

zayavl. 11.02.2015; opubl. 10.04.2016, Byul. № 10.

5. Chelomei V.N. Vibratsii v tekhnike. V 6 t. T. 2. Kolebaniya nelineinykh mekhanicheskikh sistem / I.I. Blekhan. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 351 s.

6. Panovko Ya.G. Vvedenie v teoriyu mekhanicheskikh kolebanii. – M.: Nauka, 1988. – 272 s.

7. Biderman V.L. Teoriya mekhanicheskikh kolebanii. – M.: Vyssh. shkola, 1980. – 408 s.



УДК 629.114.2.00434

**А.В. Шистеев, А.И. Аносова, В.А. Беломестных,
М.К. Буряев, С.Ю. Луговнин**
A.V. Shisteyev, A.I. Anosova, V.A. Belopomestnykh,
M.K. Burayev, S.Yu. Lugovnin

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТРАКТОРОВ «NEW HOLLAND»
НА ОСНОВЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ
СМЕННО-ОБМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ СЕРВИСЕ**

**ENSURING SERVICEABILITY OF NEW HOLLAND TRACTORS BASED ON RESERVATION
OF EXCHANGEABLE PARTS AT TECHNICAL SERVICE**

Ключевые слова: резервирование, прогнозирование, составные части, отказы, сельскохозяйственное производство, технический сервис, импортная техника, трактор, сменно-обменные элементы.

Повышение производства сельскохозяйственной продукции и укрепление продовольственной безопасности нашей страны основываются, в первую очередь, на самых современных машинах и машинных технологиях в агробизнесе. В связи с этим сельскохозяйственное производство невозможно представить без использования иностранной сельскохозяйственной техники. И не потому, что в России практически развалено сельхозмашиностроение, а потому, что эти машины имеют ряд конструктивных и технологических преимуществ перед отечественной техникой и, несмотря на дороговизну, спрос на них со стороны хозяйствующих субъектов не уменьшается. Легендарный сельхозмашиностроитель А.А. Ежевский считает, что оптимальное соотношение должно быть таким: на полях работают 75-80% отечественной и 20-25% импортной техники. В настоящее время на рынке агробизнеса России производство сельскохозяйственной продукции обеспечивается парком иностранной техники, в числе которых около 40 тысяч тракторов и самоходных зерно- и кормоуборочных комбайнов фирмы «New Holland». Высокая стоимость запасных частей к этим машинам определяет повышенные требования к прогнозированию нормативов потребности в сменно-обменных элементах при техническом сервисе. В настоящее время ремонтная документация и нормативы потребности в сменно-обменных элементах по импортной технике большей частью отсутствуют, а имеющиеся слабо взаимосвязаны и недостаточно отражают техническую потребность машин в сменно-обменных элементах при агрегатной стратегии их ремонта. Реальный спрос на сменно-обменные элементы должным образом не изучается, а их нормативные запасы, регламентированные заводами-изготовителями, не соответствуют

потребностям на местах. Приведены некоторые результаты решения проблемы с позиции совместной оптимизации стратегии ремонта, продолжительность удельного простоя машин и нормативов потребности в сменно-обменных элементах на примере тракторов фирмы «New Holland».

Keywords: reservation, forecasting, component parts, failures, agricultural production, technical service, imported machinery, tractor, exchangeable parts.

The challenge of increasing agricultural production and strengthening food security is based first of all on advanced machinery and mechanization technologies in agricultural business. In this regard, agricultural production is not possible without using foreign farm machinery. In spite of high price, agricultural producers prefer foreign machinery because of its constructive and technological advantages over domestic equipment. The demand for foreign machinery is stable. A famous agricultural engineer A.A. Yezhevskiy considers that the optimal ratio of equipment should be as following: 75-80 % of the domestic and 20-25 % of imported equipment. There is a considerable foreign machinery fleet in Russia at present; this includes about 40 thousand tractors and self-propelled grain and forage combine-harvesters manufactured by New Holland Agriculture Company. The high cost of spare parts makes increase requirements to the forecasting standards of exchangeable parts during technical service. As a rule, repair documentation and standard requirements to exchangeable parts of imported machinery is not available. The available documentation and standard requirements are poorly integrated and do not sufficiently reflect the need for exchangeable parts during repair. The effective demand for such exchangeable parts is understudied, and their reserves defined by the manufacturers do not meet the local needs. This paper presents some results of solving the problem from the position of the joint optimization strategy of repair by the example of New Holland tractors.

