



Исследование влияния сложности технического исполнения и номенклатурно-количественного состава сельскохозяйственной техники на показатель ее утилизируемости

И. Н. Кравченко¹, Ю. С. Мигачев², Ю. А. Кузнецов³,
А. М. Давыдкин^{4*}, М. Н. Ерофеев⁵

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»
(г. Москва, Российская Федерация)

²ФГКВБОУ ВО «Военная академия радиационной, химической и биологической защиты имени Маршала Советского Союза С. К. Тимошенко (г. Кострома, Российская Федерация)

³ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина» (г. Орёл, Российская Федерация)

⁴ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва»
(г. Саранск, Российская Федерация)

⁵ФГБУН «Институт машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук» (г. Москва, Российская Федерация)

*aldavydkin@yandex.ru

Введение. Рациональная утилизация сельскохозяйственной техники, отработавшей свой ресурс, является актуальной проблемой современного агропромышленного комплекса. В связи с этим реализация мероприятий по использованию физической модели утилизации отработавшей сельскохозяйственной техники является решением проблем вторичного использования ресурсов.

Материалы и методы. Статистические исследования экспериментальных данных и получение регрессионной модели осуществлялось с использованием метода парного линейного регрессионного анализа. С применением регрессионного уравнения проведен расчет значений показателя утилизируемости по всему номенклатурному составу сельскохозяйственной техники, а также его среднего значения.

Результаты исследования. На основании анализа показателей технического состояния высвобождаемых изделий установлено, что для создания концептуальной модели утилизируемости сельскохозяйственной техники предпочтительно использовать четыре основные группы показателей: техническое состояние, материалоемкость, технологичность и безопасность комплектующих. Предложенная группа определяет возможность проведения утилизации объекта, придавая ему общее свойство утилизируемости. Приведены результаты исследований влияния показателей сложности конструкций и технического исполнения, состояния и номенклатурно-количественного состава сельскохозяйственной техники на показатель ее утилизируемости.

Обсуждение и заключение. По результатам исследований разработана концептуальная физическая модель утилизируемости сельскохозяйственной техники, позволяющая планировать мероприятия по утилизации различных видов сельскохозяйст-

© Кравченко И. Н., Мигачев Ю. С., Кузнецов Ю. А., Давыдкин А. М., Ерофеев М. Н., 2020



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

венной техники при проведении сопоставительного анализа всего номенклатурного состава с наибольшей эффективностью. Принятые ограничения позволяют проводить оценку технического состояния и утилизируемости сельскохозяйственной техники с использованием концептуальной физической модели утилизируемости. Установлены закономерности между временем хранения, сложностью технического исполнения, материалоемкостью, количественным составом (объемом утилизации) и показателем утилизируемости сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: физическая модель утилизируемости, номенклатурно-количественный состав, конструктивные особенности сельскохозяйственной техники, фактическое состояние, показатель утилизируемости

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Исследование влияния сложности технического исполнения и номенклатурно-количественного состава сельскохозяйственной техники на показатель ее утилизируемости / И. Н. Кравченко, Ю. С. Мигачев, Ю. А. Кузнецов [и др.]. – DOI 10.15507/2658-4123.030.202004.683-698 // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 4. – С. 683–698.

Original article

Studying the Influence of the Technical Performance Complexity and the Nomenclature and Quantitative Composition of Agricultural Machinery on Its Recyclability Rate

I. N. Kravchenko^a, Y. S. Migachev^b, Yu. A. Kuznetsov^c,
A. M. Davydkin^{d*}, M. N. Erofeev^e

^aRussian Timiryazev State Agrarian University
(Moscow, Russian Federation)

^bMilitary Academy of Radiation, Chemical and Biological Defense
named after Marshal of the Soviet Union S. K. Timoshenko
(Kostroma, Russian Federation)

^cOrel State Agrarian University (Orel, Russian Federation)

^dNational Research Mordovia State University
(Saransk, Russian Federation)

^eMechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy
of Sciences (Moscow, Russian Federation)

*aldavydkin@yandex.ru

Introduction. Rational recycling of agricultural machinery, which has reached the end of its service life, is an urgent problem of the modern agro-industrial complex. In this regard, using the physical model for recycling agricultural machinery, reached its service life, is a solution to the problem of resource recycling.

Materials and Methods. The paired linear regression analysis method was used to conduct statistical research of experimental data and develop a regression model. The authors calculated the recyclability rate values for the entire agricultural machinery nomenclature and its average value through using regression equation.

Results. Based on the analysis of indicators for technical condition of being recycled products, it was established that for developing a conceptual model of agricultural machinery recycling, it is preferable to use four main groups of indicators: technical condition, material capacity, manufacturability, and safety of components. The proposed group of indicators determines the possibility of recycling the machinery units. The results of researching the influence of indicators of design complexity, technical performance, condition, nomenclature and quantitative composition of agricultural machinery on the recyclability are presented.

Discussion and Conclusion. According to the research results, a conceptual physical model for recyclability of agricultural machinery was developed that allows planning more effectively measures for recycling various types of agricultural machinery when conducting a comparative analysis of the entire nomenclature composition. The adopted restrictions allow estimating the technical condition and recyclability of agricultural machinery using the conceptual physical model of recyclability. The relationships between the storage time, complexity of technical performance, material capacity, quantitative composition (volume of recycling) and recyclability rate of agricultural machinery are revealed.

Keywords: physical model of recyclability, nomenclature and quantitative composition, design features of agricultural machinery, actual condition, recyclability rate

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Kravchenko I.N., Migachev Y.S., Kuznetsov Yu.A., et al. Studying the Influence of the Technical Performance Complexity and the Nomenclature and Quantitative Composition of Agricultural Machinery on Its Recyclability Rate. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2020; 30(4):683-698. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202004.683-698>

Введение

Высокие темпы механизации производственных процессов в агропромышленном комплексе определяют необходимость многократного использования ресурсов, входящих в состав сельскохозяйственной техники и технологического оборудования¹ [1; 2].

Утилизация сельскохозяйственной техники, завершившей свой жизненный цикл, является составной частью проблемы рационального использования ресурсов, вовлекаемых в процессы производства и потребления. В этой связи для решения проблемы вторичного использования ресурса отработавшей техники предлагается использовать физическую модель, позволяющую реализовать алгоритм утилизации сельскохозяйственной техники² [3; 4].

