

УДК [631.3.004.5]

## ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ДИАГНОСТИКИ И ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

### СОВРЕМЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

С. В. КУРЗЕНКОВ, В. И. КОЦУБА, И. Л. ПОДШИВАЛЕНКО

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Беларусь, 213407, e-mail: [amr.by@mail.ru](mailto:amr.by@mail.ru)

(Поступила в редакцию 03.04.2017)

*Рост уровня механизации сельскохозяйственного производства, переоснащение хозяйств новой высокопроизводительной энергонасыщенной техникой создают предпосылки и вызывают необходимость совершенствования форм и методов ее использования, базирующихся на прогрессивных, научно обоснованных методах планирования и использования сельскохозяйственной техники в земледелии. В настоящее время сельскохозяйственное производство и используемая техника требуют аргументированности каждого принятого решения, обоснование его точности научными расчетами [1]. Повышение уровня технической готовности требует значительного повышения надежности конструктивных элементов машин, дальнейшего совершенствования технического обслуживания и ремонта, снижения трудовых и материальных затрат [2]. В связи с этим ставятся задачи дальнейшего развития средств и методов диагностики, изыскания резервов улучшения эксплуатации машинно-тракторного парка. Аргументированное принятие решения по диагностированию работоспособности сельскохозяйственной техники, обоснование его научными расчетами является одной из важнейших задач системы технического сервиса в агропромышленном комплексе (АПК) Республики Беларусь. Работоспособное техническое состояние сельскохозяйственной техники характеризуется совокупностью единичных количественных и качественных показателей. Для комплексной оценки технического состояния сельскохозяйственной техники широко применяются коэффициенты технической готовности и использования. Проведенный в статье анализ показал, что эти показатели недостаточно полно и адекватно описывают техническое состояние техники. В данной статье приводится обоснование критериев диагностики и технического состояния современной сельскохозяйственной техники. Предлагается в качестве критерия ее технического состояния использовать уровень производственно-технической эксплуатации. Этот показатель позволит обосновать стратегии управления техническим состоянием машин по максимуму коэффициента технического использования, разработать алгоритм технического диагностирования и определить рациональную его периодичность по максимуму коэффициента готовности и минимуму затрат.*

**Ключевые слова:** техническое состояние машин, диагностирование работоспособности сельскохозяйственной техники, комплексная оценка технического состояния сельскохозяйственной техники.

*The increase in the level of mechanization of agricultural production, the re-equipment of farms with new high-performance energy-saturated machinery create the prerequisites and necessitate the improvement of the forms and methods of its use, based on progressive, scientifically based methods of planning and using agricultural machinery in farming. At present, agricultural production and the machinery used require reasoning of each decision taken, justification of its accuracy by scientific calculations. Increasing the level of technical readiness requires a significant increase in the reliability of structural elements of machines, further improving maintenance and repair, reducing labor and material costs. In this connection, tasks are set for the further development of diagnostic tools and methods, and for finding reserves for improving the operation of the machine and tractor fleet. Argued decision making on diagnosing the working capacity of agricultural machinery, justifying it by scientific calculations is one of the most important tasks of technical service system in the agro-industrial complex of the Republic of Belarus. The efficient technical condition of agricultural machinery is characterized by a combination of single quantitative and qualitative indicators. For a comprehensive assessment of the technical state of agricultural machinery, the coefficients of technical readiness and use are widely used. The analysis carried out in the article showed that these indicators do not fully and adequately describe the technical state of the equipment. This article provides a rationale for the criteria of diagnostics and technical condition of modern agricultural machinery. We have proposed to use the level of industrial and technical exploitation as a criterion of its technical state. This indicator will allow us to justify strategies for managing the technical condition of the machines according to the maximum of technical utilization coefficient, to develop an algorithm for technical diagnostics and to determine its rational frequency according to maximum coefficient of readiness and minimum costs.*

**Key words:** technical condition of machines, diagnosing the working capacity of agricultural machinery, comprehensive assessment of the technical condition of agricultural machinery.