Шистеев Алексей Валерьевич, аспирант, каф. «Технический сервис и общепромышленные дисциплины», Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. E-mail: driver@yandex.ru.

Аносова Анна Иннокентьевна, к.т.н., ст. преп., каф. «Технический сервис и общепромышленные дисциплины», Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. E-mail: a.anosova@yandex.ru.

Беломестных Владимир Афанасьевич, к.т.н., доцент, каф. «Технический сервис и общепромышленные дисциплины», Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. E-mail: mech@igsha.ru.

Бураев Михаил Кондратьевич, д.т.н., доцент, зав. каф. «Технический сервис и общепромышленные дисциплины», Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. E-mail: bu-raev@mail.ru.

Луговнин Степан Юрьевич, аспирант, каф. «Технический сервис и общепромышленные дисциплины», Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. E-mail: s.lugovnin@mail.ru.

Shisteyev Aleksey Valeryevich, post-graduate student, Chair of Technical Service and General Engineering Disciplines, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Yezhevskiy. E-mail: driver@yandex.ru.

Anosova Anna Innokentyevna, Cand. Tech. Sci., Asst. Prof., Chair of Technical Service and General Engineering Disciplines, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Yezhevskiy. E-mail: a.anosova@yandex.ru.

Belopomestnykh Vladimir Afanasyevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Technical Service and General Engineering Disciplines, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Yezhevskiy. E-mail: mech@igsha.ru.

Burayev Mikhail Kondratyevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Head, Chair of Technical Service and General Engineering Disciplines, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Yezhevskiy. E-mail: bu-raev@mail.ru.

Lugovnin Stepan Yuryevich, post-graduate student, Chair of Technical Service and General Engineering Disciplines, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Yezhevskiy. E-mail: s.lugovnin@mail.ru.

Введение

Учеными в области технического сервиса машин [1, 2] установлено, что процесс восстановления работоспособности технических систем исследуется на стыке нескольких наук: теории вероятностей, математической статистики, теории экспериментальных исследований. При этом основными задачами являются изучение закономерностей возникновения отказов и неисправностей объекта, а на базе результатов исследований – разработка мероприятий, направленных на обеспечение выполнения объектом заданных функций с наименьшими затратами. Необходимость таких исследований рассматривалась многими научными и проектными организациями, учеными и практиками в разных отраслях народного хозяйства страны. В их трудах впервые были изучены основы построения системы технического сервиса отдельных марок иностранных тракторов и малогабаритной техники для фермерских и садово-огороднических хозяйств [3].

Одним из важных вопросов на всех этапах эволюции системы технического сервиса является обеспечение владельцев машин сменно-обменными запасными частями в гарантийный и послегарантийный период обслуживания.

В связи с этим решение задач, связанных с повышением работоспособности машин иностранного производства в сельском хозяйстве на основе обеспечения сменно-обменными элементами, является своевременным и актуальным, имеет научное и практическое значение и служит неременным условием для достижения экономической эффективно-

сти хозяйств, использующих в своих технологических процессах современные высокопроизводительные машины. Отсутствие знаний о конструктивных решениях и особенностях эксплуатации зарубежных аналогов энергонасыщенных тракторов делает ситуацию еще более острой в связи с тем, что потребность в обслуживании этих машин год от года растет в силу продолжающегося насыщения рынка агробизнеса тракторами производства стран Бельгии, Германии, Италии, США, Китая [4].

