

ровании которых принимает участие подвеска колес МА (связи пп. 3 и 4 схемы областей создания). В этих же методиках могут воспроизводиться критические ситуации для оценки безопасности МА. В наиболее общем плане для оценки эффективности использования МА с СА может использоваться расчетная методика подвижности МА [4] с критерием подвижности – технически достижимой средней скорости движения по принятому маршруту с ограничениями скорости движения по техническим возможностям МА.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований разработаны основные положения методики применения обобщенного функционального подхода, позволяющие обеспечить системность и последовательность в постановке и решении задач построения управления подвеской колес МА, включающие: структуру областей построения управления; классификацию управления подвеской колес МА; цели создания, характеристики функционирования и функциональную структуру САУПК.

Литература

1. Стариков А.Ф., Корнилов В.Г., Пархоменко А.Н., Бронников В.В., Демик В.В. Функции систем автоматизированного управления агрегатами автомобилей// Журнал "Автотранспортное электрооборудование", - 2002, № 5-6, с. 14 -17.
2. Пат. 2160189 Российская Федерация, МПК7 В 60 G 17/04, 11/26. Гидропневматическая подвеска транспортного средства/ Лимонов В.Н., Пархоменко А.Н.; заявитель и патентообладатель г. Рязань, Военный автомобильный институт, НИО. - № 99115076/28 заявл. 10.07.1999; опубл. 10.12. 2000, Бюл. № 34. – 5 с.: ил.
3. Поскачей А.П., Пархоменко А.Н., Демик В.В. Системы автоматизации для многоосных автомобилей// Журнал "Автотранспортное предприятие, - 2008 г., № 8, с. 47-50.
4. Пархоменко А.Н. Основные принципы расчетной методики оценки подвижности многоосных колесных машин// Международная научно-техническая конференция "100 лет российскому автомобилю. Промышленность и высшая школа". Тезисы докладов секции "Автомобиле- и тракторостроение", 26—28 ноября 1996 г., Россия, Москва, МАМИ, с. 71-72.

Оценка безотказности тракторов на основе рекламационных данных с использованием дополнительной информации

Петухов А.О.

ОАО «НАТИ»

alexsey_petuhov@mail.ru

Ключевые слова: надежность трактора, оценка безотказности тракторов.

Наиболее полные исследования безотказности отечественных (СНГ) и зарубежных сельскохозяйственных тракторов за последнее время были проведены специалистами ОАО «НАТИ» совместно с машиноиспытательными станциями и специалистами Минсельхоза РФ (результаты этих исследований приведены в работе [1]). Как показали эти исследования, безотказность даже лучших (по этим показателям) из представленных на рынке РФ тракторов Минского тракторного завода ниже показателей лучших моделей тракторов ведущих зарубежных фирм в 1,5-3,0 раза. Тракторы, выпускаемые большинством заводов России, имеют еще более низкие показатели безотказности в начальный период эксплуатации. Таким образом, для обеспечения конкурентоспособности отечественных тракторов на внутреннем рынке требуется значительное повышение их надежности. Поэтому разработка и реализация конструкторских и технологических мероприятий по повышению надежности выпускаемых машин должны стать одним из важнейших элементов инновационной политики отечественных тракторных заводов.

Разработка и реализация таких мероприятий, а также оценка их эффективности, очевидно, невозможны без наличия достаточно полной и достоверной информации о надежности.

В связи с высокими затратами на целенаправленный сбор информации о надежности, на большинстве тракторных заводов России в настоящее время практически единственным источником информации о безотказности выпускаемой техники являются материалы рекламаций. Характерная особенность такой информации заключается в том, что известны только наработки до произошедших отказов. Наработки тракторов с моментов последних из зафиксированных по каждому трактору отказов и до момента проведения оценки безотказности (или до конца гарантийного срока) остаются неизвестными. Таким образом, неизвестен и интервал наработок, в пределах которого возникали зафиксированные отказы.

Данные о наработках тракторов, по которым рекламации не предъявлялись, также неизвестны, при этом если по ряду тракторов рекламации отсутствуют в связи с тем, что отказы за некоторую наработку еще не происходили, то по другим тракторам, возможно, имевшим отказы, рекламации могли просто не предъявляться по тем или иным причинам. Истинные причины отсутствия рекламаций в большинстве случаев неизвестны.

Кроме того, на любой момент времени данные об отказах имеются по тракторам с разной наработкой: например, по тракторам, введенным в эксплуатацию в предшествующем оценке квартале - за наработку, близкую к «среднеквартальной», а по тракторам, введенным в эксплуатацию около года назад - близкую к «среднегодовой». Таким образом, материалы рекламаций всегда представляют собой цензурированные данные. Это также затрудняет расчеты, поскольку интенсивность отказов в гарантийный период, как правило, заметно изменяется по наработке трактора в связи с постепенным «выжиганием» производственных дефектов.