#### Введение

Проведенный анализ технической готовности машинотракторного парка отрасли показал, что она не соответствует необходимому нормативному уровню. Так, по данным Минсельхозпрода и проведенным исследованиям в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», готовность машинно-тракторного парка находится на уровне 70–80 %, в связи с чем потенциальные возможности эксплуатируемой техники недоиспользуются более чем на 20 %. Это вызывает необходимость поиска новых научных методов управления техническим состоянием современной сельскохозяйственной техники, включающих элементы диагностирования для повышения эксплуатационной надежности машин. Для поиска новых методов управления техническим состоянием сельскохозяйственной техники следует получить математическую модель, которая будет адек-

важно описывать техническое состояние сельскохозяйственной техники. Для этого следует обосновать критерии, описывающие техническое состояние сельскохозяйственной техники, изучить факторы, которые оказывают на его воздействие и их уровни варьирования.

### Основная часть

Современная сельскохозяйственная техника (тракторы, автомобили или комбайны) представляет собой сложную техническую систему, предназначенную для выполнения различных операций и характеризуемую множеством параметров. Эти параметры определяют технические и эксплуатационные показатели данной системы. Под системой понимается упорядоченная совокупность совместно действующих элементов, предназначенных для выполнения заданных функций. К элементам сельскохозяйственной техники относятся агрегаты, узлы, механизмы и детали. Они имеют различные характеристики устойчивости к потере работоспособного состояния, на которые влияют как внутренние конструктивные факторы, зависящие от назначения и свойств элемента, так и совокупность внешних факторов, определяемых как условия эксплуатации этой техники. Работоспособность элементов машины определяется ее техническим состоянием, которое представляет собой совокупность изменяющихся в процессе эксплуатации свойств объекта, характеризующихся в определенный момент признаками, установленными технической документацией. Поэтому техническое состояние машины и ее элементов определяется количественными показателями конструктивных параметров:  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ .

Возможность непосредственного измерения конструктивных параметров многих изделий без частичной или полной разборки узла чаще всего ограничена. Для этих изделий при определении технического состояния пользуются косвенными величинами, так называемыми диагностическими параметрами, связанными с конструктивными параметрами и дающими о них определенную информацию. Например, о техническом состоянии двигателя можно судить по изменению его мощности, расходу масла на угар, компрессии, содержанию продуктов износа в масле.

В процессе работы машины показатели ее технического состояния изменяются от начальных  $y_n$ , соответствующих новому изделию, до предельно допустимых  $y_{п.д.}$ , а затем и до предельных  $y_{п.}$ . Значение  $y_{п.}$  соответствует предельному состоянию, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно (рис. 1).

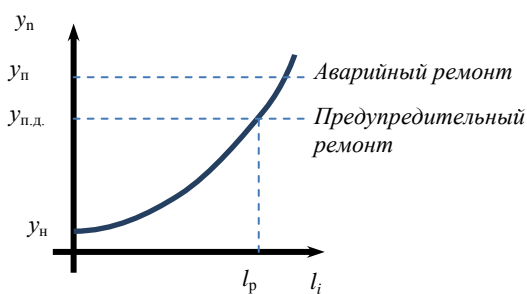


Рис. 1. Изменение технического состояния сельскохозяйственной техники в процессе работы

Продолжительность работы машины, измеряемая в часах или километрах пробега, а в ряде случаев в единицах выполненной работы, называется наработкой  $l_i$ . Нарботка до предельного состояния, оговоренного технической документацией, называется ресурсом  $l_p$ . Тогда в интервале пробега  $0 \leq l_i$  и  $y_n \leq y_i < y_{п.}$  (зона работоспособности) изделие считается исправным и может выполнять свои функции.

Сельскохозяйственная техника в процессе эксплуатации может находиться в одном из следующих состояний: исправном, неисправном, работоспособном, неработоспособном (непредельном) и предельном.

