

005049929

На правах рукописи

АВДЕЕВ ЕВГЕНИЙ АНДРЕЕВИЧ

**Технологическое обеспечение
селективной утилизации
отработанных пластмассовых изделий**

**Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического
обслуживания в сельском хозяйстве**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

21 ОЧБ 2013

МОСКВА 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина» (ФГБОУ ВПО МГАУ).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РАСХН,
Дидманидзе Отари Назирович

Официальные оппоненты: **Пучин Евгений Александрович,**
доктор технических наук, заведующий кафедрой «Ремонт и надежность машин» ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина», профессор
Астанин Владимир Константинович,
доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология конструкционных материалов, метрология стандартизация и сертификация» ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени К.Д. Глинки», профессор

Ведущая организация ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка» (ГНУ ГОСНИТИ)

Защита диссертации состоится 18 марта 2013 года в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.044.01 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина» по адресу: 127550, Москва, ул. Лиственничная аллея, д. 16-а, корпус 3, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО МГАУ.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2013 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.С. Дорохов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Транспортные и транспортно-технологические машины (ТиТТМ), вышедшие из эксплуатации, представляют собой значительную угрозу для окружающей среды ввиду их большого количества, значительной массы и наличия в них токсичных и длительно разлагающихся веществ, которые оказывают продолжительное негативное воздействие, как на здоровье людей, так и на экосистемы.

Проблема сбора и утилизации ТиТТМ напрямую затрагивает вопросы экологии и охраны окружающей среды. Невовлеченная в сбор и утилизацию ТиТТМ содержит большое количество элементов, негативно воздействующих на окружающую среду: элементы, содержащие свинец; отработанные масла и загрязненные топлива; технические жидкости; пластики и т.д. Из вышеперечисленных компонентов наиболее сложными в утилизации являются пластики из-за их постоянно увеличивающейся доли в конструкции транспортно-технологических машин и неопределенности дальнейшего их использования после выбраковки. При этом они, в зависимости от вида, в большей или меньшей степени оказывают воздействие на такие компоненты окружающей среды, как земельные и водные ресурсы.

Полноценная утилизация выбывшей из эксплуатации техники и ее компонентов связана с разработкой технологий, позволяющих добиться максимально возможного уровня повторного использования ресурсов, установленного в Директиве Европейского союза 2000/53 ЕС. Реализация эколого-ориентированных ресурсосберегающих технологий утилизации ТиТТМ предпочтительна на производственных площадях станций технического обслуживания и ремонта автомобилей, машинно-технологических станций, ремонтных заводов, учитывая, что в рамках реализации системы утилизационных сборов производители техники в России обязаны создать систему приемных и перерабатывающих пунктов для списываемой техники. Новизна подобного вида деятельности для большинства предприятий предполагает, что разработка эколого-эффективных ресурсосберегающих технологий утилизации ТиТТМ с обеспечением рециклинга имеет большое научное и практическое значение.

Цель работы состоит в разработке селективной технологии утилизации отработанных пластмассовых изделий ТиТТМ, позволяющей вернуть вторичные материалы в оборот и учитывающей вероятностный характер потока заявок на утилизацию и вариацию продолжительности их исполнения при рациональных затратах трудовых и материальных ресурсов.

Объекты исследования: выбывшие из эксплуатации транспортные и транспортно-технологические машины, отработанные пластмассовые детали и материалы, технологическое оборудование, предприятия по утилизации транспортных и транспортно-технологических машин.

Методы исследования. Теоретические положения, изложенные в работе, основываются на математическом аппарате исследования операций, включая теорию массового обслуживания, теорию вероятностей и математическую статистику. В основу экспериментальных исследований положены натурный пассивный эксперимент, выполняемый в производственных условиях, а также исследование технологического процесса и модельных устройств в лабораторных условиях.

Научная новизна заключается в разработке технологических процессов утилизации транспортно-технологических машин, позволяющих достичь максимально возможного уровня повторного использования пластмасс при рациональных трудовых и финансовых затратах и минимальном негативном воздействии на окружающую среду.