Цель исследования состоит в изучении условий и факторов, влияющих на работоспособность импортной техники.

Методы исследования: математического моделирования, теории вероятностей, статистический, пакеты программного обеспечения Statistica 8.0, Microsoft Office 2010.

Результаты исследования

Анализ литературных источников [5, 6] показал, что для отрасли АПК повышение показателей эксплуатационной надежности техники на основе управления удельным временем простоя иностранных тракторов, влиянием на время доставки сменно-обменных элементов к месту ремонта пока еще не нашло широкого применения. Используя теоретические предпосылки и методики для определения технической готовности машинно-тракторного парка сельскохозяйственных предприятий [5], коэффициент технической готовности тракторов, выраженный в показателях удельного времени простоя из-за отказов, отсутствия сменно-обменных элементов, представлен в виде

$$K_{\text{ТГ}} = \frac{1}{1 + q_{\text{уп}} \sum \frac{\bar{t}_{\text{нр}}}{x_{\text{нр}}}} = \frac{1}{1 + q_{\text{уп}} B_p}, \quad (1)$$

где $\bar{t}_{\text{нр}}$ – средняя продолжительность простоя в рабочее время машины (когда устраняется отказ или неисправность), характеризующая уровень применения сменно-обменных элементов при ТО и ремонте (или эксплуатационная технологичность), ч;

$\bar{x}_{\text{нр}}$ – средняя наработка на отказ, определяющая надежность машины, условия эксплуатации, а также качество проведения ТО и ремонта, мото-ч;

$q_{\text{уп}}$ – коэффициент использования ресурса за эксплуатационный цикл трактора, мото-ч/ч;

B_p – удельные простои машин с потерей рабочего времени за эксплуатационный цикл машины во всех видах ТО и ремонта, в том числе с использованием сменно-обменных элементов, ч/мото-ч:

$$B_p = \frac{\bar{t}_{\text{нр}}}{x_{\text{нр}}}. \quad (2)$$

Анализ формулы (1) показывает, что коэффициент технической готовности связан с продолжительностью простоя и наработкой на отказ и может быть выражен в показателях удельного времени простоя трактора при оптимальном номенклатурном и количественном составе фонда сменно-обменных элементов.

Из выражения (2) следует, что величина удельного простоя на обслуживании (в ремонте) определяется сокращением средней продолжительности простоя при оперативном устранении отказов и неисправностей применением сменно-обменных элементов, а также путем совершенствования технологии и организации ремонтно-обслуживающих воздействий при текущем ремонте.

Показатели эксплуатационной надежности импортных тракторов марки Case IH и местного производства New Holland определялись в результате проведения испытаний и наблюдений за группой машин в условиях их нормальной эксплуатации в сельскохозяйственных организациях Иркутской области [7].

Наблюдения проводились по плану NRT за N машинами до их наработки T. Индекс R в плане наблюдений означает, что предусматривались восстановление работоспособности вышедших из строя машин или их элементов и их повторная постановка под наблюдение [8, 9].

При разработке плана проведения исследований учитывалась возможность поэтапного сбора информации о работе и техническом состоянии зарубежной сельскохозяйственной техники.

Количество тракторов, достаточное для получения достоверных результатов, определялось в соответствии с положениями руководящих отраслевых документов [2].

Таким образом, численность выборки, которая позволила бы оценить готовность машин с точностью не менее 5% при доверительной вероятности $P = 0,95$ составила 12. При достижении количества отказов равного расчетной выборке по каждому находящемуся под наблюдением трактору он выходил из подконтрольной эксплуатации, наблюдения за ним прекращались.

С учетом выражения (1) в результате наблюдений за группой иностранных тракторов, в специальный журнал записывались данные о времени простоя, наработке на момент возникновения эксплуатационных отказов, всего 144 значения по каждому показателю. Расчет значений коэффициента использования ресурса за эксплуатационный цикл трактора проводился уже после проведения эксперимента аналитическим способом [10].