В то же время данные рекламаций представляют собой большой массив сведений о безотказности, получаемых в реальных условиях эксплуатации практически без каких-либо дополнительных усилий (и затрат) со стороны завода (за исключением четкой организации гарантийного обслуживания и ремонта, что и так необходимо). Возможность (и необходимость!) использования этих данных для анализа номенклатуры «ранних» отказов и разработки на этой основе мероприятий по повышению надежности сомнений не вызывает. Однако возникает естественное желание получить на основе материалов рекламаций некоторые количественные оценки фактического уровня безотказности, например, определить численное значение включенного в ТУ показателя безотказности - средней наработки на сложный отказ (хотя бы в условиях реальной эксплуатации) за некоторую контрольную наработку, в большинстве случаев совпадающую со средней наработкой за гарантийный период. Такие оценки, очевидно, необходимы для мониторинга динамики повышения безотказности и анализа эффективности разработанных и реализованных мероприятий.

Сейчас для расчета средней наработки на отказ при обработке материалов испытаний или наблюдений используют непараметрический метод, регламентированный в отраслевом стандарте [2]. Для расчета средней наработки на отказ этим, ставшим традиционным, методом по каждому трактору должен быть известен интервал наработок, в пределах которого возникали отказы.

Применительно к материалам рекламаций известна необходимая для использования традиционного метода расчета нижняя граница интервала наблюдений - это наработка на момент ввода трактора в эксплуатацию (близкая к нулю). Однако не известна верхняя граница - наработка трактора на момент проведения оценки (или на конец гарантийного периода), различная, как отмечено выше, для тракторов, введенных в эксплуатацию в разные моменты времени относительно момента проведения оценки, и не совпадающая с наработкой до момента последнего из зафиксированных отказов. Известно лишь то, что с момента последнего зафиксированного отказа и до момента проведения оценки (или до окончания гарантийного периода) отказов не было (рекламации не предъявлялись). Таким образом, имеются неизвестные из материалов рекламаций интервалы безотказной наработки тракторов с момента последних зафиксированных по ним отказов.

Отсутствие данных по этим интервалам безотказной наработки является серьезным препятствием для получения корректных оценок безотказности традиционным методом. Попытки ряда специалистов игнорировать это обстоятельство и использовать при обработке материалов рекламаций в качестве верхней границы интервала наблюдений наработку до последнего отказа, зафиксированного по данному трактору, очевидно, приводят к занижению численных значений рассчитанных показателей безотказности. Более того, как показали наши исследования [3], при этом искажается и характер зависимости интенсивности отказов от наработки трактора.

Оценки величины и характера искажений, возникающих при таком методе обработки данных о рекламациях, были получены на основе специальных исследований с использованием результатов эксплуатационных наблюдений за с.-х. тракторами нескольких моделей выпуска 2004—2006 гг. Эти исходные данные были специально трансформированы исходя из целей проводимого исследования. Так, использовались данные только по тракторам с общей наработкой до 1200 моточасов, т. е. с наработками, соизмеримыми со средней наработкой тракторов за гарантийный период. Далее из фактических данных по каждой модели тракторов были удалены наработки до вторых (и последующих) сложных отказов, а наработки на конец интервала наблюдения условно приняты равными известным наработкам тракторов до второго (также сложного) отказа.

Таким образом, были сформированы выборки, в которых каждый из тракторов имел один отказ за определенный «интервал наблюдений», при этом величина безотказной наработки трактора после этого отказа соответствовала реальным данным. В выборках, естественно, были сохранены тракторы, проработавшие в течение тех или иных интервалов наблюдений без отказов. Сформированные таким образом выборки рассматривались как соответствующие результатам наблюдений (испытаний) и содержали данные по достаточному числу тракторов каждой из моделей (от 20 до 40, а по одной из моделей — по 90 машинам).

Для имитации выборок, получаемых на основе материалов рекламаций, из сформированных выборок исключены тракторы, не имевшие отказов за период наблюдений, а наработки на конец интервала наблюдения приняты равными наработкам до первого (и единственного!) отказа.

В качестве примера на рисунке 1 приведены результаты расчетов средней наработки на сложный отказ T_0 (для разных наработок) по одной из моделей отечественных (СНГ) тракторов для сравниваемых вариантов расчета: традиционного ("наблюдения") и имитирующего обработку материалов рекламаций описанным выше способом ("рекламации"). Указаны также верхние и нижние доверительные границы для традиционного метода определения T_0 (для соответствующих наработок), рассчитанные при доверительной вероятности 0,8 (двухсторонние границы).

