

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Обращение с отходами производства и потребления (далее – *отходы**: см. Список терминов) в последние десятилетия превратилось в общемировую проблему, которая таит в себе угрозу всему человечеству. При росте народонаселения планеты в течение XX века в 3,4 раза, объёмы промышленного производства возросли в мире более чем в 100 раз, в США – более чем в 300 раз, а в Японии – более чем в 500 раз, и темпы роста производства не снижаются. Такие темпы роста, с одной стороны – требуют добычи всё больших объёмов первичных природных ресурсов, что приводит к их истощению и усилению борьбы за них, а с другой – приводят к возникновению большого количества отходов (в том числе опасных для человека и окружающей среды),

До наступления технической революции отходы в основном носили бытовой характер и объёмы этих отходов были незначительными. Но уже в древности борьба горожан с отходами контролировалось государством. Приблизительно за 500 лет до нашей эры в Афинах был издан, первый из известных, эдикт, запрещающий выбрасывать мусор на улицы, предусматривающий организацию специальных свалок и предписывающий мусорщикам сбрасывать отходы не ближе чем за милю от города.

Сейчас в промышленно развитых странах каждый житель ежедневно «производит» от 0,5 до 2 кг бытовых отходов. Эту группу отходов принято называть *твёрдыми коммунальными отходами** (ТКО). Эта смесь включает металлы, стеклянные контейнеры, макулатуру, пластик, пищевые отходы, а также большое количество опасных отходов.

Уже в начале 2000-х годов мировой рынок услуг по переработке промышленных отходов и очистке почв оценивался в 20 млрд €. Технологическая революция усугубила ситуацию с образованием отходов и потребовала новых методов борьбы с ними. Изменились объёмы образования и стоимость работ, требующихся для удаления отходов из среды непосредственного обитания людей. Изменился их состав и уровень воздействия на окружающую среду.

Изменилось и само отношение к отходам, в которых имеется большое количество компонентов. Для *компонентов отходов** могут применяться два варианта повторного использования:

- 1) по прямому назначению;
- 2) использование после переработки.

При использовании первого варианта компоненты отходов после подготовки, в процессе которой проводятся определённые технологические операции (мойка, сортировка и пр.) используются повторно по прямому назначению в том виде, в котором они были извлечены из отходов. Например: стеклотара, которая попадает в твёрдые коммунальные отходы; детали *техники**, извлечённые после выведения её из эксплуатации, (например, детали бытовой техники, автомобилей, сельскохозяйственной и пр. техники). Разновидностью этого варианта является использование компонентов отходов по прямому назначению *после восстановления* их геометрических и технических параметров, например, использование ремонтпригодных деталей машин, имеющих незначительный износ после восстановления при условии, что восстановление их потребительских свойств экономически выгодно. Этот вариант обеспечивает максимально возможное ресурсосбережение и минимум неиспользуемых отходов, которые требуют захоронения.

При втором варианте компоненты отходов используются после переработки, в результате которой происходит их трансформация с целью получения вторичных ресурсов. Эти ресурсы в дальнейшем используются для производства других видов продукции (например, после переработки на шредерных установках из металла, входящего в состав различных видов *техники**, изготавливают различные изделия, в т. ч. новые детали для различных видов продукции).

Изменению отношения к отходам способствовала техническая революция, которая привела к взрывному росту различных видов техники, которая, по мере её старения и выведения из эксплуатации, также становилась отходами, но отходами особого рода, по многим показателям существенно отличающихся от ТКО. В некоторых видах выведенной из эксплуатации техники (ВЭТ) содержится большое количество компонентов, которые можно повторно использовать. В настоящее

время ВЭТ считается стратегическим сырьём, поскольку до 95 % имеющихся в ней материалов может использоваться повторно. А если учесть, что на производство техники расходуются многие миллиарды тонн материалов, то их повторное использование может существенно снизить нагрузку на природу и среду обитания человека и всего живого.

Всё это повлияло на изменение отношения *социума** к отходам. Правительства большинства стран мира несколько десятков лет назад наложило на производителей продукции законодательное обременение, заключающееся в расширенной их ответственности за *рециклинг** отходов, образующихся на *всех этапах* жизненного цикла продукции (ЖЦП), которую они выпускают. Этому примеру в 2014 г. последовала и Россия.