Результаты расчета значений средней наработки на отказ $\bar{x}_{\text{нр}}$, среднего времени простоя $\bar{t}_{\text{нр}}$, среднесуточной наработки $q_{\text{уп}}$, коэффициента технической готовности $K_{\text{ТГ}}$ и времени удельного простоя B_p помещены в таблицу.

В результате математического моделирования эксперимента получено уравнение регрессии

$$K_{\text{ТГ}} = 0,8 + 0,00032 \bar{x}_{\text{нр}} + 0,00017 \bar{t}_{\text{нр}} - 0,0125 q_{\text{уп}}. \quad (4)$$

Для нахождения оптимального значения функции отклика проводится решение уравнения математической модели (4) на максимум, приравнявая первые производные к нулю. Полученная в результате его дифференцирования по каждому из факторов система нормальных уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dK_{\text{ТГ}}}{d\bar{x}_{\text{нр}}} = 0,00017 \bar{t}_{\text{нр}} + 0,0125 q_{\text{уп}} - 0,00032 = 0 \\ \frac{dK_{\text{ТГ}}}{d\bar{t}_{\text{нр}}} = 0,00032 \bar{x}_{\text{нр}} + 0,0125 q_{\text{уп}} - 0,00017 = 0 \\ \frac{dK_{\text{ТГ}}}{dq_{\text{уп}}} = 0,00032 \bar{x}_{\text{нр}} + 0,00017 \bar{t}_{\text{нр}} - 0,0125 = 0 \end{cases}. \quad (5)$$

Статистические данные работоспособности импортных тракторов

Марка трактора	\bar{x}_{np} , мото-ч	\bar{t}_{np} , ч	q_{np} , мото-ч	$K_{гг}$	V_p , час/мото-ч
NH TD5.90	150	12,0	4,86	0,72	0,08
NH TD5.110	140	5,6	5,86	0,81	0,04
NH T6090	165	21,5	1,92	0,80	0,13
Case IH 290	305	24,4	3,5	0,78	0,08
Case IH 315	350	24,5	3,1	0,82	0,07
NH T8.330	250	12,5	3,53	0,85	0,05
Case IH 340	280	44,8	1,66	0,79	0,16
NH T8.360	400	24,0	2,06	0,89	0,06
NH T8.390	198	59,4	0,99	0,77	0,30
Case IHSTX500	175	28,0	0,69	0,90	0,16
NH T9.505	125	32,5	1,9	0,80	0,26
NH T9.615	210	27,3	0,55	0,91	0,13

Полученные в результате решения системы уравнений значения точки экстремума уравнения модели $\bar{x}_{np} = 386$, $\bar{t}_{np} = 1$, $q_{np} = 0,1$ показали, что при снижении среднего времени простоя \bar{t}_{np} до 1 ч значение наработки на отказ равно 386 мото-ч, при максимальном значении $K_{гг} = 0,93$ и коэффициенте использования ресурса за эксплуатационный цикл трактора $q_{np} = 0,1$. Оптимальные значения факторов не всегда возможно реализовать на практике [11] по причине того, что расчет коэффициента использования ресурса тракторов производится в самом конце эксплуатационного цикла тракторов. Управление моделью осуществляется отклонением от оптимума других

управляемых факторов \bar{t}_{np} и \bar{x}_{np} , взаимосвязь между которыми выражается удельным временем простоя V_p , снижение которого может быть достигнуто путем оперативной замены отказавшего элемента при техническом сервисе новым или отремонтированным. Необходимое количество элементов должно находиться на хранении на складах фонда сменно-обменных элементов.

Предельное (максимальное) значение коэффициента технической готовности достигается применением сменно-обменных элементов при техническом сервисе импортных сельскохозяйственных тракторов, уменьшением величины удельного простоя машин и снижением общих затрат (рис. 1).

