

**А. В. Дунаев<sup>1</sup>, В. Е. Тарасенко<sup>2</sup>, А. А. Жешко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

г. Москва, Российская Федерация

E-mail: Dunaev135@mail.ru

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: trs9@yandex.ru

<sup>3</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: azeshko@gmail.com

## **ОБОСНОВАНИЕ НОРМАТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ УПРАВЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ В ТЕХНИЧЕСКОМ СЕРВИСЕ МТП АПК**

*Аннотация.* Рассмотрена оптимизация некоторых показателей технической эксплуатации машин в АПК. Приведена история этого вопроса, описан универсальный подход от профессора В. М. Михлина – оптимизация допускаемых значений параметров по минимуму суммарных удельных затрат и издержек на сервис машин, реализованный и в программе ТУРБО-НЭК.

*Ключевые слова:* трактор, параметр технического состояния, затраты на технический сервис, оптимизация.

**A. V. Dunaev<sup>1</sup>, V. E. Tarasenko<sup>2</sup>, A. A. Zheshko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>FSBSI "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"

Moscow, Russian Federation

E-mail: Dunaev135@mail.ru

<sup>2</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: trs9@yandex.ru

<sup>3</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azeshko@gmail.com

## **JUSTIFICATION OF THE NORMATIVE VALUES OF THE CONTROL PARAMETERS IN THE TECHNICAL SERVICE OF THE MTP AIC**

*Abstract.* The optimization of some indicators of technical operation of machines in the agroindustrial complex is considered. The history of this issue is given, a universal approach is described in such a justification from professor V. M. Mikhlin – optimization of the permissible values of parameters to minimize the total unit costs and costs for machine service, implemented in the TURBO-NEK program.

*Keywords:* tractor, technical condition parameter, technical service, costs, optimization.

### **Введение**

Агропромышленный комплекс (АПК) многих стран использует масштабное количество различных тракторов, автомобилей, самоходных комбайнов и сельскохозяйственных орудий (плуги, культиваторы, сеялки и др.), интенсивное использование и старение которых, естественно, обуславливает необходимость их технического обслуживания и разнообразных плановых и неплановых ремонтов. Масштабность ремонтно-обслуживающих работ потребовала глубокого научно-инженерного обоснования теории и практики организации и технологии их проведения. С 1956 г. большую работу в этом направлении провели Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ГОСНИТИ)

и Всесоюзный государственный комитет по техническому обеспечению сельского хозяйства СССР (Госкомсельхозтехника).

Предварительным, но соответствующим своему времени итогом комплексного обоснования технической эксплуатации машинно-тракторного парка (МТП) АПК в СССР и Российской Федерации явилась «Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве» [1]. Она подкреплена комплексом стандартов на техническое обслуживание (ТО), ремонт, диагностирование машин и оборудования в АПК, документацией и рекомендациями на их проведение и совершенствование.

Часть нормативно-технической документации координировалась в Совете экономической помощи [2]. Неоднократно в вузах АПК большим тиражом издавалась учебная литература по техническому обслуживанию, диагностированию и ремонту машин в АПК. Однако в настоящее время вопросам технической эксплуатации МТП АПК не уделяется должного внимания.

С 2000-х гг. появились и нетрадиционные приемы технического обслуживания и ремонта машин [3], одним из первых в этом направлении в АПК работал профессор Челябинского государственного агроинженерного университета А. К. Ольховацкий.

Естественно, обоснование оптимальной системы ТО и ремонта машин проводилось, но по-другому, и в других отраслях, особенно в авиации, а также на железнодорожном, автомобильном и водном транспорте, в оборонных отраслях.

Цель и задачи исследования: потребовалось провести анализ теорий оптимизации значений управляющих техническим сервисом показателей машин.

Материалы и методы исследования: были использованы литературные источники по теме, начиная с 1960 г., и проведен их анализ.

### Основная часть

Оптимизация нормативов в технической эксплуатации МТП АПК начата путем оптимизации срока службы объектов контроля технико-экономическим методом, при котором их эксплуатацию заканчивают в то время, когда наступает минимум суммарных удельных затрат и издержек на техническую эксплуатацию машин и оборудования.

Графическое решение этой задачи впервые выполнено инженером В. О. Васильевым, которым была «получена графическая зависимость величин отчислений и расходов на возобновление имущества железнодорожных предприятий в размерности на 1 т веса паровозов».

Аналогично в 1939 г. кандидат экономических наук А. И. Буянов графически решал задачу определения оптимального срока службы комбайна «Коммунар» и плуга ТК-30П. А в 1953 г. Н. Г. Кабенин аналитически решал определение срока службы паровоза, выразив годовые затраты  $S$  на его эксплуатацию с помощью формулы

$$S = a + \frac{b(t+t^2)}{2t} + \frac{A}{t}, \quad (1)$$

где  $a$  – постоянная часть годовых расходов на ремонт паровоза, руб.;  $b$  – возрастающая часть годовых расходов на ремонт паровоза, руб/год;  $t$  – срок службы паровоза в годах;  $A$  – среднее значение исходной стоимости паровоза, руб.