Текущее состояние с утилизацией отходов в России можно рассматривать как критическое. Россия, по мнению правительства западных стран, настолько отстаёт от решения этой проблемы, что ЕС выделил России в 2002 г. 2,3 млн евро на создание системы утилизации (СУ) отходов [1]. Однако пока эффективной системы рециклинга отходов в России не создано.

О государственной важности для России проблемы утилизации отходов можно судить уже по тому, что 2017 г. объявлен Годом экологии [2]. Президент России В.В. Путин в 2016 г. году трижды обсуждал «мусорную» проблему (14.04.2016 на «Прямой линии с Путиным – 2016» [3]; 25.11.2016 на заседании Совета по стратегическому развитию и приоритетным проектам [4]; на итоговом заседании Госсовета 26.12.2016 [5]).

В России, вслед за странами-лидерами, было введено понятие жизненного цикла продукции (ЖЦП), в котором *утилизация отходов** продукции, после окончания срока её использования, завершает этот цикл. Но включение этого этапа ЖЦП в ряд российских нормативных документов до сих пор носил декларативный характер. Эти документы до последнего времени требовали от производителя *только разработки инструкций* по проведению утилизационных работ, без конкретизации того, кто, как и когда будет выполнять эти инструкции. В значительной мере это способствовало тому, что до настоящего времени российские

производители продукции, и том числе производители техники, игнорируют эти требования. Даже законодательно введённая в 2014 г. расширенная ответственность производителей за проведение утилизации отходов от продукции после окончания срока её использования не изменила ситуации.

Если механизм утилизации отходов (рис. 1), образующихся на начальных этапах ЖЦП, отработывался десятилетиями, то утилизация отходов от выведенной из эксплуатации техники (ВЭТ) в нашей стране пока только начинает формироваться в отдельный вид деятельности.

В технически развитых странах проблема осуществления завершающего этапа ЖЦП решается путём создания и успешного функционирования СУ различных видов отходов в соответствии с национальными законами, и в первую очередь СУ автомобилей. Эти страны уже более 20 лет назад сформировали высокодоходную отрасль – «Авторециклинг». К настоящему моменту только в США функционируют более 56 тыс. утилизационных предприятий, которые получают доходы около 240 млрд долларов в год. Аналогичная ситуация складывается и в других странах.

До настоящего времени законодательные инициативы, касающиеся создания в России систем утилизации ВЭТ носят пока декларативный характер. Несмотря на ряд документов [6...10 и др.], направленных на создание СУ ВЭТ, работы по её созданию на государственном уровне практически не проводятся. Первые редакции закона «Об отходах...» [6] ориентировались, в основном, на обращение с ТКО. С момента его введения и на 01.01.2017 г. закон 30 раз редактировался (Приложение А), но это не изменило ситуации с созданием эффективной системы утилизации ни для одного вида техники.

Всё это говорит о том, что проблема, связанная с осуществлением завершающего этапа жизненного цикла техники, существует и требует решения. Как показал проведённый анализ работ, касающихся различных аспектов утилизации различных видов отходов, *трансплантация** зарубежных моделей утилизации ВЭТ при существующих сейчас российских реалиях не представляется возможным.