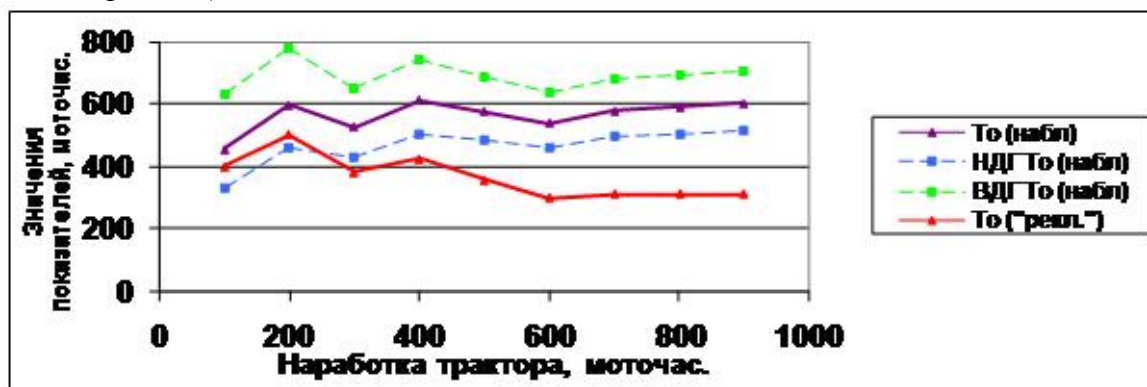


Рисунок 1 - Средняя наработка на сложный отказ (и ее доверительные границы) за различную общую наработку трактора, рассчитанные традиционным методом (наблюдения) и методом, имитирующим обработку материалов рекламаций

Для расчетов использовался разработанный в НАТИ автоматизированный программный модуль, реализующий (средствами Excel) традиционный метод расчета средней наработки на отказ и подробно описанный в работе [4].

Как видно из рисунка 1, данный метод обработки материалов рекламаций существенно искажает оценки безотказности: для интервала наработки трактора, характеризующегося примерным постоянством интенсивности отказов, они отличаются от "истинных" примерно вдвое в сторону занижения и выходят за нижнюю доверительную границу для "истинного" значения показателя.

Результаты, аналогичные приведенным на рисунке 1, были получены и по другим моделям тракторов. Таким образом, подтверждается, что этот метод не может быть рекомендован для использования.

В целях поиска корректных методов оценки безотказности на основе обработки материалов рекламаций была рассмотрена возможность использования другого стандартизованного показателя безотказности – средней наработки до первого отказа. При этом учитывали, что за сравнительно небольшие гарантийные периоды (1 год) только в редких случаях возникает более двух сложных отказов одного и того же трактора (и, следовательно, рекламаций по этой машине). При проведении оперативной оценки безотказности, например, за "квартальную" наработку, значительная часть тракторов имеет не более одного отказа.

Для проведения сравнительных расчетов использовались описанные выше трансформированные исходные данные по тракторам с общей наработкой до 1200 моточасов (с удаленными наработками до вторых и последующих отказов). В соответствии с традиционными методами обработки цензурированных выборок, для расчета средних наработок до первого отказа использовались фактические данные о наработках до зафиксированных первых отказов. Тракторы, не имевшие отказов за период наблюдений, рассматривались как "приостановленные" при наработках, соответствующих концу интервалов наблюдений. Подготовленные таким образом исходные данные рассматривались как соответствующие результатам наблюдений (испытаний). Для имитации сведений о рекламациях из полученных указанным методом данных были исключены наработки до приостановок (т.е. данные о тракторах, не имевших отказов).

Для расчета параметров законов распределения наработок до первого отказа был использован предложенный в работе [5] вариант метода обратных рангов (Нельсона) для сгруппированных данных. Учитывая накопленный в НАТИ многолетний опыт, для аппроксимации реальных статистических распределений использовалось распределение Вейбулла (без смещения). В целях автоматизации расчетов был разработан специальный программный модуль (средствами EXCEL), предназначенный для обработки как полных, так и цензурированных выборок. Этот модуль был максимально унифицирован с разработанным ранее в НАТИ программным модулем для обработки несгруппированных данных (методом Нельсона), описанным в работе [4].

Параметры закона распределения наработок до отказа определялись для двух вариантов расчетов: с учетом не отказавших («приостановленных») тракторов (по материалам наблюдений) μ и без их учета (имитация материалов рекламаций) μ^* . Полученные результаты в абсолютных величинах представлены в таблице 1. На рисунке 2 те же данные представлены в относительных величинах – в долях от «истинных» значений μ , рассчитанных по параметрам закона распределения для каждой из моделей тракторов.

Как видно из приведенных данных, и в случае использования средней наработки до первого отказа, определяемой по параметрам закона распределения, оценки безотказности по материалам рекламаций оказываются заметно (от 17 до 35%) ниже, чем «истинные» величины для рассматриваемых моделей тракторов.