Здесь получено выражение оптимального срока службы

$$t_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2A}{b}}. \quad (2)$$

Академик А. И. Селиванов – один из основателей науки о ремонте машин в АПК [4], прогнозируемую динамику затрат потребителей, связанную с использованием машин и агрегатов, выразил в послевоенное время более простой функцией

$$Y = A + B_t + C_t^\delta, \quad (3)$$

где  $A = Q_m - O_1$  – первоначальная стоимость  $Q_m$  машины/агрегата, уменьшенная на стоимость  $O_1$  реализованных остатков при снятии машины/агрегата с эксплуатации;  $B$  – коэффициент затрат

потребителя на эксплуатацию машины, пропорциональных времени  $t$ ;  $C$  – коэффициент прогрессирующих затрат потребителя на эксплуатацию машины/агрегата;  $\delta$  – показатель степени роста прогрессирующих эксплуатационных затрат.

Отыскание оптимального срока службы агрегата приведено к нахождению минимума функции удельных затрат

$$U = \frac{A}{t} + B + Ct^{\delta-1}. \quad (4)$$

А. И. Селиванов получил более точное выражение для оптимизации срока службы машин и оборудования [4]:

$$t = \delta \sqrt{\frac{A}{(\delta-1)C}}. \quad (5)$$

В 1960-х гг. сотрудник Научно-исследовательского института автомобильного транспорта (г. Москва) Е. С. Кузнецов впервые предложил обосновывать все нормативы технической эксплуатации автотранспорта именно по критерию минимума суммарных удельных издержек и потерь в его технической эксплуатации. Это предложение было поддержано и в ГОСНИТИ.

Естественно, что управление любым производством осуществляется экономическими инструментами, а не на основе геометрических построений, предпосылки для чего наблюдаются в последнее время в ГОСНИТИ [5]. Следует отметить, что советский экономист В. В. Леонтьев за детализацию и развитие экономических инструментов управления экономикой (расчет экономической эффективности капитальных вложений, срока окупаемости, рентабельности, прибыльности и др.) в 1973 г. получил Нобелевскую премию.

В ГОСНИТИ технико-экономический метод оптимизации показателей технической эксплуатации машин с 1970-х гг. был развит профессором В. М. Михлиным [6]. Ученый довел его до универсального использования по номограммам и таблицам, в результате чего данный метод получил признание в Венгрии и Германии.

Основная задача управления надежностью техники заключается в обеспечении наиболее полного использования ее ресурса при приемлемом уровне надежности. Прогнозирование изменения функциональных и постепенно ухудшающихся структурных параметров как раз и позволяет предотвращать их и увеличивать реализацию нормативного ресурса и эффективность работы объектов контроля, уменьшения затрат на ТО и ремонт машин и оборудования. Особенно это проявляется при проведении вместе с диагностированием качественного ТО.

Все это по пунктам исследовано в работе профессора В. М. Михлина [6]: в первом разделе рассмотрены вопросы теории надежности и диагностирования машин; во втором разделе – показатели технического состояния и надежности машин, где углубленно разрешились проблемы прогнозирования и оптимизации: безотказности элементов машин, остаточного и полного их ресурса, допускаемых значений структурных и диагностических параметров машин, замыкающего звена размерной конструкторской цепи механизма, а также вероятности правильного диагностирования элементов машин, оптимизации периодичности контроля элементов машин и особенности разработки технических требований на ремонт деталей и их сопряжений; в третьем разделе предложены приемы решения некоторых проблем в организации управления состоянием машин по результатам их диагностирования.

Методы оптимизации согласно [6] были реализованы и в компьютерной программе ТУРБО-НЭЖ. И здесь целевая функция оптимизации, например, остаточного ресурса  $t_{\text{ост}}$  объекта по универсальному экономическому критерию – минимуму суммарных удельных затрат и потерь  $C$  на единицу наработки машины, выражена абстрактно:

$$C(t_{\text{ост}}) = \min \left\{ \frac{AQ(t_{\text{ост}})}{T_{\text{cp}}} + \frac{C[1-Q(t_{\text{ост}})]}{T_{\text{cp}}} \right\}, \quad (6)$$

где  $A$  и  $C$  – предполагаемые и ориентировочные показатели затрат на устранение последствий отказа элементов в эксплуатации и для предотвращения отказов соответственно;  $Q$  – неизвестная

величина вероятности отказа элемента (объекта исследования) в эксплуатации после проведения ремонтно-обслуживающих работ;  $t_{\text{ост}}$  – искомый остаточный ресурс;  $T_{\text{cp}}$  – неизвестный средний фактический ресурс объекта исследований.