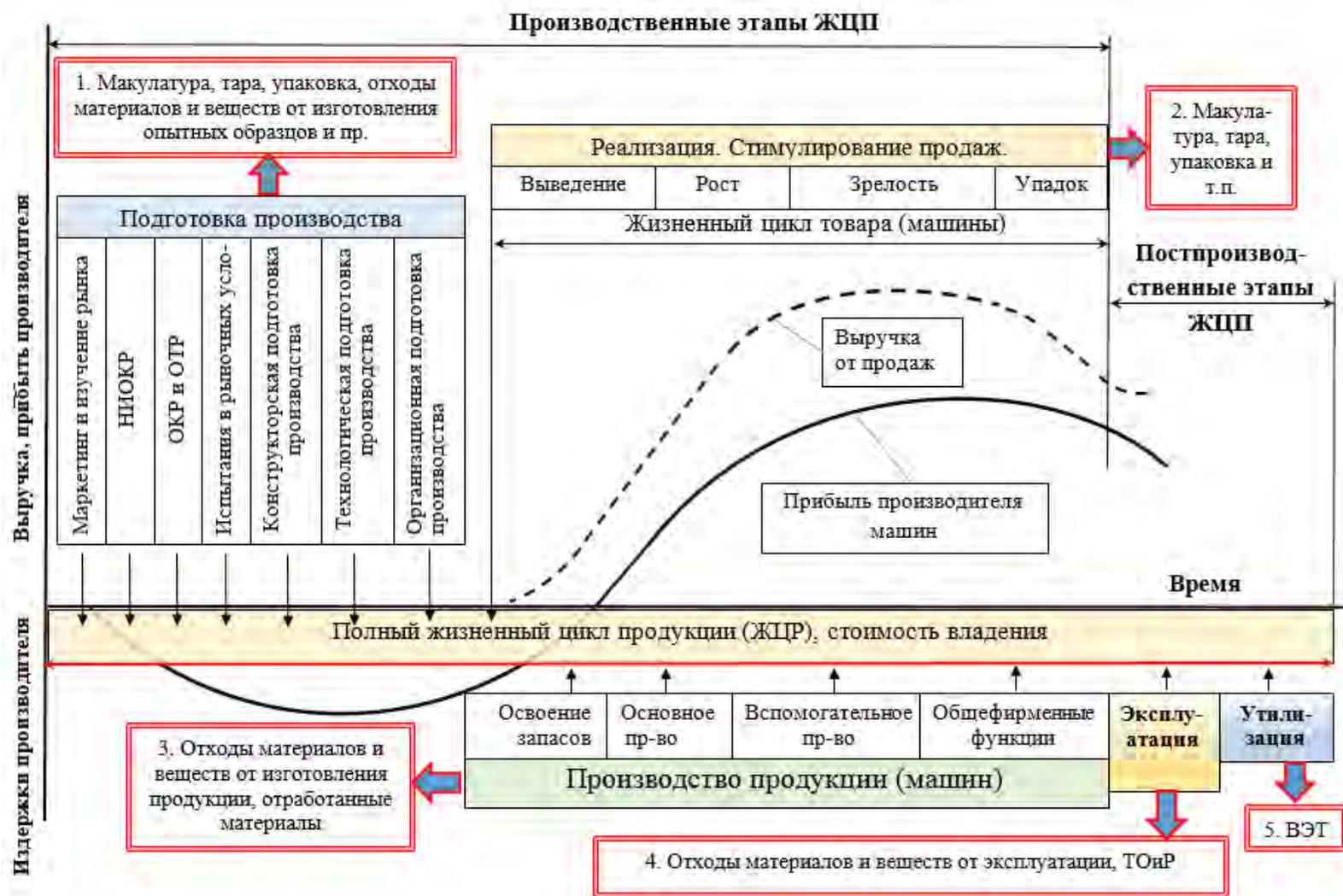


Рисунок 1 – Организационно-экономическая модель жизненного цикла машины и образования обходов производства и потребления

Но необходимость разработки и внедрения такой системы, несмотря на сложное положение России, очевидна, поскольку она направлена на решение социальных, экономических, экологических и целого ряда других задач, рассмотренных в работе.

Для целенаправленного решения этой проблемы в первую очередь требуется восполнить пробелы в теоретическом обосновании целесообразности создания такой системы в условиях России и разработать научно обоснованную *методологию** и *стратегию** её формирования, а также исследовать целый ряд вопросов, касающихся организации и технологий проведения утилизации ВЭТ, а также экономического, законодательного и технического сопровождения этой системы, а также доказать целесообразность и возможность её создания. Всё это говорит о том, что эта проблема требует комплексного системного подхода и решения целого ряда задач. Причём задач не только технико-технологического плана, но и задач, касающихся экономических, законодательных и пр. аспектов.

В качестве объекта исследования возможности и целесообразности создания такой системы выбрана сельскохозяйственная техника, которая обеспечивает производство сельскохозяйственной продукции и от её качественного и количественного состояния зависит решение продовольственной программы России. Как будет показано в данной работе, своевременная утилизация техники, устаревшей морально и физически, и замена её новой, более производительной, будет способствовать повышению конкурентоспособности АПК России. Однако в настоящее время условия для проведения утилизации СХТ, которая отвечала бы мировым стандартам, только начинают формироваться. Данное исследование направлено на разработку базовых положений, обеспечивающих формирование методологии и технических решений для осуществления рециклинга СХТ.