Сравнение результатов расчетов средней наработки до отказа по параметрам закона распределения при учете безотказно проработавших тракторов и без их учета

Модель трактора	Значения показателей при учете отказов и приостановок, моточас.			Средняя наработка до отказа μ^* при учете только отказов, моточас.	Соотношение μ^*/μ
	Средняя наработка до отказа μ	Нижняя доверительная граница для μ	Верхняя доверительная граница для μ		
A	554	455	675	455	0,82
B	587	416	827	463	0,79
C	638	357	1140	418	0,65
D	455	301	687	379	0,83
E	551	337	901	396	0,72
F	401	189	852	293	0,73

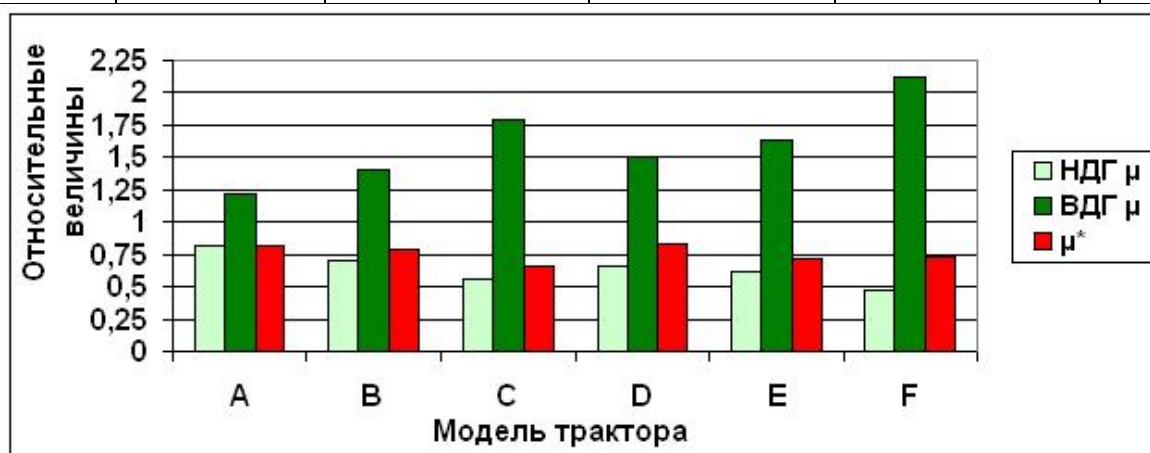


Рисунок 2 - Относительные (в долях от μ) величины нижней и верхней доверительных границ для μ и значения μ^* для различных моделей тракторов

Напомним, что оценки T_0 , полученные непараметрическим методом на основе приравнивания наработки трактора за период наблюдений наработке до последнего отказа, оказываются ниже «истинных» значений примерно в 2 раза и полностью находятся вне доверительного интервала. Рассчитанные же величины μ^* , как видно из рисунка 2, находятся в пределах доверительных границ для «истинного» значения μ , хотя и ближе к нижней доверительной границе. Наблюдается также статистически значимый уровень корреляции между величинами μ^* и μ (по исследованным выборкам).

Для оценки пригодности такого метода оценки безотказности по материалам рекламаций для решения практических задач было проведено моделирование типичной ситуации: в результате реализации мероприятий достигнуто заметное снижение количества самых ранних отказов. Расчеты показали, что величина средней наработки до отказа, рассчитанная по параметрам закона распределения, в ряде случаев оказывается даже ниже, чем для выборки с исходным, более высоким количеством ранних отказов. Такой парадоксальный результат объясняется достаточно просто: при уменьшении количества ранних отказов зависимость интенсивности отказов от наработки трактора в некоторых конкретных случаях становится не снижающейся, а возрастающей функцией, что и отражается на численных значениях параметров закона распределения.

Таким образом, и этот метод обработки материалов рекламаций не позволяет получить правильные результаты.

Отрицательные результаты обусловили дальнейшие поиски метода получения корректных оценок безотказности на основе обработки материалов рекламаций, позволяющего со-

поставить результаты такой оценки с величиной нормированного показателя безотказности – средней наработки на отказ (хотя бы и для условий реальной эксплуатации). Эти поиски привели к необходимости использования дополнительной информации.

Действительно, для получения достаточно корректных оценок средней наработки на отказ традиционным непараметрическим методом необходимо дополнить сведения о наработках до зафиксированных отказов (рекламаций) сведениями об интервалах безотказной наработки каждого из тракторов за период с момента последнего из зафиксированных отказов до момента проведения оценки надежности (или до конца гарантийного периода).

Получение такой информации в принципе возможно при соответствующей постановке задачи перед дилерами: представлять на основе опроса владельцев данные о наработках всех находящихся на гарантии тракторов, например, на начало каждого квартала года. Нами была рассмотрена представленная несколькими дилерами подобная информация по ряду моделей сельскохозяйственных тракторов. Проведенный анализ показал, что при сложившемся достаточно низком уровне организации этих работ, достоверность сведений об общей наработке находящихся на гарантии машин вызывает большие сомнения.