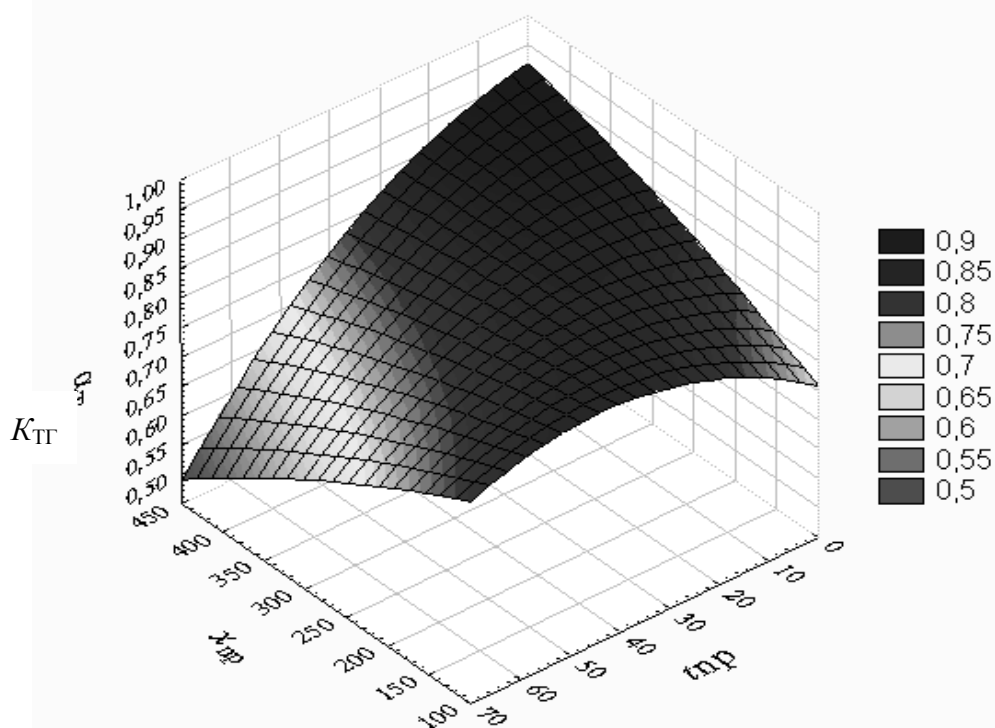


Рис. 1. Зависимость коэффициента готовности от параметров удельного простоя тракторов

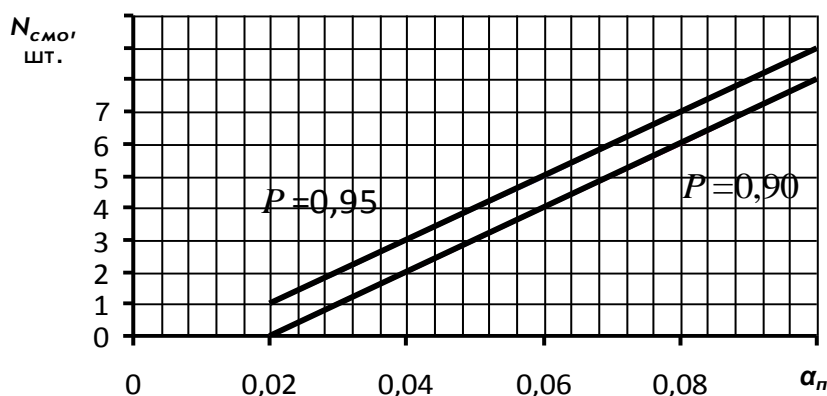


Рис. 2. Номограмма для расчета количества невосстанавливаемых элементов (фильтры, сальники, прокладки и др. трактора) NH T8.390

Результаты имитационного моделирования подтвердили гипотезу о повышении коэффициента технической готовности за счет снижения времени удельного простоя.