На защиту выносятся наиболее значимые результаты диссертационного исследования:

1. Результаты исследований по определению структуры парка, выбывшей из эксплуатации техники и потенциальные объемы поступления пластиковых деталей на утилизацию.
2. Схема технологического процесса утилизации отработанных пластмассовых деталей ТИТМ, позволяющая минимизировать массу материалов, попадающих на захоронение.
3. Математическая модель оптимизации режима работы и характеристик постов и участков предприятия утилизации с учетом вероятностного характера потока требований на утилизацию и продолжительности их исполнения.
4. Результаты определения продолжительности технологических процессов демонтажа и сортировки отработанных пластмассовых деталей в процессе утилизации нескольких видов транспортно-технологических машин.
5. Концепция и основные характеристики поста и управляющей программы сортировки отработанных пластмассовых деталей.
6. Результаты оценки сокращения экологического вреда от недопущения компонентов утилизируемой техники в окружающую среду и экономического эффекта от деятельности постов утилизации модельного предприятия на примере Москвы и Московской области.

Практическая ценность работы. Предложенная технология позволяет производить сортировку пластиковых деталей на группы материалов непосредственно при демонтаже со списываемых ТИТМ, обеспечивая тем самым качественным вторичным сырьем предприятия, перерабатывающие отходы пластика и выпускающие продукцию непищевого назначения и не регламентированную специальными требованиями, в том числе детали интерьера и экстерьера ТИТМ, с учетом достижений научной организации труда, экономии материальных и трудовых ресурсов, минимизации негативного воздействия на окружающую среду и региональных особенностей парка списываемой техники.

Реализация результатов исследования. Основные результаты исследования используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина», приняты для практического применения в Долгопрудненском филиале ГУП МО «Мострансавто».

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались на Международной научно-практической конференции «Научные проблемы эффективного использования тягово-транспортных средств в сельском хозяйстве» (Москва, МГАУ, 12-13 мая 2011 года), 10-й международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (г. Оренбург, ОГУ, 25-27 октября 2011 года); Международной научно-практической конференции «Научные проблемы эффективного использования тягово-транспортных средств в сель-

ском хозяйстве» (Москва, МГАУ, 20-22 февраля 2012 года); Международной научно-практической конференции «Инновационные агроинженерные технологии в сельском хозяйстве» (Москва, МГАУ, 8-9 ноября 2012 года); Международной научно-производственной конференции «Современные проблемы инновационного развития агроинженерии и информационных технологий» (г. Белгород, БелГСХА, 20-21 ноября 2012 года).

Публикации. Основные теоретические положения и результаты исследования опубликованы в 6 научных и учебных работах, в том числе 3 в журналах рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 149 наименований, изложена на 179 страницах, включая 45 рисунков и 27 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы исследования, представлена общая характеристика работы и научные положения, выносимые на защиту.

В главе 1 «Экологические и технологические аспекты утилизации пластмассовых деталей транспортных и транспортно-технологических машин» проведен обзор литературных источников, посвященных вопросам деятельности предприятий, занимающихся утилизацией различной техники.

В течение последних 30 лет происходит активная замена металла пластмассами в автомобиле и тракторостроении. За эти годы были отработаны технологии массового производства деталей из пластиков, сами же пластмассы по своим свойствам стали удовлетворять, а во многом и превосходить требования, предъявляемые к металлам. Увеличение доли использования пластиков позволяет сократить массу автомобиля при сохранении или даже увеличении прочности кузова.

Все эти обстоятельства привели к тому, что доля пластмасс в автомобилях непрерывно возрастает. Так, если сразу после второй мировой войны масса пластмассовых деталей в автомобиле составляла 2...5 кг, а номенклатура пластмасс – единицы, то в настоящее время первый параметр повысился до 10...15 % массы автомобиля, а второй – до 60 %.