Обзор литературы

Анализ и обобщение результатов исследований по определению степени влияния на общий показатель утилизируемости продемонстрировал, что техническое состояние сельскохозяйственной техники является определяющим при оценке утилизируемости [5; 6]. Следовательно, возникает необходи-

мость определения факторов, влияющих на техническое состояние техники с целью эффективного проведения процесса утилизации.

Изменение технического состояния сельскохозяйственной техники происходит под влиянием тех же факторов, которые сопровождали ее на этапе эксплуатации и хранения. Усиление влияния факторов, появляющихся при старении изделия, обусловлено изменением (ухудшением) условий хранения списанных средств и оказывает существенное влияние на сохраняемость технических и физико-химических свойств материалов.

Факторы, влияющие на общее техническое состояние изделий, можно условно разделить на две группы: объективные и субъективные.

К объективным факторам относятся различные неблагоприятные для изделий условия внешней среды, связанные с климатическими, метеорологическими, биологическими, механическими и другими воздействиями.

Субъективные факторы зависят от деятельности человека. К ним относятся мероприятия, связанные с обеспечением нормальных условий проведения

¹ Утилизация техники в системе АПК / Н. В. Алдошин [и др.]. М.: Триада, 2014. 222 с.

² Утилизация сельскохозяйственной техники: проблемы и решения / С. А. Соловьев [и др.]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. 172 с.

разукомплектации и утилизации, а также решений, направленных на сохранение полезных свойств и характеристик образцов в процессе подготовки и проведения утилизации.

Результаты ранее проведенных исследований показывают, что в большинстве случаев на утилизируемость сельскохозяйственной техники, находящейся в течение продолжительного периода на хранении, оказывают влияние процессы старения, коррозии и другие факторы, проявляющиеся со временем [7–10]. При этом скорость протекания этих процессов существенно зависит от качества применяемых материалов, конструкции, технологии изготовления, условий эксплуатации, применяемых методов и средств противокоррозионной защиты.

Причиной старения являются сложные физико-химические процессы, происходящие в элементах конструкции, веществ и материалов. К ним относятся структурные изменения в диэлектриках, химические превращения в связывающих и пропиточных материалах, нарушение электрической и механической прочности материалов и элементов конструкции, нарушение герметизации, повышение водопроницаемости материалов и т. д.

Ввиду того, что основную долю конструктивных материалов, используемых при изготовлении машин, составляют различные металлы и их сплавы, наибольшее отрицательное влияние на сохраняемость физико-химических свойств и характеристик сельскохозяйственной техники оказывает коррозия (самопроизвольное разрушение металлов вследствие химического и электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой). К коррозионным процессам относятся процессы, связанные с появлением на поверхности металлов продуктов коррозии или окисных пленок под воздействием влажности или агрессивных компонентов внешней среды.

Анализ данных ряда научных исследований показывает, что наибольшее влияние на уровень сохраняемости технических характеристик оказывают температура воздуха, влажность, солнечная радиация и коррозионно-активные агенты [11; 12].

Среди технологичных (эксплуатационных) факторов, оказывающих существенное влияние на способность изделия к переработке, можно выделить время проведения утилизации после списания образца. Данный фактор влияет на продолжительность проведения разукомплектации при подготовке к проведению утилизации, а также на сохранение показателя материалоемкости изделия. Изменение технического и качественного состояния изделий приводит к снижению уровня утилизируемости, который может быть оценен с использованием таких показателей, как продолжительность разборки и изменение материалоемкости изделий.

При утилизации изделий в течение первых пяти лет после списания наблюдается резкое увеличение времени разборки образцов по причине прогрессирующих процессов старения отдельных деталей (коррозия, изменение механических свойств) в результате изменившихся условий хранения [13–15]. Показатель утилизируемости образцов резко уменьшается со временем, что обусловлено изменением и ухудшением полезных свойств изделий из пластмассы, резины, дерева, кожи и материалов на текстильной и бумажной основе. В дальнейшем время разборки несколько стабилизируется, однако с сохранением тенденции, направленной на дальнейшее увеличение.

Обобщение опытных данных по оценке степени утилизируемости сельскохозяйственной техники, находящейся на хранении от влияния климатических и биологических факторов показывает, что среднее время разборки образцов увеличивается в 1,4–2,6 раза [16–18].

Материалы и методы

С использованием метода парного линейного регрессионного анализа проведены исследования зависимостей влияния основных показателей K_M , K_T и K_{TC} на комплексный показатель утилизируемости.

В качестве функции отклика использовался показатель утилизируемости сельскохозяйственной техники F_y . В качестве исследуемых факторов выбраны групповые показатели K_M , K_T и K_{TC} .

Интервалы варьирования факторов, а также расчетные значения показателя утилизируемости по номенклатурному составу сельскохозяйственной техники приведены в таблице 1.

Характер установленной зависимости описывается регрессионным уравнением вида:

$$F_y = 0,441 + 0,174K_{TC} + 0,021K_M - 0,173K_T - 0,091K_B. \quad (1)$$

С использованием регрессионного уравнения (1) проведен расчет значений показателя утилизируемости по всему номенклатурному составу сельскохозяйственной техники, а также его среднего значения, составившего 0,464 отн. ед.

Экспериментальные данные показателя утилизируемости F_{yi} , результаты расчетов по регрессионному уравнению P_{yi}^p , значения групповых показателей утилизируемости, а также среднее квадратическое отклонение экспериментальных данных от расчетных S_y представлены в таблице 2.

Адекватность расчетных значений экспериментальным данным подтвер-

Т а б л и ц а 1

T a b l e 1

Расчетные значения показателя утилизируемости по номенклатурному составу сельскохозяйственной техники

Calculated values of the utilization index for the nomenclature composition of agricultural machinery

Номенклатурный состав техники / Nomenclature of equipment	Значения групповых показателей и интервалы их варьирования, отн. ед. / Values of group indicators and intervals of their variation, relative unit							
	K_T		K_M		K_B		K_{TC}	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Сельскохозяйственная техника / Agricultural machinery	0,66	0,99	0,01	0,33	0,01	0,33	0,66	0,99

Т а б л и ц а 2

T a b l e 2

Экспериментальные и расчетные значения показателей утилизируемости

Experimental and calculated utilization values

Номенклатурный состав техники / Nomenclature of equipment	Экспериментальные значения групповых показателей, отн. ед. / The experimental values of the group indicators, relative unit				F_{yi} , отн. ед. / F_{yi} , relative unit	P_{yi}^p , отн. ед. / P_{yi}^p , relative unit	S_y , отн. ед. / S_y , relative unit
	K_T	K_M	K_B	K_{TC}			
Сельскохозяйственная техника / Agricultural machinery	0,35	0,62	0,15	0,95	0,560	0,546	0,0208

ждена натурными испытаниями. Общий объем отходов после проведения утилизации сельскохозяйственной техники составил $48,4 \pm 5 \%$.