Общее время простоя $t_{пр}$ состоит из суммы отрезков времени, характеризующих несколько логистических шагов, связанных со снятием, оформлением, ремонтом и доставкой необходимого элемента:

$$t_{пр} = t_{об.э} = t_{од} + t_{дп} + t_d + t_з + t_p, \quad (6)$$

где $t_{од}$ – время оформления сопроводительной документации, ч;

t_d – время доставки элемента, ч;

$t_{дп}$ – время доступа при замене, ч;

$t_з$ – время замены элемента, ч;

t_p – время ремонта, ч.

Количественный состав фонда сменно-обменных элементов при устранении эксплуатационных отказов определялся на основании расчетов приведенной плотности потока заявок на замену элементов α_n и номограммы при достоверности 0,95 и 0,9 на каждую тысячу мото-ч наработки (рис. 2).

$$N_{смo} = \alpha_n P, \quad (7)$$

где α_n – приведенная плотность потока заявок на замену элементов;

P – вероятность замены элемента;

$N_{смo}$ – количество элементов, шт.

В свою очередь

$$\alpha_n = \frac{t_{об.э}}{t_{cc}}, \quad (8)$$

где $t_{об.э}$ – время оборота элемента, ч;

t_{cc} – срок службы элемента, ч.

Номенклатурный состав фонда сменно-обменных элементов должен определяться при помощи табличных значений, получаемых в результате расчета приведенной плотности потока отказов для всех структурных элементов трактора, вышедших из строя в процессе эксплуатации. Данные о наработках на

момент возникновения ресурсных отказов исследовались с учетом баз данных дилерских организаций, завода-производителя и личных наблюдений.

Вывод

Взаимосвязь между факторами $\bar{t}_{пр}$ и $\bar{X}_{пр}$ выражается удельным временем простоя $V_{р.}$, снижение которого, в свою очередь, достигнуто путем оперативной замены отказавшего элемента новым или отремонтированным. Получена математическая модель, описывающая процесс обеспечения работоспособности импортной техники в реальных условиях с применением сменно-обменных элементов. Установлены критические точки математической модели, получена поверхность отклика коэффициента технической готовности $K_{ТГ}$ от факторов $\bar{t}_{пр}$ и $\bar{X}_{пр}$. Разработана номограмма для определения количественного состава сменно-обменных элементов при техническом сервисе тракторов, дана табличная информация для расчета номенклатуры сменно-обменных элементов при техническом сервисе тракторов.

Библиографический список

1. Бураев М.К., Охотин М.В. Производственно-техническая эксплуатация тракторного парка Байкальского региона: монография. – Иркутск: ИргСХА, 2013. – 219 с.
2. РД 50-690-89 Методические указания. Надежность в технике.
3. Шистеев А.В., Бураев М.К. Восстановление работоспособности импортной сельскохозяйственной техники с использованием сменно-обменных элементов // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 3. – С. 7-15.
4. Шистеев А.В., Бураев М.К. Логистическая оценка использования фонда сменно-обменных элементов при техническом серви-

се импортной сельскохозяйственной техники / Повышение ремонтной технологичности тракторов применением сменно-обменных элементов // Матер. III Междунар. науч.-практ. конф. посвящ. 80-летию образования ИрГСХА (27-29 мая 2014 г.) – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2014. – С. 133-137.

5. Бойко Н.И., Самаян В.Г., Хачкина-ян А.Е. Сервис самоходных машин и автотранспортных средств: учебное пособие // Ростов н/Д.: Феникс, 2007. – 512 с.

6. Буряев М.К., Овчинникова Н.И., Аносова А.И., Шистеев А.В. Повышение работоспособности тракторов в сельском хозяйстве // Вестник ВСГУТУ. – 2015. – № 6. – С. 20-26.

7. Шистеев А.В., Луговнин С.Ю., Раднагуруев С.Б. Методы расчета обменного фонда агрегатов // Актуальные вопросы технического, технологического и кадрового обеспечения АПК: матер. VI науч.-практ. конф. с междунар. участием «Чтения И.П. Терских», посвящ. 80-летию Иркутской государственной сельскохозяйственной академии (25-26 сентября 2014 г.). – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2014. – С. 150-155.