Если изделие удовлетворяет всем требованиям нормативно-технической документации по всем показателям, то оно считается исправным. Если параметры изделия, характеризующие его способность выполнять заданные функции, соответствуют установленным нормативно-технической документацией требованиям, то оно признается работоспособным. Таким образом, когда изделие может выполнять свои основные функции, но не отвечает всем требованиям технической документации, то оно работоспособно, но неисправно. Если продолжить эксплуатировать машину до состояния  $y_i \geq y_{п.}$ , то наступит событие, заключающееся в нарушении ее работоспособности, т. е. произойдет ее отказ.

Роль предельно допустимого значения параметра заключается в том, чтобы заведомо обнаруживать приближение момента отказа для своевременного реагирования. Для этого необходимо иметь представление о причинах изменения его технического состояния и о факторах, определяющих проявление этих причин, а также их влиянии на интенсивность изменения технического состояния элементов автомобиля. В процессе эксплуатации машины в результате воздействия на нее целого ряда факторов происходит необратимое ухудшение ее технического состояния, связанное с изнашиванием и повреждением ее деталей, а также изменением ряда их свойств. Изменение технического состояния машины обусловлено работой ее узлов и механизмов, воздействием внешних условий работы и хранения машины, а также случайными факторами. К случайным факторам относятся скрытые дефекты деталей машины, перегрузки конструкции и т. п. Основными постоянно действующими причинами изменения технического состояния сельскохозяйственной техники при ее эксплуатации являются изнашивание, пластические деформации, усталостные разрушения, коррозия, а также физико-химические изменения материала деталей (старение). К основным комплексным показателям надежности сельскохозяйственной техники, характеризующим ее техническое состояние, относятся коэффициенты готовности и технического состояния. Коэффициент готовности – это вероятность того, что машина окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых ее использование по назначению не предусмотрено. Коэффициент технического использования – отношение математического ожидания интервалов времени пребывания автомобиля в работоспособном состоянии за определенный период эксплуатации к сумме математических ожиданий интервалов времени пребывания объекта в работоспособном состоянии, простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период эксплуатации.

Для формализации этих коэффициентов, введем временные периоды, характеризующие состояние парка машин: период  $T$  – календарной продолжительности планируемой эксплуатации машины (день, месяц, квартал, год);  $T_p$  – период рабочего времени (планируемый фонд рабочего времени машины);  $T_n$  – период нерабочего времени (планируемое межсменное время);  $T_{pn}$  – период пребывания машины в исправном состоянии в рабочее время;  $T_{pн}$  – период пребывания машины в неисправном состоянии в рабочее время;  $T_{nn}$  – период пребывания машины в исправном состоянии в нерабочее время;  $T_{нн}$  – период пребывания машины в неисправном состоянии в нерабочее время;  $T_{pнэ}$  – период рабочего времени, в течение которого машина находится в исправном состоянии и эксплуатируется;  $T_{pнн}$  – период рабочего времени, в течение которого машина находится в исправном состоянии, но не эксплуатируется;  $T_{pнп}$  – период рабочего времени, в течение которого машина находится на плановом ТО или в ремонте;  $T_{pннп}$  – период рабочего времени, в течение которого машина находится на неплановом ремонте;  $T_{nпн}$  – период нерабочего времени, в течение которого машина находится на плановом ТО или в ремонте;  $T_{nнп}$  – период нерабочего времени, в течение которого машина находится на неплановом ТО или в ремонте. На основании введенных периодов, характеризующих состояние машины, можно рассчитать коэффициенты ее готовности и технического использования [3]:

$$K_r(t) = \frac{T_{pn}(t)}{T_{pn}(t) + T_{pнн}(t)}, \quad (1)$$

$$K_{тн}(t) = \frac{T_{pn}(t)}{T_{pn}(t) + T_{pнн}(t) + T_{pнп}(t)}. \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) описывают изменение показателей по мере старения машины, т. е. являются функцией срока ее службы  $t$ . Коэффициенты характеризуют с одной стороны качество работы системы технической эксплуатации (СТЭ), задача которой минимизировать продолжительность периода пребывания техники в неисправном состоянии  $[T_{pнн}(t) + T_{pнп}(t)] \rightarrow \min$ .