В связи с этим был разработан метод прогнозирования величин интервалов последующей безотказной наработки на основе учета фактических (по конкретному трактору) и, как показали проведенные исследования, усредненных темпов набора наработки тракторами соответствующих марок за определенные календарные периоды эксплуатации (с моментов последних отказов). Для получения соответствующих характеристик необходимо использование содержащейся в материалах рекламаций дополнительной информации: сведений о датах ввода тракторов в эксплуатацию (или датах их продаж), а также о датах возникновения отказов и соответствующих наработках тракторов.

Наиболее просто задача прогнозирования решается в случае примерного постоянства интенсивности использования тракторов по календарным периодам года, что характерно для ряда моделей промышленных тракторов. Для таких случаев можно определить средний темп набора наработки тракторами определенной марки, что иллюстрирует рисунок 3. Как видно, зависимость между наработкой трактора до момента отказа и календарной продолжительностью эксплуатации до момента отказа носит линейный характер. При этом параметр линейной зависимости характеризует средний темп набора наработки, т.е. среднедневную наработку тракторов рассматриваемой модели. Экспериментальные точки имеют существенный разброс относительно линии тренда (величина R^2 , характеризующая «тесноту» регрессионной зависимости, сравнительно невелика).

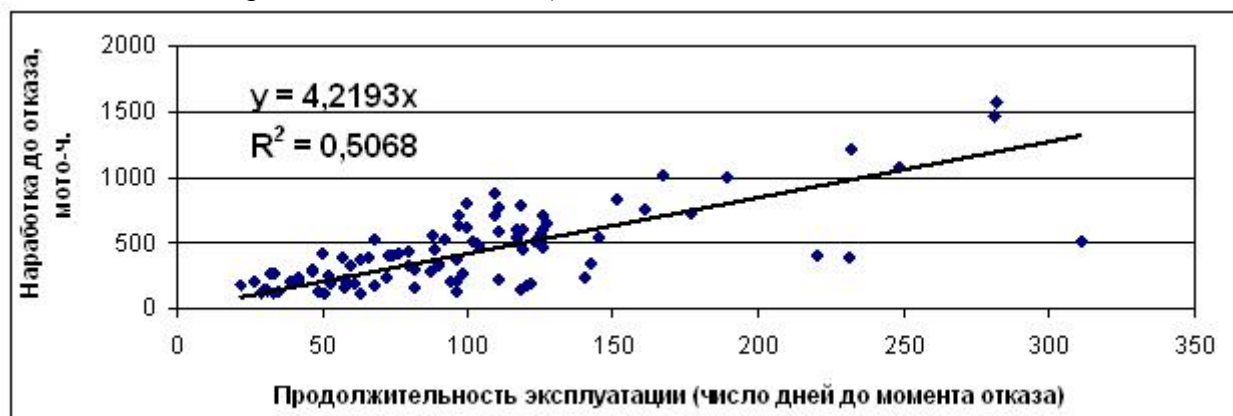


Рисунок 3 - Зависимость между наработкой трактора до момента отказа и календарной продолжительностью эксплуатации.

Анализ совокупности индивидуальных значений среднедневной наработки показал, что статистическое распределение этих величин хорошо аппроксимируется распределением Вейбулла со значениями коэффициента вариации от 0,5 до 0,7. Очевидно, что в данном про-

стейшем случае примерного постоянства интенсивности использования тракторов по календарным периодам года распределение среднегодовых наработок тракторов описывается аналогичным (по величине коэффициента вариации) законом распределения.

Для разработки алгоритма прогнозирования необходимо установить, в какой мере по конкретному трактору сохраняется на последующий период индивидуальный темп набора наработки, определенный на временном интервале до первого отказа. Для ответа на этот вопрос были рассчитаны среднедневные наработки тракторов, по которым зафиксировано 2 (и более) отказов за период с момента первого и до момента второго отказа, фактическая наработка до которого была известна. Далее рассматривалась корреляционная зависимость между расчетными среднедневными наработками одних и тех же тракторов за период до первого отказа и за период между отказами.

Расчеты показали, что коэффициент корреляции между указанными наработками составляет незначительную величину (порядка 0,3). Физически это означает, что темп набора наработки конкретного трактора на последующих временных интервалах весьма слабо зависит от темпа набора наработки на предыдущем временном интервале.

В связи с этим для прогнозирования наработки конкретного трактора с момента последнего отказа и до момента расчета (или окончания гарантийного периода) необходимо использовать алгоритм, в котором при расчете ожидаемой наработки за период прогноза учитывается с весовым коэффициентом ν индивидуальный темп набора наработки за период до последнего отказа и с коэффициентом $(1 - \nu)$ - усредненный (по всему массиву имеющихся данных) темп набора наработки для тракторов данной модели.

Соответствующая расчетная формула для определения наработки трактора L_p за период прогноза Δt (в днях) имеет вид:

$$L_p = (\nu * \tau_u + (1 - \nu) * \tau_{cp}) * \Delta t, \quad (1)$$

где: τ_u и τ_{cp} – среднедневные наработки, характеризующие индивидуальный или усредненный темп набора наработки.