В данной работе выдвинута *гипотеза** о том, что СХТ является одним из видов отходов, который имеет определённую специфику, и требует разработки научно обоснованной методологии, стратегии и организационно-технологических принципов проведения процесса утилизации этого вида отходов. Эта гипотеза также предполагает, что видовые системы утилизации отходов, в том числе от

ВЭСХТ, являются базовыми элементами единой системы утилизации отходов (ЕСУО) и требуют незамедлительной разработки и внедрения.

Результаты проведённого исследования полностью подтверждают выдвинутую автором гипотезу и её основные положения, а подтверждают то, что базовые теоретические положения системы утилизации ВЭСХТ в России созданы и могут быть использованы для практического внедрения, в том числе для разработки и внедрения СУ других видов ВЭТ.

В работе учтены положения «Стратегии машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года». Работа соответствует основным критериям, определённым «Концепцией развития аграрной науки и научного обеспечения АПК Российской Федерации до 2025 года» а именно: социально и экономически значима, поскольку решает задачи экономичности и экологической безопасности ресурсосбережения на государственном уровне.

Научное исследование, направленное на разработку методологии и технических решений для осуществления рециклинга сельскохозяйственной техники, решает важную народнохозяйственную проблему.

Степень разработанности темы. Обострение проблемы обращения с отходами вследствие разрушения имевшейся, а также низкой эффективности существующей системы, привело к активизации научного направления, связанного с поиском вариантов выхода из сложившейся ситуации. За последние 15–20 лет было опубликовано большое количество работ в сфере обращения с отходами и управлением этой деятельностью в новых экономических условиях. Основную массу этих работ составляли работы по обращению с твёрдыми бытовыми отходами (в настоящее время это понятие заменено в [6] понятием – ТКО, которое далее будет использоваться в этой работе).

В последние годы в России появились научные исследования, посвящённые утилизации ТКО и учитывающие современные мировые тенденции и состояние с этой проблемой в нашей стране. В числе учёных, уделявших внимание этой проблеме, и развивающих науку в этом направлении, следует отметить В.Б. Абрамова, В.А. Аракелову, Б.Ц. Бебчук, О.С. Варламову, А.С. Гурьнева, А.А. Гусева,

А.А. Голуб, В.Е. Лотош, А.Ф. Мудрецова, Н.В. Пахомову, К.К. Рихтера, Е.Б Струкову, Л.Я. Шубова др., работы, которых рассмотрены в главе 1 данной работы. Внимание этих учёных было обращено, в основном, на решение локальных вопросов проблемы рециклинга отходов в технико-технологических или организационно-экономического аспектах исключительно для ТКО.

Специалисты, связанные с колёсными транспортными средствами (КТС), инициировали разработку этой проблемы [14...31 и др.] около 15 лет назад. Работники сельского хозяйства поддержали это направление [32...51 и др.]. В 2004 г. в агропромышленном комплексе (АПК) России была закончена научно-исследовательская работа [33], касающаяся утилизации отходов от СХТ. Но, как видно из названия работ [15, 30] и их содержания, они имеют одинаковые векторы исследования для различных видов техники как для КТС, так и для СХТ.

Рециклинг техники начал формироваться только в начале 2000-х годов. Анализ работ показал, что авторский коллектив занимающихся проблемой утилизации ВЭТ пока невелик. И это говорит о том, что в настоящее время российские исследователи не считают эту проблему перспективной, поскольку она пока не входит в перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в РФ [52], не поставлена на государственный контроль и на её решение не выделяются средства.

Спецификой работ по рециклингу ВЭТ различных видов, выполненных за последние годы, является узкоспециализированная направленность исследования и решения локальных вопросов, касающихся систем её утилизации. Например, вопросы транспортирования отходов, сбора и переработки отходов определённого вида и пр. До настоящего времени не решены теоретические вопросы определения границ целесообразности использования техники, не разработана единая методология формирования систем утилизации ВЭТ различных видов, которая связывала бы временные и экономические характеристики этих систем, а также не определено их место в ЕСОО.