Анализ экспериментальных данных показал, что полученное уравнение адекватно (с доверительной вероятностью 0,95 и $F_T = 3,38$, $F_p = 383,9$) описывает характер зависимости в выбранных интервалах исследованных факторов. При этом установлено, что в качестве показателей, в большей степени определяющих способность машин к утилизации, нужно выделить K_{TC} и K_T . При увеличении K_{TC} и K_M показатель утилизируемости возрастает.

Показатели K_M и K_B в меньшей степени будут влиять на комплексный показатель утилизируемости. При увеличении K_B и K_T комплексный показатель утилизируемости будет уменьшаться.

На основании проведенных исследований закономерностей влияния технического состояния, технологичности конструктивных особенностей, материалоемкости машин и безопасности ком-

плекующих на общий показатель утилизируемости сельскохозяйственной техники установлено, что в зависимости от выбранного направления утилизации, номенклатурно-количественного состава машин, а также их технического состояния доля утилизируемой техники может изменяться в пределах от 34 до 99 %.

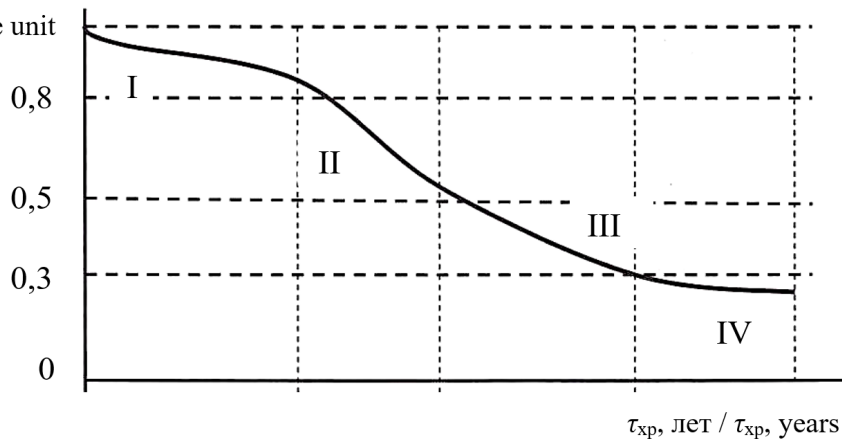
Полученные экспериментальные данные с использованием комплексного показателя утилизируемости и методики его применения использованы при обосновании предложений по номенклатуре и объемам сельскохозяйственной техники.

Между временем хранения подлежащей утилизации сельскохозяйственной техники и показателем утилизируемости существуют закономерные связи. Изменение показателя утилизируемости F_y в зависимости от срока хранения после списания τ_{xp} показано на рисунке 1.

В результате длительной эксплуатации или продолжительного хранения

F_y , отн. ед. /

F_y , relative unit



Р и с. 1. Зависимость показателя утилизируемости от времени хранения подлежащей утилизации сельскохозяйственной техники: I – этап эксплуатации и хранения; II – этап эффективной утилизации; III – этап остаточной утилизации; IV – этап образования отходов

F i g. 1. Dependence of the recyclability rate on the storage time of agricultural machinery to be recycled: I – stage of operation and storage; II – stage of effective disposal; III – stage of residual disposal; IV – stage of waste generation

изделий в течение первого периода со временем происходит изменение технических характеристик. Это объясняется необратимыми изменениями параметров элементов, что в конечном итоге приводит к предельным срокам эксплуатации и хранения и далее к списанию образца. Данный период характеризуется изменением параметров утилизируемости изделий и веществ с 1,0 до 0,8 отн. ед. и $\tau_{\text{кр}}$, являющегося назначенным временем эксплуатации или хранения.

На данном этапе проводят утилизацию по направлениям: разуконплектацни техники и использования составных частей для сборки нового образца (комплектующих); замены, ремонта некондиционных комплектующих на исправные и отправки образца на дальнейшее хранение или эксплуатацию; использования образца по новому назначению после проведения доработки или переоснащения.

После списания сельскохозяйственной техники наступает второй период (период эффективной утилизации), характеризуемый значительным возрастанием процессов старения элементов и резким уменьшением параметров показателя утилизируемости со временем. Данный период характеризуется изменением параметров показателя утилизируемости изделий и веществ с 0,8 до 0,5 отн. ед. и $\tau_{\text{эу}}$, являющегося временем проведения эффективной утилизации сельскохозяйственной техники. На этом этапе проводят переработку компонентов и материалов с получением изделий и материалов для дальнейшего использования [19; 20].

Если на втором этапе утилизация техники произведена не была, наступает третий период остаточной утилизации, характеризуемый дальнейшим старением образцов. Данный период обладает показателем утилизируемости с параметрами от 0,5 до 0,3 отн. ед.

Если на третьем этапе утилизация сельскохозяйственной техники произ-

ведена не была, наступает четвертый период, характеризуемый дальнейшим старением образцов и превращением их в неликвидные отходы, подлежащие уничтожению. Данный период имеет показатель утилизируемости с параметрами от 0,3 и ниже и время образования неликвидных отходов.