8. Шистеев А.В., Буряев М.К. Повышение ремонтной технологичности сельскохозяйственных тракторов применением сменно-обменных элементов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Экологическая безопасность и перспективы развития аграрного производства Евразии», 3-4 декабря 2013 г. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2013. – С. 13-15.

9. ГОСТ 17510-72. Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений.

10. Шистеев А.В., Буряев М.К. Резервы системы обслуживания импортной сельскохозяйственной техники // Вестник Алтайского ГАУ. – 2015. – № 6. – С. 120-124.

11. Юдин М.И. Планирование эксперимента и обработка его результатов: монография. – Краснодар: КГАУ, 2004. – 239 с.

References

1. Buraev M.K., Okhotin M.V. Proizvodstvenno-tekhnicheskaya ekspluatatsiya traktornogo parka Baikal'skogo regiona: monografiya. – Irkutsk: IrGSKhA, 2013. – 219 s.

2. RD 50-690-89 Metodicheskie ukazaniya. Nadezhnost' v tekhnike.

3. Shisteev A.V., Buraev M.K. Vostanovlenie rabotosposobnosti importnoi

sel'skokhozyaistvennoi tekhniki s ispol'zovaniem smenno-obmennyykh elementov // Vestnik KrasGAU. – 2015. – № 3. – S. 7-15.

4. Shisteev A.V., Buraev M.K. Logisticheskaya otsenka ispol'zovaniya fonda smenno-obmennyykh elementov pri tekhnicheskome servise importnoi sel'skokhozyaistvennoi tekhniki / Povyshenie remontnoi tekhnologichnosti traktorov primeneniem smenno-obmennyykh elementov // Materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii posvyashchennoi 80-letiyu obrazovaniya IrGSKhA (27-29 maya 2014 g.) – Irkutsk: Izd-vo IrGSKhA, 2014. – S. 133-137.

5. Boiko N.I., Sanamyan V.G., Khachkinayan A.E. Servis samokhodnykh mashin i avtotransportnykh sredstv: ucheb. posobie. – Rostov n/D.: Feniks, 2007. – 512 s.

6. Buraev M.K., Ovchinnikova N.I., Anosova A.I., Shisteev A.V. Povyshenie rabotosposobnosti traktorov v sel'skom khozyaistve // Vestnik VSGUTU. – 2015. – № 6. – S. 20-26.

7. Shisteev A.V., Lugovnin S.Yu., Radnagu-ruiev S.B. Metody rascheta obmennogo fonda agregatov // Aktual'nye voprosy tekhnicheskogo, tekhnologicheskogo i kadrovogo obespecheniya APK: Materialy VI nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Chteniya I.P. Terskikh», posvyashchennoi 80-letiyu Irkutskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii (25-26 sentyabrya 2014 g.). – Irkutsk: Izd-vo IrGSKhA, 2014. – S. 150-155.

8. Shisteev A.V., Buraev M.K. Povyshenie remontnoi tekhnologichnosti sel'skokhozyaistvennykh traktorov primeneniem smenno-obmennyykh elementov // Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Ekologicheskaya bezopasnost' i perspektivy razvitiya agrarnogo proizvodstva Evrazii», 3-4 dekabrya 2013 g. – Irkutsk: Izd-vo IrGSKhA, 2013. – S. 13-15.

9. GOST 17510-72. Nadezhnost' izdelii mashinostroeniya. Sistema sbora i obrabotki informatsii. Planirovanie nablyudenii.

10. Shisteev A.V., Buraev M.K. Rezervy sistemy obsluzhivaniya importnoi sel'skokhozyaistvennoi tekhniki // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 6. – S. 120-124.

11. Yudin M.I. Planirovanie eksperimenta i obrabotka ego rezul'tatov: monografiya. – Krasnodar: KGAU, 2004. – 239 s.