При производстве пластмассовых деталей ТигТМ в настоящее время используются материалы главным образом двух типов – терморезистивные (на основе эпоксидных, фенольных и ненасыщенных полиэфирных смол, содержащих добавки и наполнители) и термопластичные (например, полипропилен (ПП, РР), полиамид (ПА, РА), акрилонитрил-бутадиен-стирен (АБС, ABS), поликарбонат (ПК, РС), полиэтилен (ПЭ, РЕ), полиуретан (ПУ, PUR) и др.) (рисунок 1, таблица). Причем вторые – предпочтительнее, поскольку отслужившие срок изделия можно подвергать утилизации для повторных одно-двукратных переработок в новые пластмассовые изделия, тогда как первые к повторному использованию не пригодны.

Массовое применение полимерных материалов в конструкции автомобиля поставило острую проблему – как и где размещать их отходы в виде технологических выбросов, отработанных изделий. Даже существующие в настоящее время предприятия утилизации выбывшей из эксплуатации техники, призванные преобразовать отслужившее свой срок изделия во вторичное сырье, выделяют в отдельные категории вторсырья только черные и цветные металлы, аккумуляторные батареи,

шины, остальное, в том числе и пластики, направляется на полигоны для захоронения. Данный путь утилизации нерационален ни с точки зрения экологии – пластики разлагаются чрезвычайно медленно, ни с точки зрения экономики – из сферы постоянного использования изымаются тысячи тонн ценного вторичного материала.

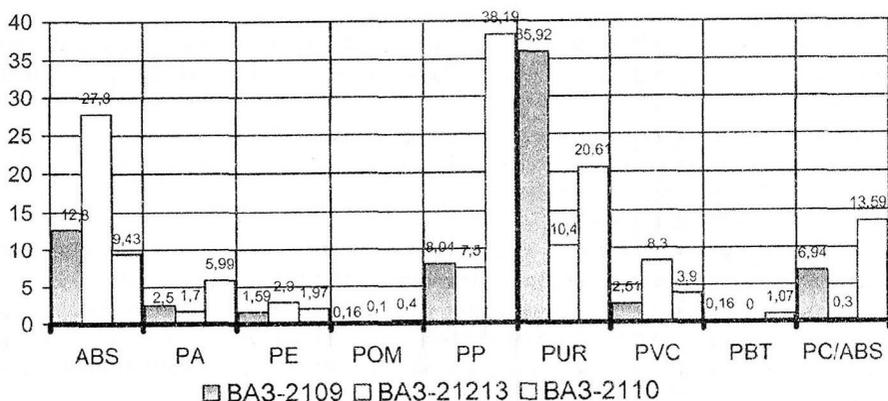


Рисунок 1 – Распределение пластмасс в легковых автомобилях 1980–1996 годов, кг

Применение полимерных материалов в автомобилях КамАЗ

Наименование материала	Модель, год производства, кг/авт.			
	КамАЗ-65115		КамАЗ-6520	
	2005	2008	2005	2008
Акринитрил-бутадиен-стирен (АБС)	7,1	2,1	6,87	1,87
АБС/Поликарбонат	2,75	–	2,65	11,65
Поливинилхлорид (ПВХ)	7,5	15,0	6,21	13,7
Полиакрилаты (ПММА)	4,0	4,0	4,0	4,0
Полиамид (ПА)	6,28	7,0	7,12	7,2
Полипропилен (ПП)	4,44	17,0	6,0	18,3
Полиуретан (ПУ и ППУ)	14,86	30,5	15,69	31,1
Полиэтилен (ПЭ)	3,84	4,0	5,93	6,0
Полиэфирный стеклопластик	34,4	–	38,0	–
Полидициклопентадиен (ДЦПД)	–	31,5	–	31,5
Фторопласт	1,1	1,1	1,1	1,1
Композиционные формованные материалы	9,4	5,0	9,4	5,0
Другие	0,85	1,0	0,55	0,8
Всего	96,6	118,0	103,5	132,2

Анализ технологических процессов утилизации, применяющихся в настоящее время в нашей стране и в недавнем прошлом за рубежом, показывает, что на захоронение поступает свыше 25 % массы легкового автомобиля и около 10 % массы грузового автомобиля. В состав захораниваемой части остатков ТИТМ входит не

только ценное сырье, но и компоненты, период разложения которых в природных условиях составляет десятилетия. К таким компонентам в первую очередь относятся разнообразные полимерные материалы, используемые в конструкции ТИТТМ.