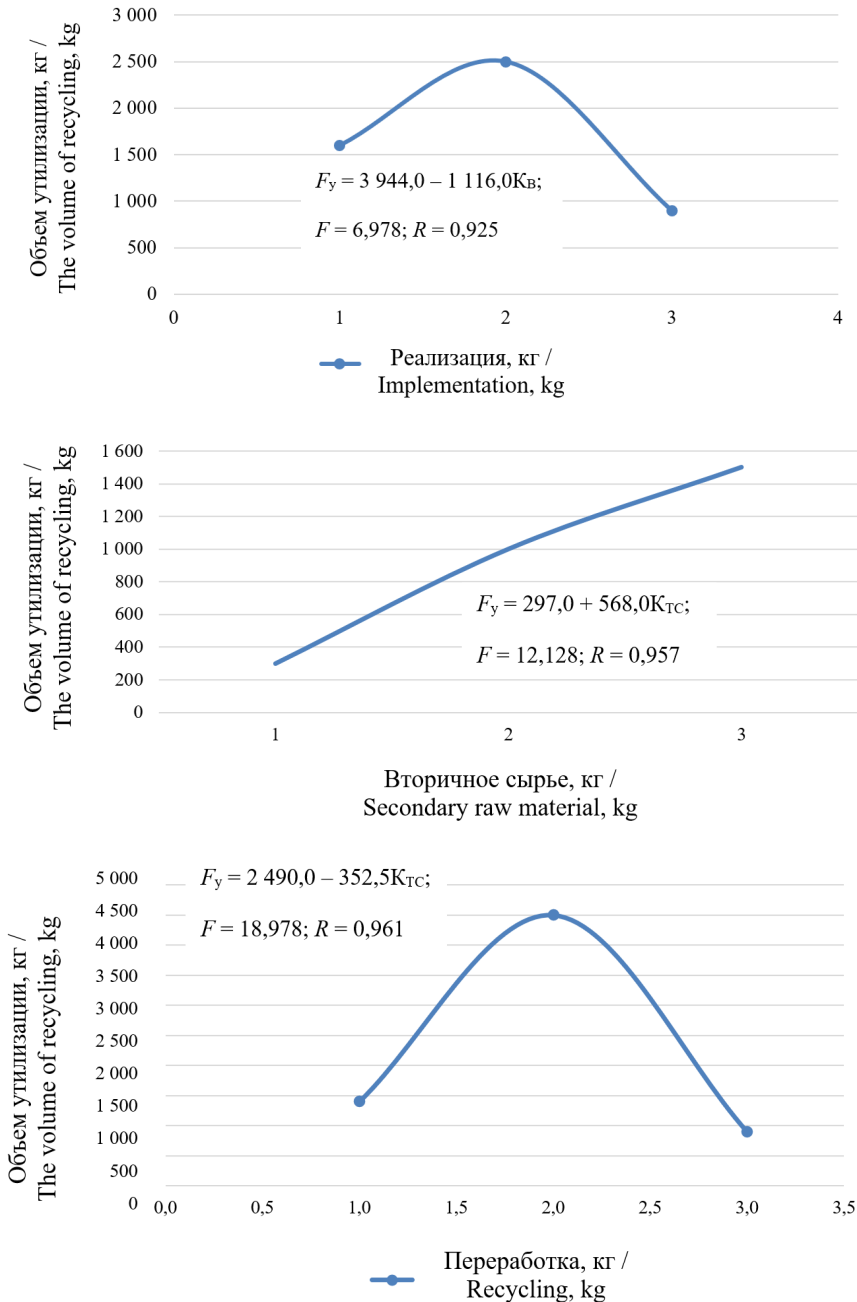
Указанная модель показывает, что эффективно планировать и проводить работы по утилизации целесообразно в первые два периода, характеризующиеся более высоким уровнем сохраняемости полезных свойств изделий, а соответственно, и показателя утилизируемости (рис. 1).

Результаты исследования

Проведенные исследования показали, что комплексное влияние климатических и эксплуатационных факторов на физическую природу процесса утилизируемости сельскохозяйственной техники сложно и разнообразно и определяется особенностью ее номенклатурного и количественного состава. Анализ номенклатурно-количественного состава сельскохозяйственной техники для проведения утилизации по выбранным направлениям показывает, что как объекты утилизации их можно разделить на следующие условные классы: объекты высокой сложности с преобладанием слесарно-механических, электротехнических и монтажных работ; объекты, характеризующиеся средней сложностью разуконплектацни как специального оборудования, так и базового шасси; объекты низкой сложности, характеризующиеся незначительным объемом работ по разуконплектацни и утилизации.

Между показателем утилизируемости и показателем сложности технического исполнения при проведении утилизации на разных этапах ее осуществления определены закономерные связи, представленные на рисунке 2.

Показатель материалоемкости и массовости объектов характеризуется количеством сельскохозяйственной техники.



Р и с. 2. Зависимости показателя утилизируемости от технического состояния сельскохозяйственной техники $K_{ТС}$ и соответствующие им значения коэффициента корреляции R и критерия Фишера F
 F i g. 2. Dependences of the recyclability rate on the technical condition of agricultural machinery $K_{ТС}$ and the corresponding values of the correlation coefficient R and the Fisher criterion F

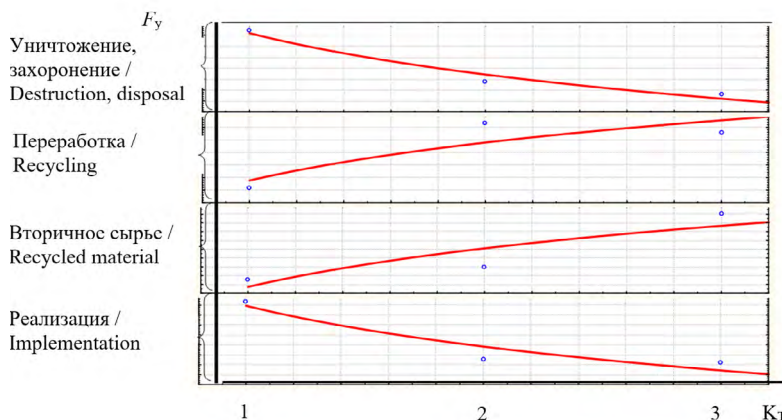
Материалоемкость образцов складывается из номенклатурно-количественного состава изделий и их весовых характеристик. Анализ состава высвобождаемых для проведения утилизации образцов показывает, что как объекты утилизации их можно разделить на следующие условные классы:

– средства с объемом утилизации от 1 до 5 тыс. т;

– средства с объемом утилизации от 5 до 10 тыс. т;

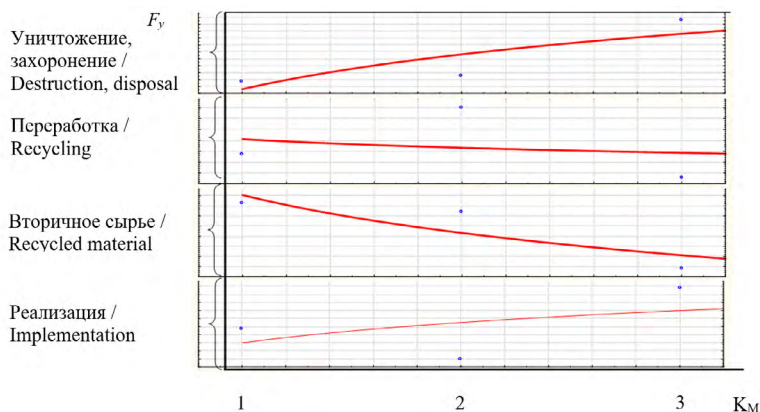
– средства с объемом утилизации от 10 тыс. т и выше.