С другой стороны, они описывают динамику работоспособности парка машин, так как их значения уменьшаются с течением времени. Так как коэффициенты технической готовности  $K_r$  и технического использования  $K_{тн}$  являются комплексными критериями оценки технической готовности и использования парка машин, то они в полной мере определяют потенциальные потребительские свойства и возможности техники. Недостатками этих показателей является то, что они не учитывают работу техники в межсменное и нерабочее время при восстановлении

сборочных единиц и деталей, простоев в ожидании требований на техническое обслуживание и ремонт (ТОР), возможность оказания технического сервиса, потенциал человеческого фактора и т. д. По оценкам ученых и специалистов [3] из-за недостаточного числа постов ТОР, отсутствия запасных частей и ремонтных материалов, отказов машин по техническим и организационным причинам, несвоевременной выдачи заданий, и других факторов отклонение от нормативного времени выполнения работ достигает 50 и более процентов. Так, М. И. Юдин показал [3] целый ряд недостатков при расчете коэффициента технической готовности, отмечая при этом, что допускается произвольное толкование периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается. Он предложил оценивать коэффициенты готовности и технического использования парка машин формулами, в которых учитывается средняя доля машин данной марки не готовых и не планируемых к использованию:

$$K_r = 1 - K_{нг}, \quad (3)$$

$$K_{и} = 1 - (K_{нг} + K_{ни}), \quad (4)$$

где  $K_r$ ,  $K_{нг}$  – коэффициенты соответственно готовности и неготовности парка машин в планируемом периоде;  $K_{и}$  – коэффициент использования парка машин;  $K_{ни}$  – доля машин, которая не планируется к использованию в планируемом периоде.

На основании всестороннего анализа коэффициентов технической готовности и технического использования парков машин, Ф. Ю. Керимовым [4] было предложено использование следующей формулы:

$$K_{тг} = \frac{T_{раб}}{T_{раб} + T_{ор}}, \quad (5)$$

где  $T_{раб}$  – время работоспособного состояния машин, ч;  $T_{н}$  – нормативное время ТО и ремонта, ч;  $K_{тв}$  – коэффициент, учитывающий долю времени технических воздействий, приходящуюся на сменное время;  $K_{ор}$  – коэффициент использования организационного резерва;  $T_{ор} = \frac{T_{н} + K_{тв}}{K_{ор}}$  – время организационного резерва, ч.

Связь между показателем технической эксплуатации и использованием машин [5] показывает, что рост параметра потока отказов уменьшает техническую готовность машин, а повышение организованности процессов ТО и ремонта увеличивает ее. Эффективность производственной эксплуатации зависит от надежности машин и системы технического сервиса с учетом использования организационных резервов. А. Е. Немцев [5] отмечает необходимость корректировки комплексных показателей надежности при оценке эффективности системы обслуживания путем введения коэффициента использования машины по назначению. Этим коэффициентом оценивается доля использования машины по назначению от календарного времени и выявляется влияние уровня эксплуатации на надежность техники. Таким образом, расчетные модели коэффициентов готовности  $K_{тг}$  и использования  $K_{тн}$  машин характеризуются неоднозначностью вклада инфраструктуры агротехнического сервиса и условий эксплуатации в эффективность реализации потребительских качеств машин в условиях рынка и требуют анализа и дополнения. Важно чтобы потребительские свойства машин максимально эффективно и полезно реализовывались владельцем техники при ее использовании по прямому назначению. В этом заключается главная цель функционирования системы агротехнического сервиса (САТС). Изменение потребительского качества машины или машинно-тракторного агрегата (МТА) как сложной технической системы, оцениваемое количественными и качественными показателями надежности, зависит от комплексного воздействия на нее многих факторов (рис. 2).