При этом значение ν должно определяться в зависимости от величины горизонта прогноза h , т.е. от того, в каком соотношении находится продолжительность интервала прогнозирования Δt по сравнению с продолжительностью интервала до первого отказа $T_{отк}$:

$$h = \Delta t / T_{отк}. \quad (2)$$

Так, если для рассматриваемой совокупности исходных данных при малых горизонтах прогноза (от 0 до 25% от интервала до первого отказа – «длины реализации»), значение коэффициента ν должно плавно снижаться с 1,0 до 0,6, то для горизонта прогноза, равного 1 (т.е. при прогнозе еще на одну длину реализации) значение ν должно составлять порядка 0,1, и, следовательно, в расчете с весовым коэффициентом 0,9 (1-0,1) должен учитываться усредненный темп набора наработки.

Такие изменения значения весового коэффициента ν могут быть достигнуты путем использования специальной функции экспоненциального вида:

$$\nu = e^{-h/m}, \quad (3)$$

где величина m – масштабный фактор.

Тем самым, для расчета прогнозируемой наработки по существу применяется принцип, аналогичный принципу экспоненциального сглаживания. Величина масштабного фактора m была подобрана эмпирически, на основе данных об изменении коэффициента корреляции между среднедневными наработками одних и тех же тракторов за период до первого отказа и за период между отказами в зависимости от величины горизонта прогноза. Для рассматриваемых наборов исходных данных величина m составляла порядка 0.4-0.5 (для тракторов других моделей величина масштабного фактора может быть иной).

Окончательно формула для расчета прогнозируемой общей наработки трактора $L_{расч}$ по известной наработке трактора до момента последнего отказа $L_{отк}$ и продолжительности последующей (безотказной) эксплуатации до момента расчета или окончания гарантийного периода Δt принимает вид:

$$L_{расч} = L_{отк} + (e^{-h/m} * \tau_u + (1 - e^{-h/m}) * \tau_{cp}) * \Delta t \quad (4)$$

Разработанный алгоритм прогнозирования был проверен путем обработки специально подготовленных данных, сформированных из фактических материалов рекламаций по промышленным тракторам некоторых моделей. Результаты оценочных расчетов (прогнозирование осуществлялось от момента предпоследнего отказа и до момента последнего отказа с известной наработкой) показали достаточно высокую точность прогнозирования, что подтверждается хорошим совпадением расчетных и фактических значений наработок тракторов (рисунок 4). Показанное на рисунке 4 значение параметра линейной регрессии свидетельствует о некотором (около 5%) завышении расчетных значений наработки в сравнении с фактическими величинами для данного набора исходных данных.

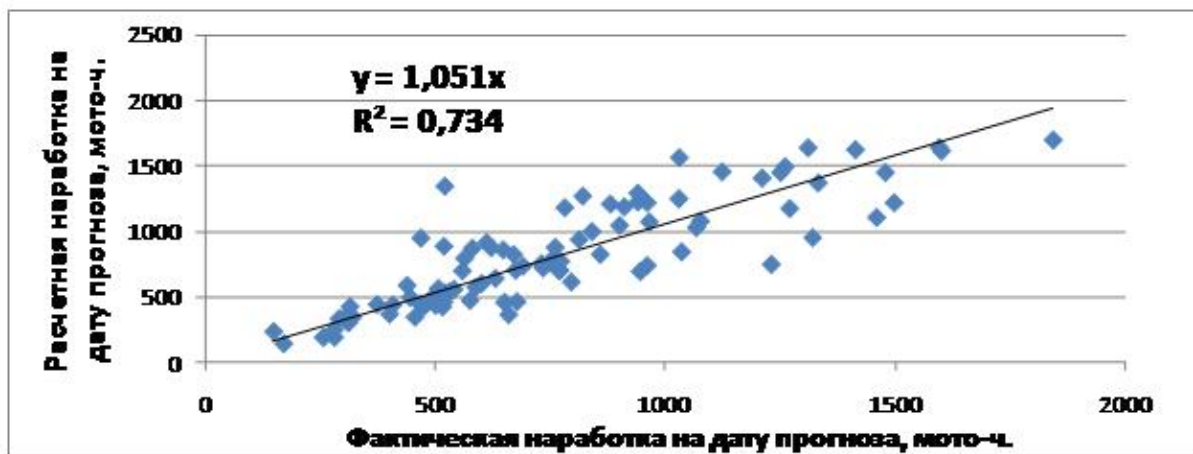


Рисунок 4 - Сравнение фактических и расчетных наработок на дату прогноза

Многочисленные расчеты подобного рода, проведенные по материалам рекламаций по тракторам ряда моделей и лет выпуска, показали, что значения параметра линейной регрессии находятся в диапазоне от 0,93 до 1,07. Таким образом, можно считать, что разработанный метод прогнозирования обеспечивает получение практически не смещенных оценок прогнозируемой общей наработки трактора с момента последнего отказа и до момента проведения расчета или до окончания гарантийного периода.