На разных этапах осуществления утилизации между показателем утилизируемости и показателем материалоемкости существуют закономерные связи, представленные на рисунках 3 и 4.



Р и с. 3. Зависимость показателя утилизируемости от сложности технического исполнения сельскохозяйственной техники K_T : 1 – объекты низкой сложности; 2 – объекты средней сложности; 3 – объекты высокой сложности

Fig. 3. Dependence of the recyclability rate on the complexity of the technical performance of agricultural machinery K_T : 1 – objects of low complexity; 2 – objects of medium complexity; 3 – objects of high complexity



Р и с. 4. Зависимость показателя утилизируемости от материалоемкости и количественного состава (объема утилизации) сельскохозяйственной техники K_M : 1 – низкий объем; 2 – средний объем; 3 – большой объем утилизации

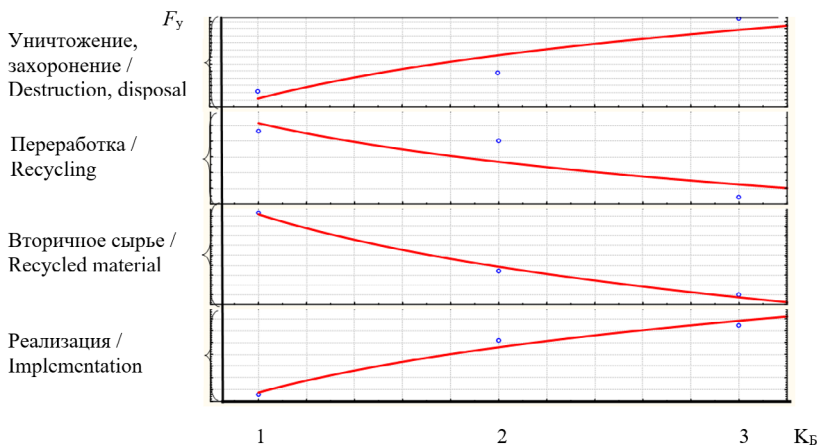
Fig. 4. Dependence of the recyclability rate on the material consumption and quantitative composition (volume of utilization) of agricultural machinery K_M : 1 – low volume; 2 – medium volume; 3 – large volume of recycling

Анализ данных по характеру и трудоемкости работ показал, что утилизация сельскохозяйственной техники требует наибольших затрат времени, финансовых, людских и материальных ресурсов.

Между показателем утилизируемости и показателем безопасности материалов K_B существуют зависимости, представленные на рисунке 5.

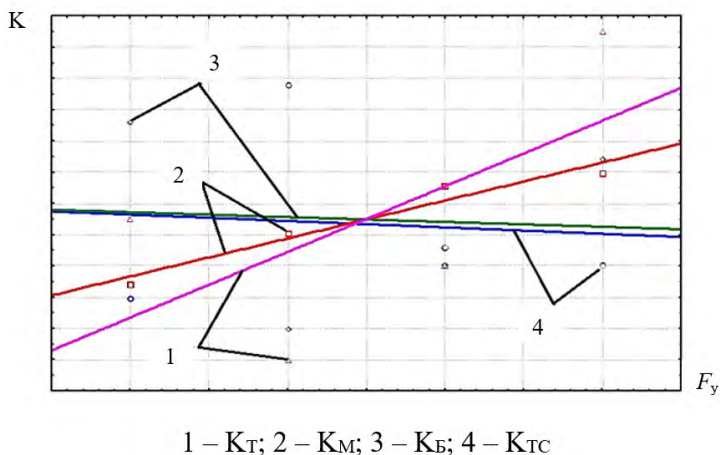
В целом совокупность утилизируемой сельскохозяйственной техники имеет сложную структуру по всем показателям, характеризующим образцы как объекты воздействия системы утилизации (рис. 6).

По схеме полного факторного эксперимента проведены исследования закономерностей влияния основных показателей K_M , K_B , K_T и K_{TC} на комплексный



Р и с. 5. Зависимость показателя утилизируемости от показателя безопасности материалов K_B :
1 – малоопасные; 2 – умеренно опасные; 3 – опасные

F i g. 5. Dependence of the recyclability rate on the safety index of materials K_B :
1 – low-risk; 2 – moderately dangerous; 3 – dangerous



Р и с. 6. Зависимость комплексного показателя утилизируемости от групповых показателей K
F i g. 6. Dependence of the complex recyclability rate on group indexes K

показатель утилизируемости F_y . Матрица исходных данных определения объемов утилизации сельскохозяйственной техники по выбранным направлениям и показателям в обобщенном виде представлены в таблице 3.

Установлено, что в качестве показателей, в большей степени определяющих способность техники к утилизации, являются K_{TC} и K_M , которые имеют прямо пропорциональный характер зависимости.

Показатели K_B и K_T в меньшей степени будут влиять на комплексный показатель утилизируемости. Данная зависимость имеет обратный пропорциональный характер, то есть при увеличении K_B и K_T комплексный показатель утилизируемости будет уменьшаться.

Проведенные исследования закономерностей влияния технического состояния образцов, технологичности конструктивных особенностей, материалоемкости и безопасности комплектующих на общий показатель утилизируемости сельскохозяйственной техники позволили установить, что в зависимо-

сти от выбранного направления утилизации и номенклатурно-количественного состава доля утилизируемых образцов может изменяться в пределах от 63 до 78 %. Кроме того, показано, что влияние технического состояния образцов и материалоемкости отработавшей техники на общий показатель утилизируемости носит прямолинейный прямо пропорциональный характер зависимости. Напротив, показатели технологичности конструктивных особенностей и безопасности комплектующих влияют на показатель утилизируемости в меньшей степени и носят прямолинейный обратный пропорциональный характер.

Полученные экспериментальные данные с использованием комплексного показателя утилизируемости и методики применения использованы при обосновании предложений по номенклатуре и объемам высвобождаемого имущества.