Диссертационное исследование представляет собой комплексное системное исследование на основе обобщения результатов выполненных работ теоретиче-

ского и методического планов, анализа их положительных и спорных моментов и развитие теоретических и практических вопросов, обеспечивающих эффективное решение проблемы рециклинга отходов от ВЭСХТ.

Работа выполнена в ФГБНУ ГОСНИТИ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) по поручению Минсельхоза России в плане проведения научно-исследовательской работы (гос. регистрация № 115073010150), связанной с разработкой системы утилизации ВЭСХТ, и 2 НИР, связанных с разработкой Постановления Правительства № 81 «Об утилизационном сборе в отношении самоходных машин...».

По мере работы над созданием системы утилизации СХТ пришло понимание того, что на данном этапе решения проблемы рециклинга отходов недостаточно развивать уже имеющиеся направления и решать рассмотренные другими исследователями локальные задачи утилизации техники и уточнять полученные ранее результаты.

Требуется новая концепция, новая идеология и механизм решения проблемы рециклинга отходов. Требуется найти точку опоры и архимедов рычаг, с помощью которого можно будет сдвинуть рассматриваемую проблему в нужном направлении. По мнению автора, таким архимедовым рычагом должны стать отраслевые (видовые) системы утилизации отходов различных видов, а точкой опоры – новая концепция, новый механизм решения проблемы рециклинга отходов. Исходя из предложенной в работе концепции обращения с отходами сформирован иной подход к методологии формирования *отраслевой (видовой) системы утилизации выведенной из эксплуатации сельскохозяйственной техники и оборудования* (далее – Система*). В данной работе предлагается рассматривать эту Систему как один из элементов Единой системы утилизации отходов (ЕСУО).

Целью диссертационного исследования является разработка методологии и технологических решений для проведения рециклинга машин и агрегатов в АПК, обеспечивающих формирование и функционирование эффективной отраслевой системы утилизации выведенной из эксплуатации СХТ.

Объектом исследования являются процессы проведения рециклинга сельскохозяйственной техники.

Предметом исследований являются технология и организация проведения рециклинга выведенной из эксплуатации сельскохозяйственной техники.

Область исследования. Диссертационная работа соответствует паспортам специальностям: 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (отрасли АПК, сельскохозяйственное машиностроение); 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве.

Задачи исследования:

1) провести анализ и обобщить передовой отечественный и зарубежный опыт проведения рециклинга отходов производства и потребления, в том числе отходов от выведенной из эксплуатации техники, включая сельскохозяйственную;

2) разработать методологию и технологические решения, обеспечивающие создание в России отраслевой системы утилизации ВЭСХТ как элемента Единой системы утилизации отходов;

3) разработать теоретическую модель, определяющую границы целесообразности проведения утилизации после достижения СХТ предельного состояния;

4) исследовать и предложить для использования на предприятиях инженерной сферы АПК базовые организационно-технологические принципы и наилучшие доступные технологии проведения рециклинга СХТ;

5) оценить возможность и целесообразность создания в АПК России системы утилизации ВЭСХТ с учётом технических, технологических, правовых и экологических аспектов.

Научная новизна заключается в:

1) постановке и решении научной проблемы, касающейся создания в АПК России системы утилизации СХТ, которая социально и экономически значима, решает вопросы ресурсосбережения и экологической безопасности России;

2) разработке теоретической модели определения границ целесообразности утилизации машины, достигшей предельного состояния;

3) формировании базовых организационно-технологических принципов и наилучших доступных технологий проведения рециклинга СХТ на предприятиях инженерной сферы АПК.

4) разработке математических моделей технико-экономической целесообразности создания и функционирования в АПК России отраслевой системы утилизации ВЭСХТ с учётом технических, технологических, правовых и экологических аспектов;

5) создании методики, алгоритма и компьютерной программы для определения показателей эффективности создания отраслевой системы утилизации ВЭСХТ.

