуживания"
430 PRINT "N п/п !-----"
440 PRINT "      ! TO-1 !   TO-2 !   TO-3 !   СТО !   ТР   !   КР"
450 PRINT " -----"
460 FOR J = 1 TO i
470 PRINT TAB(3); J; TAB(10); L1(J); TAB(18); L2(J); TAB(25); L3(J);
472 PRINT TAB(34); L6(J); TAB(42); L4(J); TAB(50); L5(J)
480 NEXT J
485 IF Y6 = 1 GOTO 840
490 PRINT
500 PRINT
510 PRINT" _____"
520 PRINT "      !      Трудоемкость технического обслуживания"
530 PRINT "N п/п!-----"
540 PRINT "      ! TO-1 ! TO-2 ! TO-3 ! СТО ! ТУ ! ИОГО  "

```

```

550 PRINT " ----- "
560 FOR J = 1 TO i
570 PRINT TAB(3); J; TAB(7); Z1(J); TAB(16); Z2(J); TAB(26); Z3(J);
572 PRINT TAB(35); Z6(J); TAB(42); Z5(J); TAB(50); Z4(J)
580 NEXT J
590 PRINT "-----"
600 PRINT "      Расчетное количество мастеров наладчиков -"; S
601 S = S + .99: S = INT(S)
605 Z4(J) = Z5(J)
610 FOR J = 1 TO i: L1(J) = Z1(J) / S: L2(J) = Z2(J) / S
615 L3(J) = Z3(J) / S: L4(J) = Z4(J) / S
620 L5(J) = L1(J) + L2(J) + L3(J) + L4(J): NEXT J
630 PRINT
640 PRINT "-----"
650 PRINT "      ! Время необходимое для проведения ТО"
660 PRINT " N п/п !-----"
670 PRINT "      ! TO-1 ! TO-2 ! TO-3 ! СТО ! Итого      "
680 PRINT "-----"
690 L6 = 0
700 FOR J = 1 TO i
710 PRINT TAB(3); J; TAB(9); L1(J); TAB(19); L2(J); TAB(28); L3(J);
715 PRINT TAB(37); L4(J); TAB(47); L5(J)
720 L6 = L6 + L5(J)
730 NEXT J
740 P = L / V: P1 = D1 * D2 * D3 * D4: P3 = (L6 + P) / P1
745 P3 = P3 + .99: P3 = INT(P3)
750 C3 = C2 / ((M2 - M1 + 1) * D1)
755 K = C3 / (V2 * .95 * 85): K = K + .99: K = INT(K)
760 PRINT

```

```

780 PRINT "      Трудоемкость ТО          -"; W1
785 PRINT "      Количество техобслуживаний      -"; Y4
800 PRINT "      Количество тракторов в хозяйстве -"; X2
810 PRINT "      Количество мастеров наладчиков  -"; S
820 PRINT "      Количество АТО                  -"; P3
830 PRINT "      Количество МЗ                   -"; K
835 FOR i=1 TO O
840 REM  Годовая наработка трактора
850 W(i)=516.1*Y-114.36-2589.4*Y^2
T1=W(i)/KY
860 REM  Определение количества отказов по группам сложности
870 OD1(i)=T1*(1.516*10^-3*YD(i)^0.491-8.74*10^-4)
880 OD2(i)=T1*(1/(374+2105*YD(i)))
890 OD3(i)=T1*(1.98*10^-5+2.19*10^-4/YD(i))
890 OT1(i)=T1*(2.42*10^-4+7.82*10^-5*YT(i)^-2.91)
900 OT2(i)=T1*(2.5*10^-4+4.34*10^-5*YT(i)^-2.261)
910 OT3(i)=T1*(2.45*10^-4+3.09*10^-5*YT(i)^-2.351)
920 OE1(i)=T1*(1.97*10^-4+3.16*10^-6*YE(i)^-3.441)
930 OE2(i)=T1*(1.909*10^-3-5.0099*10^-3*YE(i)+4.5*10^-3*YE^2)
940 OG1(i)=T1*(1.59*10^-4+3.32*10^-5*YG(i)^-2.141)
950 OG2(i)=T1*(7.58*10^-4+1.435*10^-3*YG(i)+7.5*10^-4*YG(i)^2)
960 OX1(i)=T1*(1.57*10^-4+2.19*10^-5*YX(i)^-2.151)
970 OX2(i)=T1*(1.108*10^-4+3.96*10^-5*YX(i)^-1.491)
980 O1(i)=OD1(i)+OT1(i)+OE1(i)+OG1(i)+OX1(i)
990 O2(i)=OD2(i)+OT2(i)+OE2(i)+OG2(i)+OX2(i)
1000 O3(i)=OD3(i)+OT3(i)
1010 REM  Затраты на устранение отказов
1020 ZO1(i)= O1(i)*ZZ1:ZO2(i)=O2(i)*ZZ2:ZO3(i)=O3(i)*ZZ3
1025 IF K10=1 THEN RETURN

```