Обсуждение и заключение

Разработан научно-методический аппарат обеспечения утилизации сельскохозяйственной техники, включающий в себя поэтапное решение задач

Т а б л и ц а 3

T a b l e 3

Матрица исходных данных определения объемов утилизации сельскохозяйственной техники по выбранным направлениям и показателям

Matrix of initial data for determining the volume of recycling agricultural machinery in the selected areas and indicators

Показатель / Index	Объем утилизации в зависимости от направления использования утилизируемой техники, % / Volume of recycling depending on the direction of use of the recycled equipment, %			
	Реализация / Implementation	Использование как вторресурса / Use as secondary resources	Переработка с получением продуктов / Recycling for manufacturing produce products	Образование отходов / Waste generation
Техническое состояние, K_{TC} / Technical condition, K_{TC}	25,0	16,0	22,0	37,0
Материалоемкость, K_M / Materials consumption, K_M	20,8	24,1	27,1	27,9
Техническое исполнение, K_T / Technical performance, K_T	19,9	33,6	23,2	22,0
Безопасности, K_B / Safety, K_B	31,2	17,9	22,0	28,8

определения исходных данных, обоснования требований и способов утилизации, формирования управленческих решений в направлении их использования с применением новых методик оценки номенклатуры, объемов и сроков утилизации, технического состояния и категорирования, а также проведения технико-экономической оценки утилизации изделий.

Предложены категории подлежащей утилизации сельскохозяйственной техники по величине изменения нормативного значения контролируемого показателя технического состояния, позволяющего обоснованно определять приоритетные варианты утилизации машин с учетом требований к продуктам утилизации по трем категориям (реализация, промышленная переработка, использование в качестве вторичного сырья), соответствующим направлениям утилизации.

Разработан метод экспертно-аналитической оценки утилизируемости сельскохозяйственной техники, основанный на использовании обобщенного показателя утилизируемости, и определены параметры данного показателя, позволяющего решать задачу управления и определения уровня качества сельскохозяйственной техники.

Существенный вклад в снижение показателя утилизируемости вносит показатель сложности технического исполнения образцов, влияние которого обусловлено трудоемкостью работ, связанных с проведением разбраковки изделий. Увеличение доли комплектующих, входящих в состав изделий сельскохозяйственной техники, приводит к уменьшению показателя утилизируемости и обусловлено необходимостью создания дополнительных мер безопасности при проведении работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Герасимов, В. С. Утилизация как механизм обновления машинно-тракторного парка АПК России / В. С. Герасимов, Р. Ю. Соловьев, В. И. Игнатов // Труды ГОСНИТИ. – 2014. – Т. 115. – С. 19–24. – URL: <https://docplayer.ru/46913729-Utilizaciya-kak-mehanizm-obnovleniya-mashinno-traktornogo-parka-apk-rossii.html> (дата обращения: 05.11.2020). – Рез. англ.
2. Герасимов, В. С. Обоснование необходимости разработки системы утилизации сельскохозяйственной и лесной техники / В. С. Герасимов, Р. Ю. Соловьев, В. И. Игнатов // Лесной вестник. – 2014. – № 2 (101). – С. 28–34. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-neobhodimosti-razrabotki-sistemy-utilizatsii-selskohozyaystvennoy-i-lesnoy-tehniki/viewer> (дата обращения: 05.11.2020).
3. Герасимов, В. С. Основные направления и перспективы развития системы утилизации сельскохозяйственной техники / В. С. Герасимов, С. А. Соловьев // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 121. – С. 69–75. – Рез. англ.
4. Герасимов, В. С. Исследование условий и возможностей формирования системы утилизации сельскохозяйственной техники на примере предприятий АПК Краснодарского края / В. С. Герасимов, А. Г. Черноиванов, Р. Ю. Соловьев // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 121. – С. 61–68. – Рез. англ.
5. Методика определения величины утилизационного сбора для выведенной из эксплуатации самоходной техники / В. И. Игнатов, А. С. Дорохов, В. С. Герасимов, В. А. Денисов. – DOI 10.15507/2658-4123.029.201901.124-139 // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29, № 1. – С. 124–139. – URL: <http://vestnik.mrsu.ru/index.php/en/articles2-en/80-19-1/687-10-15507-0236-2910-029-201901-9> (дата обращения: 05.11.2020). – Рез. англ.
6. Игнатов, В. И. Утилизация и ремонт техники как элементы циркулярной экономики / В. И. Игнатов, В. С. Герасимов, М. С. Мордасова. – DOI 10.15507/2658-4123.030.202001.021-042 // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 1. – С. 21–42. – URL: <http://vestnik.mrsu.ru/index.php/en/articles2-en/88-20-1/751-10-15507-0236-2910-030-202001-2> (дата обращения: 05.11.2020). – Рез. англ.

7. Разработка интегрированной системы контроля качества технических изделий, вооружения и военной техники на этапах хранения и утилизации / И. Н. Кравченко, Ю. С. Мигачев, В. В. Кочуров, И. В. Лучин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2012. – № 7. – С. 25–30. – URL: http://www.nait.ru/journals/number.php?p_number_id=1669 (дата обращения: 05.11.2020). – Рез. англ.

8. **Игнатов, В. И.** Использование цифровых технологий при утилизации сельскохозяйственной техники / В. И. Игнатов, В. С. Герасимов, Д. В. Андреева // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2020. – № 6. – С. 49–58. – Рез. англ.

9. **Герасимов, В. С.** Создание вторичного рынка подержанной сельскохозяйственной техники в агропромышленном комплексе Российской Федерации / В. С. Герасимов // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 113. – С. 33–43. URL: <http://www.gosniti.com/publish1.html> (дата обращения: 05.11.2020). – Рез. англ.

10. **Алдошин, Н. В.** Контроль качества изделий вышедшей из эксплуатации техники / Н. В. Алдошин // Техника в сельском хозяйстве. – 2010. – № 4. – С. 30–33. – Рез. англ.

11. Структура автоматизированной системы формирования базы данных для эффективного управления процессами утилизации транспортных машин / И. Н. Кравченко, Н. В. Алдошин, Ю. А. Лесконог, Ю. А. Шамарин // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 2 (236). – С. 34–39. – URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/arkhiv-zhurnala-besplatnyj-dostup/download/56-arkhiv-zhurnala-za-2017/439-tekhnika-i-oborudovanie-dlya-sela-fevral-2-236-2017-g> (дата обращения: 05.11.2020). – Рез. англ.

12. Техника как особый вид отходов в системе утилизации машин / С. А. Соловьев, В. С. Герасимов, В. И. Игнатов, С. А. Буряков // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 6. – С. 2–5. – URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/arkhiv-zhurnala-besplatnyj-dostup/download/57-arkhiv-zhurnala-za-2016/431-tekhnika-i-oborudovanie-dlya-sela-6-228-iyun-2016-g> (дата обращения: 05.11.2020). – Рез. англ.