На рисунке 4 наблюдается заметный разброс экспериментальных точек относительно линии тренда (и сравнительно невысокое значение показателя "тесноты" регрессионной связи R^2). Среднеквадратичное отклонение расчетных значений от фактических для исследованных наборов исходных данных имеет величину порядка 0,3-0,4. Это объясняется как уже упоминавшейся слабой корреляцией между темпами набора наработки одних и тех же тракторов на разных интервалах наработки, так и большим разбросом среднегодовой наработки разных экземпляров тракторов вследствие неоднородности условий их использования. Как отмечалось при рассмотрении результатов, показанных на рисунке 3, коэффициент вариации величин среднегодовой наработки составляет от 0,5 до 0,7.

При анализе результатов прогнозирования было установлено, что для повышения точности расчетов целесообразно использовать данные только по тем тракторам, наработки которых до момента последнего отказа не менее чем в 2-3 раза превышают наработку за период предэксплуатационной обкатки (т.е. равны не менее, чем 100 моточасам). Наиболее точные результаты прогнозирования получаются при горизонте прогноза не более 50% от продолжительности работы трактора до последнего отказа.

Таким образом, с учетом указанных выше ограничений получаемые результаты прогнозирования представляются вполне приемлемыми для решения поставленной задачи – корректной оценки средней наработки на отказ по материалам рекламаций. Очевидно, что расчет средней наработки на отказ при наличии результатов прогноза общей наработки тракторов $L_{расч}$ до момента расчета или окончания гарантийного периода легко выполняется путем использования традиционного непараметрического метода расчета этой величины.

Для оценки точности расчета средней наработки на отказ с использованием разработанного алгоритма прогнозирования было проведено специальное исследование. В связи с отсутствием большого количества наблюдений и желанием исключить возможную разнородность данных рекламаций и наблюдений, было принято решение сформировать данные «наблюдений» из тех же самых материалов рекламаций, которые использовались для сопоставления прогнозируемых и фактических величин общих наработок тракторов (рисунок 4).

Данные "наблюдений" были сформированы из имевшихся материалов рекламаций, при этом наработка на начало «наблюдений» была принята равной нулю, наработка на конец «наблюдений» – наработке до второго отказа (зафиксированного в рекламациях по ряду экземпляров тракторов). В данных «рекламаций» для расчета средней наработки на отказ за начало наблюдений также была принята нулевая наработка, а за конец наблюдений – полученная в результате прогнозируемая расчетная наработка на момент второго отказа.

Для удобства практического использования разработанного метода прогнозирования был разработан специальный модуль в среде Microsoft Excel, обеспечивающий автоматическое проведение расчетов и получение прогнозируемых значений общей наработки тракторов после ввода оператором исходных данных. Расчет средней наработки на отказ с использованием результатов прогнозирования осуществлялся также с использованием уже упоминавшегося программного модуля [4]. Таким образом, рекомендуемая процедура получения конечных расчетных данных – средней наработки на отказ по материалам рекламаций характеризуется высоким уровнем автоматизации.

Результаты проверки точности оценки средней наработки на отказ с использованием разработанного метода прогнозирования иллюстрирует рисунок 5. Всего в данном примере использованы данные по 91 трактору, отвечавшие изложенным выше требованиям.