Решением проблемы рециклинга полимерных материалов является уменьшение их номенклатуры в конструкции выпускаемых и перспективных моделей ТИТТМ, отказ от использования полимеров, повторная переработка которых затруднена или невозможна. Для автомобилей, поступающих на утилизацию уже сегодня, возможна лишь сортировка пластиковых деталей при демонтаже в процессе утилизации. В среднем только 35 % затрат на утилизацию приходится непосредственно на технологические процессы переработки материалов, остальные 65 % относятся к вспомогательным операциям (рисунок 2). Таким образом, повышение эффективности технологического процесса демонтажа и совмещение его с сортировкой является существенным резервом повышения всего технологического процесса утилизации.

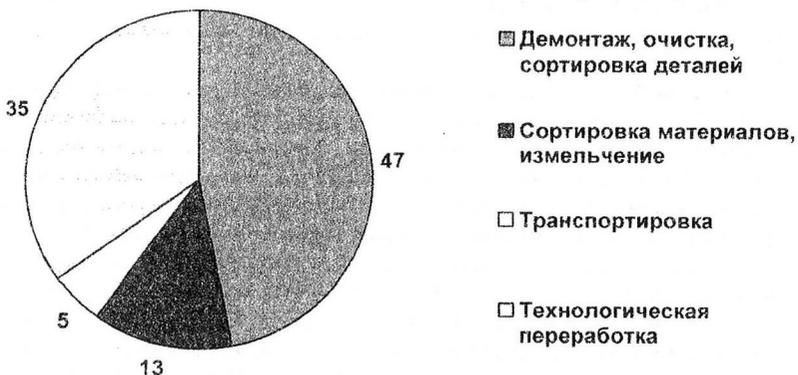


Рисунок 2 – Баланс затрат на технологический процесс утилизации, %

Основой концепции утилизации технических средств, как системы научных взглядов, стали труды академика А.И. Селиванова и его последователей академика РАСХН В.И. Черноиванова, члена-корреспондента РАСХН А.Э. Северного. Важный вклад в развитие научной базы создания и функционирования предприятий технического сервиса, утилизации автомобильной и сельскохозяйственной техники, внесли Н.В. Алдошин, В.Н. Власов, О.Н. Дидманидзе, В.А. Евграфов, Б.С. Клейнер, М.Ю. Конкин, Е.С. Кузнецов, Е.А. Пучин, Ю.В. Трофименко, М.А. Халфин и др. Фундаментальные исследования по разработке методических положений, рекомендаций и нормативов по применению и переработке вторичных полимеров нашли отражение в работах В.В. Абрамова, Д.А. Арашкевича, В.К. Астанина, И.В. Макеева, Ф. Ла Мантия, Н.А. Твердовской, С.А. Шалацкой, Л. Штарке и др.

Анализ имеющихся исследований в области утилизации автомобильной техники показал, что в настоящее время отсутствуют общие комплексные разработки по обеспечению эффективности и экологической безопасности технологических процессов утилизации пластмассовых деталей списанных ТИТТМ в условиях предприятий технического сервиса с учетом особенностей списываемой техники. Исходя из этого были сформулированы следующие основные задачи исследования:

- обосновать критерии оптимальности, необходимые для разработки технологических процессов утилизации пластмассовых деталей ТнТТМ с учетом специализации предприятия и места размещения;
- разработать комплекс математических моделей определения основных характеристик постов демонтажа и сортировки пластмассовых деталей с учетом вероятностного характера производственных процессов и вариации комплектности и технического состояния утилизируемых объектов;
- провести моделирование и оптимизацию технологических процессов демонтажа и сортировки с разработкой технических средств, обеспечивающих повышение эффективности работ при минимальных затратах трудовых и материальных ресурсов и с учетом вариативности состояния списываемой техники;
- провести производственную проверку полученных результатов в условиях предприятий технического сервиса;
- провести оценку эколого-экономического эффекта от внедрения результатов исследования.