Формула (6) имела и такой вид:

$$C(t_{\text{ост}}) = \min \left\{ \frac{Q(t_{\text{ост}})A}{t_{\phi}(t_{\text{ост}})} + \frac{[1 - Q(t_{\text{ост}})]C}{t_{\phi}(t_{\text{ост}})} \right\}, \quad (7)$$

где  $t_{\phi}$  – неизвестный фактический ресурс объекта исследований.

По подобным, но расширенным выражениям оптимизируются и допускаемые величины, например, диагностических параметров.

Следует учитывать и то, что контроль и воздействие на регулируемые при ТО параметры не дают оснований задавать по ним остаточный ресурс, так как регулируемые параметры не относятся к ресурсным.

Практикам ясно, что какая-либо оптимизация допускаемых значений по «постепенным», контролируемым отказам не повышает ни ресурс, ни надежность машин по главным, непрогнозируемым отказам. Отказ по постепенным параметрам возникает примерно при достижении ими предельных величин, что обусловлено только интенсивностью ухудшения постепенных параметров, зависящих от конструкции машины, условий и режимов ее эксплуатации, качества ТО. Допускаемые значения таких параметров нужны всего лишь для своевременного расчета примерного значения остаточного ресурса, подлежащего далее уточнению. Принятое в [6, с. 143] понимание оптимального значения допускаемого диагностического параметра как управляющего параметра таково, что оно обеспечивает максимальную эффективность эксплуатации и ремонта «по выбранному критерию».

Известно, что главные отказы деталей, узлов, агрегатов (поломки, разрушения, деформации, прогары, прорывы газов, жидкостей, заклинивание с прекращением работы узла, агрегата, машины) являются внезапными, непрогнозируемыми и неуправляемыми. Они возникают из-за развития скрытых, неконтролируемых, непрогнозируемых дефектов. Поэтому обоснование и оптимизация нормативов контроля для них пока не осуществима. А по постепенным диагностическим параметрам имеется и трехступенчатая система их нормативных величин [7].

Естественно, что износ деталей, узлов, агрегатов приводит к их прогнозируемым, условным отказам, которые можно предотвращать ремонтом агрегатов, а вместе с изнашиванием деталей происходит постепенное ухудшение функционирования узлов, агрегатов, машин. Однако при превышении допускаемых значений диагностических параметров никаких отказов деталей и узлов с нарушением работоспособности агрегатов не происходит. Ухудшение функционирования деталей, узлов, агрегатов с их изнашиванием квалифицируют «параметрическими отказами» (снижение мощности, повышение расхода топливо-смазочных материалов, электроэнергии, снижение качества работ и т. п.). Именно поэтому изначально профессор В. М. Михлин делал в своих обоснованиях малозаметную, никем не учтенную, но принципиально важную, оговорку, что все же после превышения даже предельных значений управляющих показателей технической эксплуатации МТП «объекты контроля дорабатывают до ТО или до планового ремонта». Значит, фактически прямых затрат на устранение последствий параметрических «отказов» в реальной эксплуатации нет.

Ориентировочно остаточный ресурс детали, сопряжения, узла, агрегата (а при  $t_{\text{ост}}$ , равном нулю, и оптимальный срок их службы) можно вычислять, исходя из геометрического соотношения на кривой изнашивания ( $t_{\text{теор}} / t_{\text{контр}} = u_{\text{п}} / u(t)$ ) так [6]:

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{контр}} \left[ \left( \frac{u_{\text{п}}}{u(t)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right], \quad (8)$$

где  $t_{\text{теор}}$  – наработка при достижении предельного значения диагностического параметра  $u_{\text{п}}$ ;  $t_{\text{контр}}$  – наработка в момент контроля с измеренным при этом значением диагностического параметра  $u(t)$ .

Целевая функция, подобная (6), использована профессором В. М. Михлиным [6] и для оптимизации допускаемых при ТО диагностических параметров, но для этого необходима трудоемкая, длительная регистрация немалых по объему диагностических и технико-экономических данных, в том числе динамики ресурсопределяющих параметров деталей, узлов, агрегатов, контроля отказов и неисправностей, учета непрерывных и дискретных затрат на обслуживание и устранение отказов, издержек и потерь от простоев машин и оборудования. Поэтому такой подход не получил широкого распространения.