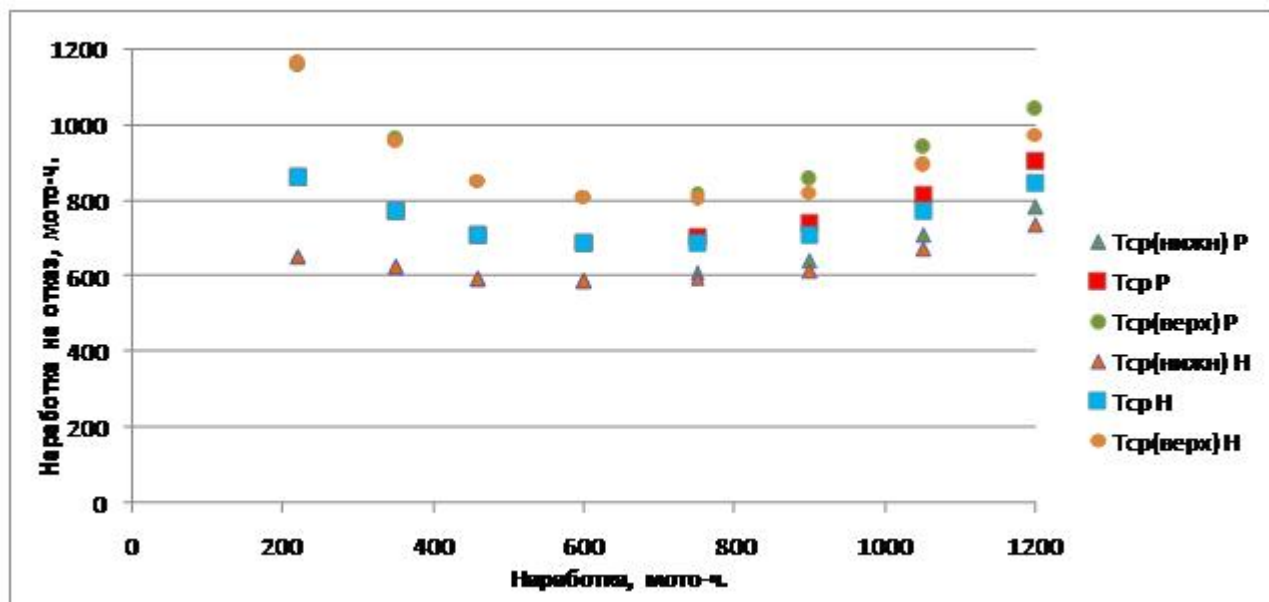


Рисунок 5 - Точечные оценки средних наработок на отказ $T_{ср}$ и их доверительные границы, полученные при обработке данных по рекламациям и по "наблюдениям"

Из графика видно, что величина средней наработки на отказ, рассчитанная рекомендуемым методом по данным рекламаций, и динамика ее изменения по наработке трактора

практически совпадает с результатами расчетов по данным, имитирующим материалы наблюдений. Максимальные отклонения рассчитанной средней наработки на отказ (для контрольной наработки трактора 1000 моточасов) составляют порядка 40 мото-ч., или около 5% от средней наработки на отказ по результатам "наблюдений". Принимая во внимание, что 80%-ые доверительные границы средней наработки на отказ составляют порядка +16%, -13%, можно сказать, что ошибки прогнозирования не оказывают существенного влияния на точность получаемых оценок безотказности на основе обработки материалов рекламаций.

Таким образом, привлечение дополнительной информации и прогнозирование на ее основе ожидаемой общей наработки трактора к моменту оценки является достаточно простым и эффективным методом получения корректных оценок безотказности тракторов в условиях реальной эксплуатации (хотя и за сравнительно небольшие начальные наработки трактора) с использованием самой массовой и доступной информации – материалов рекламаций.

В заключение отметим, что проведенные исследования показали возможность прогнозирования ожидаемой общей наработки трактора к моменту оценки и в более сложном случае – при значительной неравномерности загрузки тракторов по календарным периодам года, что характерно для сельскохозяйственных тракторов.

Литература

1. Анализ надежности (безотказности) отечественных и зарубежных тракторов. – М.: Столичная типография, 2009.
2. ОСТ 70.2.8-82 Испытания сельскохозяйственной техники. Надежность. Сбор и обработка информации.
3. Архипов В.С., Петухов А.О. Оценка безотказности тракторов по материалам рекламаций // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008, № 11. – с. 40-44.
4. Архипов В.С., Рожин В.Ф. Автоматизация обработки информации о надежности изделий машиностроения (на примере тракторной техники). — М.: Голос-пресс, 2007.
5. Аронов И.З., Бурдасов Е.И. Оценка надежности по результатам сокращенных испытаний. – М., Изд-во стандартов, 1987.

К нахождению критических скоростей ротора электронасоса

к.т.н. с.н.с. Сильвестров Э.Е., к.т.н. доц. Кореновский В.В.

ИМАШ РАН, МГТУ «МАМИ».

8-915-894-27-78

Ключевые слова: электронасос, критические скорости ротора электронасоса.

Данная работа является продолжением ранее выполненной [1] и посвящена определению критических скоростей ротора электронасоса. Рассматривается ротор, опирающийся на упругие опоры, имеющие асимметрию жесткости смазочного слоя. При этом учитывается податливость корпуса насоса.

Определение критических чисел оборотов является одной из основных задач динамического расчета роторов. Такую задачу необходимо решать, чтобы оценить насколько удачно выполнена отстройка рабочих оборотов ротора от критических.

Для решения поставленной задачи выбран метод начальных параметров как наиболее удобный при расчете сложных упругих систем. Причем в данной работе используется метод начальных параметров в аналитической форме [2].

Ротор электронасоса (рисунок 1) представляется упругим ступенчатым валом, лежащим на двух упругих опорах в точках 4 и 11. Вал несет сосредоточенные массы в точках 2,6,9 и 13, соответствующие рабочему колесу насоса, переднему и заднему кольцам электродвигателя и пяте. Между упругими опорами вала на участке 7-8 расположен ротор электродвигателя, обладающий значительной массой.

В рассматриваемой системе жесткости вала и опор считаются соизмеримыми, поэтому при определении критических скоростей ротора одновременно учитываются деформации ва-