13. **Кравченко, И. Н.** Методика обоснования системы показателей утилизируемости технических средств сельскохозяйственного производства / И. Н. Кравченко, Н. В. Алдошин, Ю. А. Лесконог [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 3 (237). – С. 32–36. – URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/arkhiv-zhurnala-besplatnyj-dostup/download/56-arkhiv-zhurnala-za-2017/440-tekhnika-i-oborudovanie-dlya-sela-mart-3-237-2017-g> (дата обращения: 05.11.2020). – Рез. англ.

14. Методика оценки параметров и финансовых потоков в системе утилизации сельскохозяйственной техники и оборудования / В. С. Герасимов, Р. Ю. Соловьев, Ю. В. Трофименко, В. И. Игнатов // Техника и оборудование для села. – 2014. – № 8. – С. 37–40. – URL: <https://elib.pstu.ru/vufind/EdsRecord/edselr,edselr.21836508> (дата обращения: 05.11.2020). – Рез. англ.

15. Моделирование процессов формирования системы утилизации, выведенной из эксплуатации сельскохозяйственной техники / И. Н. Кравченко, Ю. А. Кузнецов, Ю. А. Лесконог [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 9 (243). – С. 39–44. – URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/arkhiv-zhurnala-besplatnyj-dostup/download/56-arkhiv-zhurnala-za-2017/446-tekhnika-i-oborudovanie-dlya-sela-sentyabr-9-243-2017-g> (дата обращения: 05.11.2020). – Рез. англ.

16. Recycling Technologies of Nickel-Metal Hydride Batteries: An LCA Based Analysis / L. Silvestri, A. Forcina, G. Arcese, G. Bella. – DOI 10.1016/j.jclepro.2020.123083 // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 273. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620331280?via%3Dihub> (дата обращения: 05.11.2020).

17. Modelling the Generation of Household Auto-mo-Biles in the Context Scrap of Urban-Rural Disparity: A Case Study of Nanjing, China / L. Zhang, W. Yuan, J. Songyan [et al.]. – DOI 10.1016/j.jclepro.2020.122237 // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 268. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620322848?via%3Dihub> (дата обращения: 05.11.2020).

18. **Jafari, M.** A Facile Chemical-Free Cathode Powder Separation Method for Lithium Ion Battery Resource Recovery / M. Jafari, M. M. Torabian, A. Bazargan. – DOI 10.1016/j.est.2020.101564 // Journal of Energy Storage. – 2020. – Vol. 31. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X19318316?via%3Dihub> (дата обращения: 05.11.2020).

19. **Dobrotă, D.** Improvement of Waste Tyre Recycling Technology Based on a New Tyre Markings / D. Dobrotă, G. Dobrotă, T. Dobrescu. – DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121141 // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 260. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620311884?via%3Dihub> (дата обращения: 05.11.2020).

20. Novel Approach for Clean Utilization of Complex Low-Grade Metal Resources Using Silicon as Metal Getter / Y. Lei, P. Qiu, W. Ma, Ch. Wang. – DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121063 // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 260. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620311100?via%3Dihub> (дата обращения: 05.11.2020).

Поступила 03.06.2020; принята к публикации 10.07.2020; опубликована онлайн 30.12.2020

Об авторах:

Кравченко Игорь Николаевич, профессор кафедры технического сервиса машин и оборудования ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), доктор технических наук, Researcher ID: B-9463-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>, kravchenko-in71@yandex.ru

Мигачев Юрий Сергеевич, начальник кафедры средств защиты от оружия массового поражения ФГКВУ ВО «Военная академия радиационной, химической и биологической защиты имени Маршала Советского Союза С. К. Тимошенко» (156015, Российская Федерация, г. Кострома, ул. Горького, д. 16), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9424-9875>, migatchov_yri@mail.ru

Кузнецов Юрий Алексеевич, профессор кафедры надежности и ремонта машин ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина» (302019, Российская Федерация, г. Орёл, ул. Генерала Родина, д. 69), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3699-8231>, kentury@yandex.ru

Давыдкин Александр Михайлович, доцент кафедры технического сервиса машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, Researcher ID: S-8297-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2984-2362>, aldavydkin@yandex.ru

Ерофеев Михаил Николаевич, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Институт машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук» (101990, Российская Федерация, г. Москва, Малый Харитоньевский пер., д. 4), доктор технических наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1048-3574>, erofeff2007@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

И. Н. Кравченко – научное руководство, формулирование основной концепции исследования и выводов; Ю. С. Мигачев – проведение исследований и подготовка начального варианта текста; Ю. А. Кузнецов – проведение критического анализа исследований, анализ и доработка текста; А. М. Давыдкин – анализ и построение графических зависимостей; М. Н. Ерофеев – подготовка и первичный анализ литературных данных, редактирование текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Gerasimov V.S., Soloviev R.Yu., Ignatov V.I. Recycling as a Mechanism to Update the Machine-Tractor Fleet of the Russian Agroindustrial Complex. *Trudy GOSNITI = Works of GOSNITI*. 2014; 115:19-24. Available at: <https://docplayer.ru/46913729-Utilizaciya-kak-mehanizm-obnovleniya-mashinno-traktornogo-parka-apk-rossii.html> (accessed 05.11.2020). (In Russ.)

2. Gerasimov V.S., Solovev R.Yu., Ignatov V.I. [Justification of the Need to Develop a System for Recycling Agricultural and Forestry Equipment]. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*. 2014; (2):28-34.

Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-neobhodimosti-razrabotki-sistemy-utilizatsii-selskokozyaystvennoy-i-lesnoy-tehniki/viewer> (accessed 05.11.2020). (In Russ.)

3. Gerasimov V.S., Soloviev S.A. The Main Directions and Prospects of Development of System of Recycling of Agricultural Machinery. *Trudy GOSNITI = Works of GOSNITI*. 2015; 121:69-75. (In Russ.)

4. Gerasimov V.S., Chernovanov A.G., Solovyev R.Yu. Researching the Conditions for the Possibility of the Formation of a System of Utilisation for Agricultural Equipment Based on AIC Enterprises of the Krasnodar Region. *Trudy GOSNITI = Works of GOSNITI*. 2015; 121:61-68. (In Russ.)