В главе 2 «Теоретические основы разработки ресурсосберегающих технологий утилизации пластмассовых деталей» определено, что наиболее экологически безопасной технологией утилизации различных видов техники и их компонентов, к которым относятся и пластмассовые элементы, является выполнение этих работ специализированными предприятиями или специализированными подразделениями в составе предприятий технического сервиса различного профиля.

К главной проблеме утилизации пластиковых деталей можно отнести особенности их применения в конструкции ТнТТМ: в чистом виде, в виде смеси разных полимеров, в виде смеси с металлами, стекловолокном, тальком, мелом. Отчасти эту проблему автопроизводители решили путем нанесения на все пластиковые детали знаков вторичной переработки в соответствии с DIN EN ISO 11469 или VDA 460, применяемой с середины 90-х годов прошлого века. Отечественные производители техники во всех новых моделях также пошли по этому пути. Однако практически на всех сервисных предприятиях, где производят ремонт ТнТТМ, а соответственно, образуются выбракованные детали из пластика, и на предприятиях утилизации автомобилей эту маркировку игнорируют и отправляют пластмассовые детали в контейнеры с несортированными отходами. Важно отметить, что большинство транспортных средств иностранного производства, выпущенных до 1995 года, а отечественных до 2001 года вообще не содержат маркировку пластмассовых деталей, за исключением маркировки детали по каталогу.

Процесс сортировки при демонтаже могут затруднять два фактора: трудности демонтажа детали, а также необходимость дополнительного обучения персонала для различения всего перечня маркировок и их сочетаний. Однако на практике к технологическим процессам утилизации привлекаются работники, имеющие низкую квалификацию, обучение которых чаще всего нецелесообразно, поскольку запомнить все сочетания символов в маркировках, а самое главное помнить, какие виды пластмасс можно смешивать вместе для дальнейшей переработки без потери качества, для них затруднительно.

Перед началом сортировки элементов по видам материалов с поступившей на утилизацию техники производится их демонтаж. Демонтаж элементов автомобиля,

изготовленных из полимерных материалов, уже сам по себе решает ряд экологических проблем, связанных с утилизацией техники, но если удастся элементы рассортировать по видам материалов, в оборот будет возвращено значительное их количество.

Последовательное проведение работ по демонтажу и сортировке представляет собой двухфазную систему обслуживания, на которую поступает вероятностный поток соответствующих требований с постов приемки (для демонтажа) или с постов демонтажа (для сортировки). На основании ранее проведенных исследований в области утилизации техники и ее компонентов потоки требований на обслуживание рассматриваемого вида можно принять как пуассоновские. Соответственно для решения задач обслуживания в данном случае можно применять методы теории массового обслуживания (ТМО). Следует также отметить, что численными расчетами доказано, что и при других законах распределения плотности потока требований с достаточной точностью можно применять методы ТМО.

Поскольку заявки на утилизацию могут поступать от множества хозяйств, торгово-обслуживающих предприятий и владельцев машин, то поток требований будет неограниченным. Образование очереди возможно как перед первой фазой на демонтаже, так и перед второй – непосредственно на сортировку.

Средняя плотность потока требований на обслуживание машин λ и интенсивности их обслуживания μ_1 , μ_2 в обеих фазах определяется в виде

$$\lambda = \frac{1}{\bar{t}_{УТ}}, \quad \mu_1 = \frac{1}{\bar{t}_{ОБ1}}, \quad \mu_2 = \frac{1}{\bar{t}_{ОБ2}}, \quad (1)$$

где $\bar{t}_{УТ}$ – средний промежуток времени между моментами поступления машин на утилизацию, ч; $\bar{t}_{ОБ1}$, $\bar{t}_{ОБ2}$ – средняя продолжительность одного обслуживания в первой и второй фазах, 1/ч.