Представлен и более сложный подход к оптимизации управляющих технической эксплуатации показателей [6] с учетом непрерывных издержек на ТО после ремонтно-обслуживающих работ, когда в целевую функцию (6) введены их показатели. Так, например, показателем сложности подходов к оптимизации управления надежностью машин в [6] является целевая функция совместной оптимизации допускаемого значения диагностического параметра и оптимизации межконтрольной наработки:

$$G = \min \left\{ \frac{Q(D_o, t_M)A}{T_o(D_o, t_M)} + \frac{C[1 - Q(D_o, t_M)]}{T_o(D_o, t_M)} + \frac{K_{\Pi}(D_o, t_M)B}{T_o(D_o, t_M)} \right\}, \quad (9)$$

где  $K_{\Pi}$  – среднее число проверок элементов до замены или отказа за срок службы;  $B$  – издержки, обусловленные каждой проверкой.

Казалось бы, целевые функции (6) и (7) могли бы использоваться для обоснования допускаемых при капитальном ремонте показателей деталей. Однако следует учитывать, что при ремонте агрегатов должны обеспечиваться заданные в их конструкции зазоры и натяги сопряжений, что соблюдено в стандартах и другой научно-технической документации на ремонт, а дефектация деталей и комплектация сопряжений производятся не только по размерам, но и по физико-механическим показателям поверхностей и форм деталей. Кроме того, технологии и нормативы технической эксплуатации МТП АПК за пятидесятилетие ее практики в СССР и других странах обстоятельно апробированы и утверждены научно-технической документацией (ГОСТ, РТМ и т. п.).

### Выводы

1. Так как превышение допускаемых и предельных значений диагностических параметров по «параметрическим отказам» к фактическим отказам (с остановкой машин) не приводит, то прямое использование функции (6) неправомерно.

2. Следует учитывать, что, вопреки результатам исследований [8–10], оптимизация допускаемых значений диагностических параметров не изменяет время наступления ни внезапных, ни «параметрических» отказов при достижении ими предельных величин, не зависящих от допускаемых значений, не уменьшает вероятность их наступления, не увеличивает надежность машин. Эти «новации» просто усугубляют ошибки [6], а для ориентировочного определения допускаемых значений диагностических параметров достаточно использовать выработанные практикой критерии.

3. Для расчета ориентировочного значения остаточного ресурса объектов контроля и уточнения по нему срока и объема ремонтно-обслуживающих работ достаточно использовать формулу (8).

4. Износ и нарушение работоспособности деталей, узлов, агрегатов, их отказы обусловлены только интенсивностью изнашивания и развитием скрытых дефектов, зависящих от конструктивного и производственного совершенства объектов контроля, от условий их эксплуатации и качества ремонтно-обслуживающих работ. Поэтому, вопреки результатам исследований [8–10], оптимизация допускаемых величин диагностических параметров никак не уменьшает ни вероятность, ни число фактических и «параметрических» отказов. Все равно объекты контроля, чаще всего, дорабатывают до предельных состояний и исчерпания остаточного ресурса.

5. Ужесточение допускаемых величин диагностических параметров, вопреки расчетам теоретиков [8–10], лишь обуславливает более частое диагностирование.

6. Остро актуальным является обоснование не допускаемых, а предельных величин диагностических параметров для современных машин.

### Список использованных источников

1. Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. – М. : ГОСНИТИ, 1985. – 144 с.
2. Международная система оборудования для технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. Постоянная комиссия СЭВ по сотрудничеству в области сельского хозяйства. М. : ГОСНИТИ, 1984. – 136 с.
3. Дунаев, А. В. Нетрадиционная триботехника. Некоторые итоги развития в России / А. В. Дунаев. – [Б. м.] : Lambert Academic Publishing, 2018. – 217 с.
4. Селиванов, А. И. Основы теории старения машин / А. И. Селиванов. – М. : Машиностроение, 1964. – 404 с.
5. Рабинович, А. Ш. Техничко-экономические критерии и оптимизация ресурсов машин / А. Ш. Рабинович, А. А. Шаровский // Надежность и контроль качества. – 1977. – № 7. – С. 12–15.
6. Михлин, В. М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В. М. Михлин. – М. : Колос, 1984. – 336 с.
7. Дизели тепловозов. Техническое диагностирование и прогнозирование остаточного ресурса методом спектрального анализа масла : ГОСТ 20759-90. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1991. – 24 с.
8. Денисов, В. А. Обеспечение безотказной работы деталей машин с использованием новой системы переменных допусков / А. В. Денисов, А. А. Соломашкин // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 1. – С. 76–91.
9. Стратегии технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственных машин / А. С. Дорохов [и др.] // Технический сервис машин. – 2020. – № 3 (140). – С. 38–48.
10. Черноиванов, В. И. Способ определения остаточного ресурса деталей машин / В. И. Черноиванов, В. А. Денисов, А. А. Соломашкин // Технический сервис машин. – 2020. – № 1. – С. 50–57.