```

1030 REM Трудоемкость устранения отказов
1040 TO1(i)=O1(i)*OO1:TO2(i)=O2(i)*OO2:TO3(i)=O3(i)*OO3
1050 REM Время на устранение отказов
1060 TU(i)=TO1(i)+TO2(i)+TO3(i)
TU1(i)=TU(i)+L5(i)
1070 NEXT i
1080 LPRINT " Расчетные показатели обеспечения работоспособности тр-ов"
1090 LPRINT " _____ "
1100 LPRINT " Показатели! Хозяйственные номера тракторов "
1110 LPRINT " ! _____ "
1120 FOR i=1 TO O: LPRINTTAB(14) I1(i);
NEXT i
1140 LPRINT "Уровень ТЭТ!": FOR i=1 TO O: LPRINTTAB(14) Y;
NEXT i
1150 LPRINT "Уровень раб. !": FOR i=1 TO O: LPRINTTAB(14) Y1(i);
NEXT i
1160 LPRINT "Год. наработ. !": FOR i=1 TO O: LPRINTTAB(14) W(i);
NEXT i
1170 LPRINT "Время на устр!"
LPRINT "послед. отказ!": FOR i=1 TO O: LPRINTTAB(14) TU(i);
NEXT i
1180 LPRINT "Трудоемкость!"
LPRINT "пров. ТО !": FOR i=1 TO O: LPRINTTAB(14) Z4(i);
NEXT i
LPRINT" в том числе !"
LPRINT" TO-1 !": FOR i=1 TO O: LPRINTTAB(14) L1(i);
NEXT i
LPRINT" TO-2 !": FOR i=1 TO O: LPRINTTAB(14) L2(i);
NEXT i

```

```

LPRINT"      TO-3      !": FOR i=1 TO O: LPRINTTAB(14) L3(i);
NEXT i
1190 LPRINT "Трудоемкость устранения отказов по гр. сложности, чел.ч"
LPRINT"      I      !": FOR i=1 TO O: LPRINTTAB(14) TO1(i);
NEXT i
LPRINT"      II     !": FOR i=1 TO O: LPRINTTAB(14) TO2(i);
NEXT i
LPRINT"      III    !": FOR i=1 TO O: LPRINTTAB(14) TO3(i);
NEXT i
1200 LPRINT "Трудоемкость!"
LPRINT "рем. обслуж.!"
LPRINT "воздействий !": FOR i=1 TO O: LPRINTTAB(14) TU1(i);
NEXT i
1210 REM Оптимизация сроков ремонта и службы тракторов с
REM учетом условий их функционирования, исходного состояния
REM и разновременности затрат
1220 PRINT "Ввести стоимость кап. ремонта трактора Cк=": INPUT c2
1230 PRINT "Ввести коэффициент народ. хоз-го эффекта E=": INPUT e
1240 PRINT "Ввести удельную стоимость ТО Cт=": INPUT c3
1250 PRINT "Ввести шаг изменения наработки B1=": INPUT b1
1260 PRINT "Ввести конечные показатели периодов T7, T8, T9"
INPUT T7, T8, T9: K10=1
1265 K=1/(1-E)
1275 W=516.1*Y-114.36-2589.4*Y^2
1280 FOR J=1 TO O
1290 FOR T1=100 TO T7 STEP B1: T=T1/W
1330 ZO=ZO1(J)+ZO2(J)+ZO3(J): S1=(0.999+0.001*Y^-1.2)*ZO*K^(T1/T-1)
1340 S2=C2* K^(T1/T-1): S3=C3* K^(T1/T-1)
1350 YD=(S1+S2+S3)/T1

```

```

1360 IF YD1>YD GOTO 1366
1364 IF YD1<YD GOTO 1370
1366 YD1(J)=YD: NEXT T1
1370 FOR T2=T1 TO T8 STEP B1: T=T2/W
1410 S1=(0.966+0.0337*Y^8)*ZO*K^(T2/T-1)
1420 S2=C2* K^((T2-T1)/T-1): S3=C3* K^(T2/T-1)
1430 YM=(S1+S2+S3)/T2
1435 IF YM1>YM GOTO 1445
1440 IF YM1<YM GOTO 1450
1445 YM1(J)=YM: NEXT T2
1450 FOR T3=T2 TO T9 STEP B1: T=T3/W
1490 S1=(0.966+0.0337*Y^8)*ZO*K^(T3/T-1)
1500 S2=C2* K^((T3-T2)/T-1): S3=C3* K^(T3/T-1)
1510 YC=(S1+S2+S3)/T2
1515 IF YC1>YC GOTO 1525
1520 IF YC1<YC GOTO 1530
1525 YC1(J)=YC: NEXT T3: NEXT J
1530 LPRINT" Оптимальные значения наработок "
1560 LPRINT" доремонтная !": FOR J=1 TO O: LPRINTTAB(14) TD1(J);
NEXT J
1570 LPRINT" межремонтная !": FOR J=1 TO O: LPRINTTAB(14) TM1(J);
NEXT J
1580 LPRINT" до списания ! ": FOR J=1 TO O: LPRINTTAB(14) TC1(J);
NEXT J
1610 END

```