5. Ignatov V.I., Dorokhov A.S., Gerasimov V.S., et al. The Principles for Determining Recycling Fee on Decommissioned Equipment. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems*. 2019; 29(1):124-139. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201901.124-139>

6. Ignatov V.I., Gerasimov V.S., Mordasova M.S. Disposal and Repair of Equipment as Circular Economy Elements. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems*. 2020; 30(1):21-42. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202001.021-042>

7. Kravchenko I.N., Migachyov Yu.S., Kochurov V.V., et al. Development of Integrated Quality Control System of Technical Products, Armament and Military Equipment at Stages of Storage and Utilization. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya = Repair. Restoration. Modernization*. 2012; (7):25-30. Available at: http://www.nait.ru/journals/number.php?p_number_id=1669 (accessed 05.11.2020). (In Russ.)

8. Ignatov V.I., Gerasimov V.S., Andreeva D.V. Use of Digital Technology in Agricultural Machinery Recycling. *Selskokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont = Agricultural Machinery: Maintenance and Repair*. 2020; (6):49-58. (In Russ.)

9. Gerasimov V.S. Creating a Secondary Market of Used Agricultural Machinery in the Agricultural Complex of the Russian Federation. *Trudy GOSNITI = Works of GOSNITI*. 2013; 113:33-43. Available at: <http://www.gosniti.com/publish1.html> (accessed 05.11.2020). (In Russ.)

10. Aldoshin N.V. Control of Quality of Products from Coming Out of Use Technique. *Tekhnika v sel'skom hozyaystve = Machinery in Agriculture*. 2010; (4):30-33. (In Russ.)

11. Kravchenko I.N., Aldoshin N.V., Leskonog Yu.A., et al. Structure of Automated System of Database Generation for Efficient Management of Vehicle Disposal. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2017; (2):34-39. Available at: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/arkhiv-zhurnala-besplatnyj-dostup/download/56-arkhiv-zhurnala-za-2017/439-tekhnika-i-oborudovanie-dlya-sela-fevral-2-236-2017-g> (accessed 05.11.2020). (In Russ.)

12. Solovyov S.A., Gerasimov V.S., Ignatov V.I., et al. Machinery as Special Kind of Waste Products in Recycling of Machines. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2016; (6):2-5. Available at: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/arkhiv-zhurnala-besplatnyj-dostup/download/57-arkhiv-zhurnala-za-2016/431-tekhnika-i-oborudovanie-dlya-sela-6-228-iyun-2016-g> (accessed 05.11.2020). (In Russ.)

13. Kravchenko I.N., Aldoshin N.V., Leskonog Yu.A., et al. Methodology of Indicator System Substantiation for Disposal Ability of Agricultural Production Technical Means. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2017; (3):32-36. Available at: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/arkhiv-zhurnala-besplatnyj-dostup/download/56-arkhiv-zhurnala-za-2017/440-tekhnika-i-oborudovanie-dlya-sela-mart-3-237-2017-g> (accessed 05.11.2020). (In Russ.)

14. Gerasimov V.S., Solovyev R.Yu., Trofimenko Yu.V., et al. Estimation Procedure of Parameters and Financial Flows in Utilization System of Agricultural Machinery and Equipment. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2014; (8):37-40. Available at: <https://elib.pstu.ru/vufind/EdsRecord/edself,edself.21836508> (accessed 05.11.2020). (In Russ.)

15. Kravchenko I.N., Kuznetsov Yu.A., Leskonog Yu.A., et al. Process Modeling for Formation of Utilization System of Agricultural Machinery Withdrawn from Use. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2017; (9):39-44. Available at: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/arkhiv-zhurnala-besplatnyj-dostup/download/56-arkhiv-zhurnala-za-2017/446-tekhnika-i-oborudovanie-dlya-sela-sentyabr-9-243-2017-g> (accessed 05.11.2020). (In Russ.)

16. Silvestri L., Forcina A., Arcese G., et al. Recycling Technologies of Nickel-Metal Hydride Batteries: An LCA Based Analysis. *Journal of Cleaner Production*. 2020; 273. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123083>
17. Zhang L., Yuan W., Songyan J., et al. Modelling the Generation of Household Automo-Biles in the Context Scrap of Urban-Rural Disparity: A Case Study of Nanjing, China. *Journal of Cleaner Production*. 2020; 268. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122237>
18. Jafari M., Torabian M.M., Bazargan A. A Facile Chemical-Free Cathode Powder Separation Method for Lithium Ion Battery Resource Recovery. *Journal of Energy Storage*. 2020; 31. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101564>
19. Dobrotă D., Dobrotă G., Dobrescu T. Improvement of Waste Tyre Recycling Technology Based on a New Tyre Markings. *Journal of Cleaner Production*. 2020; 260. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121141>
20. Lei Y., Qiu P., Ma W., et al. Novel Approach for Clean Utilization of Complex Low-Grade Metal Resources Using Silicon as Metal Getter. *Journal of Cleaner Production*. 2020; 260. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121063>

Received 03.06.2020; revised 10.07.2020; published online 30.12.2020

About the authors:

Igor N. Kravchenko, Professor of Chair of Technical Service Department of Machinery and Equipment, Russian Timiryazev State Agrarian University (49 Timiryazevskaya St., Moscow 127550, Russian Federation), D.Sc. (Engineering), Researcher ID: B-9463-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>, kravchenko-in71@yandex.ru

Yri S. Migachev, Head of Chair of Protection Means against Weapons of Mass Destruction, Military Academy of Radiation, Chemical and Biological Defense named after Marshal of the Soviet Union S. K. Timoshenko (16 Gorkiy St., Kostroma 156015, Russian Federation), D.Sc. (Engineering), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9424-9875>, migatchov_yri@mail.ru

Yury A. Kuznetsov, Professor of Machine Reliability and Repair Department, Orel State Agrarian University (69 General Rodin St., Orel 302019, Russian Federation), D.Sc. (Engineering), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3699-8231>, kentury@yandex.ru

Alexandr M. Davydkin, Associate Professor of Chair of Technical Service of Machines of Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), Cand.Sc. (Engineering), Researcher ID: S-8297-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2984-2362>, aldavydkin@yandex.ru

Mikhail N. Erofeev, Vice President of Research, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (4 Malyy Kharitonevskiy Pereulok, Moscow 101990, Russian Federation), D.Sc. (Engineering), Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1048-3574>, erofeff2007@yandex.ru

Contribution of the authors:

I. N. Kravchenko – scientific guidance, formulation of the main research concept and conclusions; Y. S. Migachev – conducting research and preparing the initial version of the text; Yu. A. Kuznetsov – conducting critical analysis of research, analysis and revision of text; A. M. Davydkin – relationship analysis and plotting; M. N. Erofeev – preparation and initial analysis of literary data, text editing.

All authors have read and approved the final manuscript.