Практическую значимость работы составляют:

1) методология, стратегия и технологические решения для создания отраслевой системы утилизации СХТ, связывающие временные и финансовые затраты на её создание, которые могут быть использованы для создания СУ ВЭТ различных видов;

2) компьютерная программа для определения показателей эффективности создания отраслевой системы утилизации ВЭСХТ;

3) методика определения целесообразности своевременной утилизации СХТ;

4) методика определения негативного воздействия неутилизированных отходов от устаревшей СХТ на окружающую среду;

5) рекомендации по технологическому и техническому оснащению цехов (участков) утилизации СХТ, входящих в состав предприятий инженерной сферы АПК;

6) рекомендации производителям СХТ по повышению утилизируемости производимой ими техники на всех этапах её создания и участию производителей в проведении утилизации техники после вывода её из эксплуатации;

7) опубликованные в открытой печати и переданные на рассмотрение Правительства РФ рекомендации по внесению поправок в ФЗ РФ № 89 «Об отходах производства и потребления»;

8) дорожная карта создания в АПК системы утилизации ВЭСХТ на региональном уровне в качестве пилотного проекта;

9) предложения, касающиеся развития отраслевой системы утилизации ВЭСХТ и других видов техники, реализация которых будет способствовать созданию в России эффективного механизма решения проблемы рециклинга отходов и решению ряда задач социального, экономического и пр. аспектов;

Методология и методы исследования. Для формирования теоретической и методологической базы диссертационного исследования были исследованы труды российских и зарубежных учёных, посвящённые вопросам утилизации отходов различных видов, включая ТКО и ВЭТ. С целью получения информации о параметрах *Системы* были получены и обработаны с использованием ЭВМ данные о фактическом состоянии процессов использования и утилизации СХТ на сельхозпредприятиях и предприятиях инженерной сферы АПК в различных регионах. Для решения поставленных задач применялся математический аппарат, в том числе теория вероятностей, математическая статистика, планирование эксперимента.

Информационную базу исследования составили статистические данные Госкомстата РФ, данные Минпромторга и Минсельхоза России, оценки компетентных в этой области экспертов, собственные статистические данные, полученные на предприятиях АПК, осуществляющих эксплуатацию, техническое обслуживание, ремонт и утилизацию СХТ. Использовалась информационная база, приведённая в работах российских и зарубежных учёных.

На защиту выносятся теоретические положения, основанные на комплексном системном подходе к решению проблемы рециклинга отходов, и в первую очередь рециклинга СХТ:

1) методология и организационно-технологические решения, обеспечивающие создание в России отраслевой системы утилизации ВЭСХТ как элемента Единой системы утилизации отходов; 2) теоретические модели определения границ целесообразности утилизации машины, достигшей предельного состояния; 3) базовые организационно-технологические принципы и наилучшие доступные

технологии проведения рециклинга СХТ на предприятиях инженерной сферы АПК. 4) технико-экономическая модель целесообразности создания и функционирования в АПК России отраслевой системы утилизации ВЭСХТ с учётом технических, технологических, правовых и экологических аспектов; 5) методика, алгоритм и компьютерная программа для определения показателей эффективности создания отраслевой системы утилизации ВЭСХТ.

Достоверность полученных результатов обеспечивалась проверкой теоретических обобщений аналитическими расчетами, в которых использовались статистические данные с многоканальностью доказательств, подтверждающих выдвинутые теоретические положения, концептуальные посылки и практические рекомендации. При проведении исследований, связанных с получением необходимой информации для подтверждения теоретических положений работы, использовались материалы, полученные квалифицированными работниками специализированных предприятий инженерной сферы АПК с участием сотрудников лаборатории 15.2 «Рециклинг сельскохозяйственной техники» ФГБНУ ФНАЦ ВИМ). Полученные выводы подтверждаются сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также с результатами, опубликованными в независимых источниках, касающихся тематики исследования (расхождение 5...7%), а проверка на производстве показала целесообразность использования полученных результатов работы в практической деятельности.