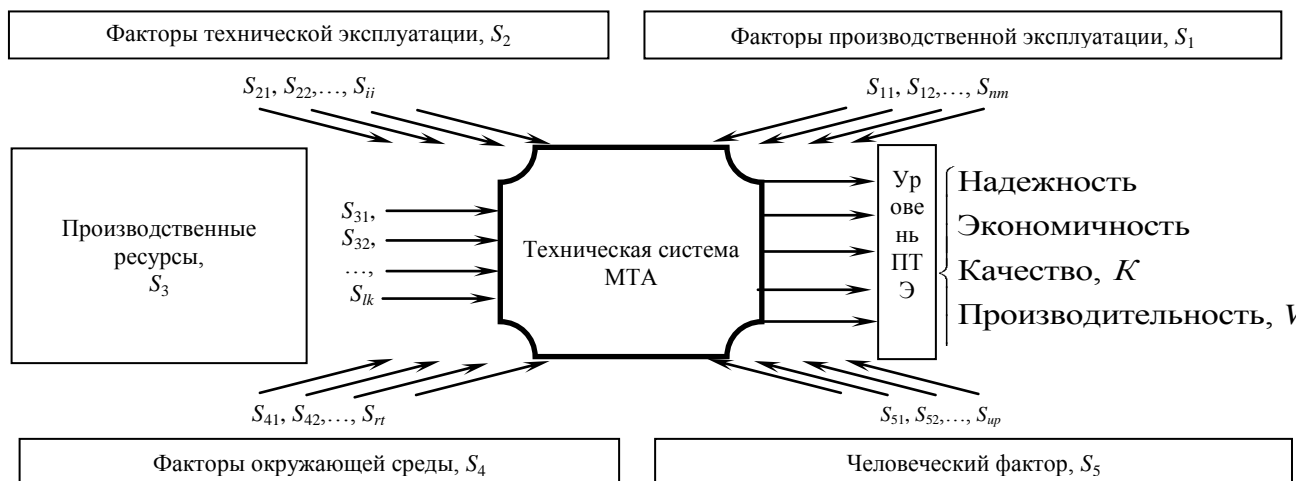


Рис. 2. Системообразующие факторы работоспособности технической системы в сельском хозяйстве

К входным системообразующим факторам функционирования машины относятся факторы производственной (ПЭ) и технической (ТЭ) эксплуатации, производственных ресурсов (ПР), окружающей среды (СР) и человеческого фактора (ЧФ). Входные факторы, воздействуя на машину как систему, определяют формирование показателей ее работоспособности, т. е. выходных показателей системы ( $Q$ ). В общем виде эту зависимость можно записать в виде:

$$Q(Y_{\text{ПТЭ}}) = F(S_1, S_2, S_3, S_4, S_5), \quad (6)$$

где  $Y_{\text{ПТЭ}}$  – уровень производственно-технической эксплуатации;  $S_1$  – фактор производственной эксплуатации;  $S_2$  – фактор технической эксплуатации;  $S_3$  – производственные ресурсы;  $S_4$  – факторы окружающей среды;  $S_5$  – человеческий фактор.

В этой связи одним из критериев оценки технического состояния сельскохозяйственной техники может являться обобщенный показатель ( $Y_{\text{ПТЭ}}$ ) уровня производственно-технической эксплуатации (ПТЭ) машинно-тракторного парка и других средств механизации предприятий сельхозтоваропроизводителей [6, 7].

Данный критерий является интегральным (обобщенным), включающим ряд частных показателей, таких как культура ремонтно-технического обслуживания сельскохозяйственной техники, оперативность и стабильность обслуживания, спектр предоставляемых услуг, инфраструктура системы ТО и ремонта машин, профессиональную пригодность кадров и т. д. Фактически уровень производственно-технической эксплуатации является показателем качества функционирования системы агротехнического сервиса. Под системой агротехнического сервиса понимают совокупность реализованных на сельскохозяйственном предприятии методов и средств различной природы, обеспечивающих повышение уровня производственно-технической эксплуатации МТП путем удовлетворения потребностей сельхозтоваропроизводителя в технических и технологических услугах приемлемого качества и за приемлемое время. Работа систем обслуживания машин в сельском хозяйстве определяется организацией технологического процесса ТОР, системами управления и маркетинга. Поэтому уровень производственно-технической эксплуатации будет зависеть от режимов использования машин, их производительности, качества выполнения основных и вспомогательных операций, технологии ТОР, профессиональной подготовки персонала и уровня его мотивации, наличия и размещения средств технического сервиса, стратегических целей и тактических задач, решаемых руководством предприятия на рынке сервисных услуг, широты и глубины номенклатуры услуг, стабильности поставок запасных частей и т. д.