Реализация результатов исследования. Результаты исследования:

- 1) использованы Минпромторгом России при разработке Постановления Правительства № 81 от 02.02.2016 г. (имеются акты внедрения);
- 2) создана компьютерная программа по определению показателей эффективности создания в России систем утилизации СХТ и техники специализированных производств (ТСП) (имеются Свидетельства о регистрации), а также систем утилизации СХТ в Республике Беларусь;
- 3) рекомендованы к внедрению и используются в агропромышленных формированиях и специализированных предприятиях АПК, занимающихся утилизацией техники (имеются акты внедрения и патент);

4) рекомендованы для внедрения на предприятиях-изготовителях СХТ;

5) используются в учебном процессе технических вузов теоретически положения, разработанные в диссертационной работе по созданию системы утилизации техники, и весь спектр технических, технологических, экономических и правовых рекомендаций (имеется акт внедрения);

6) опубликованы в ряде российских и зарубежных научных изданиях, учебных пособиях, брошюрах и статей с целью популяризации решения этой важнейшей для России в целом и АПК, в том числе, проблемы.

Вклад автора в решение поставленных задач состоит в разработке и формулировании цели работы, определении направлений теоретических и экспериментальных исследований, разработке концептуальных основ и технико-экономических моделей, обеспечивающих решения проблемы обращения с отходами, методологии создания *Системы* и программного обеспечения для определения её параметров, организации, получения и обработки результатов исследований, обеспечивающих формирование *Системы*, разработке организационно-технологического комплекса работ по проведению утилизации ВЭСХТ.

Апробация работы. Результаты исследования прошли широкую апробацию в печати и на отечественных и зарубежных научно-практических конференциях, представлены и обсуждены: на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов МГУЛ по итогам научно-исследовательской деятельности в 2012–2017 гг.; XII Международной научно-практической конференции «Рециклинг отходов» (Москва, 23–24.10.2012 г.); Научно-техническом совете Минсельхоза России 24 сентября 2013 г.; Международном симпозиуме «Надежность и качество – 2013» (27. 05. – 3. 06. 2013 г., г. Пенза); Научно-техническом совете Минсельхоза России 28 октября 2014 г.; 25-й Международной научно-практической конференции «Белагро-2015» (Минск, 02.–06.06.2015 г.; XI Международной научно-технической конференции «Научные проблемы технического сервиса сельскохозяйственных машин» (М., ГОСНИТИ, 15–16.12.2015 г.); 2-м Всероссийском конгрессе машиностроителей «Инновационная стратегия развития транспортного и специального машиностроения» (М.,

ВДНХ, 31.03.2015 г.); XVI Международной научно-практической конференции «Рециклинг отходов» (Санкт-Петербург, 03–04.12.2015 г.); XVIII Международной агропромышленной выставке «Агроуниверсал–2016», г. Михайловск, 03–01.04. 2016 г.; 12-м Международном форуме «Лом чёрных и цветных металлов 2016» (29.02–01.3. 2016 г.); XXVI Международной научно-практической конференции «Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК» (Минск, 09.06.2016 г.); XII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК», в рамках XVIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2016» (Ставрополь, 30.03–01.04 2016 г.); Евразийском конгрессе «Фундаментальные основы и практический опыт при проведении сервиса и рециклинга техники» (М., 15-16.12.2016 г.); Международном форуме «Лом чёрных и цветных металлов 2017» (М., 28–30.03.2017 г.); IX международной научно-практической конференции «Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК». Разработанная автором методика определения параметров системы утилизации СХТ одобрена разработчиками Постановления Правительства РФ от 6 февраля 2016 г. № 81 « Об утилизационном сборе относительно самоходной техники...», а полученные результаты использованы в этом Постановлении. С 2012 г. раздел «Утилизация машин и оборудования» был включен в учебный процесс и рабочую программу дисциплины «Основы производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования» на кафедре «Технология машиностроения и сервиса» МГУЛ (ныне Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана).

Публикация результатов исследований. Результаты исследований опубликованы в 5 научных изданиях, монографиях и 5 учебных пособиях, представлены в 6 НИР за 2013–2016 гг. По теме диссертации опубликованы 73 печатных работ в российских и зарубежных изданиях, в том числе 22 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК.

Объём и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 337 стр. машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, включающих 56 ри-

сунков и 47 таблиц и список использованной литературы из 298 источников. Дополнительная информация приводится в 12 приложениях.

В соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011 [50] для однозначного понимания отдельных положений работы после списка сокращений размещён список терминов, используемых в работе. Термины в тексте работы выделены курсивом, помечены символом «*» и приведены в алфавитном порядке.