С учетом изложенного критерий комплексной оценки технического состояния должен всесторонне характеризовать эффективность управления процессами поддержания работоспособности и использования по назначению сельскохозяйственной техники; отражать совокупность факторов, определяющих время простоя в неработоспособном состоянии по техническим, технологическим и организационным причинам; являться системообразующим кри-

терием при формировании САТС МТП разных хозяйствующих субъектов; влиять на производственные показатели работы машин. Обобщенный показатель уровня производственно-технической эксплуатации отвечает указанным требованиям и в наиболее полной мере учитывает потенциальные потребительские свойства и технические возможности машин при их использовании по прямому назначению.

### **Заключение**

Работоспособное техническое состояние сельскохозяйственной техники характеризуется совокупностью единичных количественных и качественных показателей. Для комплексной оценки технического состояния сельскохозяйственной техники широкое использование нашли коэффициенты технической готовности и использования. Проведенный анализ показал, что показатели недостаточно полно и адекватно описывают техническое состояние сельскохозяйственной техники. Представляется [8], что в качестве критерия технического состояния сельскохозяйственной техники следует использовать уровень производственно-технической эксплуатации, который позволяет всесторонне характеризовать эффективность управления процессами поддержания работоспособности и использования по назначению сельскохозяйственной техники; отражать совокупность факторов, определяющих время простоя в неработоспособном состоянии по техническим, технологическим и организационным причинам; являться системообразующим критерием при формировании САТС МТП разных хозяйствующих субъектов; влиять на производственные показатели работы машин. Уровень производственно-технической эксплуатации позволит обосновать стратегии управления техническим состоянием машин по максимуму коэффициента технического использования, разработать алгоритм технического диагностирования и определить рациональную его периодичность по максимуму коэффициента готовности и минимуму затрат [8].

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Черноиванов, В. И. Состояние и проблемы технического сервиса в АПК / В. И. Черноиванов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2002. – №7. – С. 2–6.
2. Усанов, А. Ю. Предпосылки развития технического сервиса / А. Ю. Усанов // Региональные проблемы социально-экономического развития АПК: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конференции. – Саратов, 2004. – С. 115–116.
3. Юдин, М. И. Технический сервис машин и основы проектирования предприятий: учебник / М. И. Юдин, Н. И. Стукопин, ОР. Г. Ширай. – Краснодар, 2002. – С. 944.
4. Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин: учебник для студ. высш. учеб. заведений / А. В. Рубайлов, Ф. Ю. Керимов, В. Я. Дворковой [и др.]; под ред. Е.С. Локшина. – М., 2007. – 512 с.
5. Немцев, А. Е. Обеспечение работоспособности мобильной сельскохозяйственной техники на основе резервирования обменного фонда / А. Е. Немцев: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.20.03 / А. Е. Немцев. – Новосибирск, 1998. – 44 с.
6. Топилин, Г. Е. Экспертная оценка приспособленности тракторов к техническому обслуживанию / Г. Е. Топилин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1978. – № 5. – С. 34–37.
7. Антонец, Д. А. Теоретические основы количественной оценки уровня технической эксплуатации тракторов / Д. А. Антонец // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. – № 6. – С. 6–7.
8. Обоснование критериев технического состояния сельскохозяйственной техники / И. Л. Подшиваленко [и др.] // Вестник Брянской ГСХА. – 2014. – №3 – С. 56–58.