Критерий оптимальности для определения параметров технологических процессов целесообразно выбрать таким, чтобы он учитывал экономические интересы предприятия утилизации. Таким критерием является минимум суммы потерь от простоев постов демонтажа и сортировки в виде

$$C_{ПДС} = (m_{О1} + m_{О2})C_m + P_{О1}C_{Ф1} + P_{О2}C_{Ф2} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $m_{О1}$, $m_{О2}$ – количество обслуживаемых и ожидающих обслуживания машин перед первой (демонтаж) и второй (сортировка) фазами (постами); C_m – средняя стоимость одного часа (дня) простоя поста (оборудования и персонала), р.; $P_{О1}$, $P_{О2}$ – вероятность простоя соответственно первой и второй фаз (постов); $C_{Ф1}$, $C_{Ф2}$ – стоимость одного часа (дня) простоя соответственно первой и второй фаз (постов), р./ч.

Если через посты демонтажа и сортировки в течение рабочего дня проходят разные марки автомобилей с разными перечнями необходимых операций (в зависимости от начальной степени разукomплектованности), то вводится условное обслуживание, за которое может быть принята, например, утилизация трудоемкостью, равной средней трудоемкости для конкретного типа автомобилей. Для проведения утилизации, а также соответствующих демонтажных и сортировочных работ используются как стационарные посты в производственном корпусе перерабатывающего предприятия, так и передвижные (мобильные) средства. При этом в каждом

конкретном случае выбирается такое средство обслуживания из имеющихся, которое обеспечивает более высокое качество работ и однородность вторичного сырья при меньших затратах времени и средств.

Одной из задач решения по критерию (2) является обоснование оптимальных соотношений между плотностью потока требований λ и интенсивностями обслуживания μ_1 и μ_2 за счет соответствующего подбора количества постов и персонала, необходимых для выполнения демонтажных работ, а также необходимого количества точек видеофиксации и распознавания маркировок (для сортировки отбракованных элементов из пластмасс).

Демонтаж и сортировка пластмассовых деталей по видам материалов не являются заключительными этапами подготовки к их повторному использованию или даже к транспортировке, поскольку в силу конструктивных особенностей они не могут обеспечить должного коэффициента использования грузоподъемности транспортного средства, перевозящего их к месту заключительной переработки. Хранение рассортированных деталей в таре на предприятии также оказывается недостаточным рациональным из-за низкого коэффициента использования объема тары. Решением этих проблем является измельчение деталей в гранулоподобное состояние, тем более именно в таком состоянии полимерные материалы попадают на дальнейшую переработку. Таким образом, посты демонтажа и сортировки обязательно должны дополнять участок измельчения деталей.

Работа участков измельчения существенно отличается от работы постов, поскольку чаще всего их работа планируется как периодическая, так как демонтированные пластиковые детали предварительно собираются по видам материалов, а затем принимаются группами по видам материалов без перемешивания на измельчение. Небольшие предприятия могут не иметь в наличии измельчительного оборудования, а следовательно, они могут арендовать мобильные измельчители, предварительно подготовив для них определенный объем работ.

Определение оптимального количества технологического оборудования для выполнения заказов является первостепенной задачей при определении характеристик предприятия.

Пластиковые детали, рассортированные по видам материалов, предварительно собираются на складе и через соответствующие периоды подаются на обработку. При этом промежутки времени, через которые партии деталей подаются на обработку, и их количество в каждой партии являются вероятностными. Таким образом, имеет место система массового обслуживания с отказами при наличии накопителя заявок. За критерий оптимальности целесообразно принять минимум суммы потерь прибыли из-за невозможности переработать демонтированные с машин элементы при заполненном накопителе и от простоя как накопителя, так и технологической линии из-за отсутствия заказов при недостаточной вместимости накопителя

$$C_{yy} = z_{PO} C_P + P_{HO} (C_H + C_T) \rightarrow \min, \quad (3)$$

где C_{yy} – сумма потерь за единицу времени, $p/ч$, $p/день$; z_{PO} – количество потерянных заказов за единицу времени, $1/ч$, $1/день$; C_P – средняя прибыль, связанная с выполнением одного заказа, p ; C_H , C_T – потери соответственно от простоя накопителя и измельчителя, $p/ч$, $p/день$; P_{HO} – вероятность отсутствия заказов в накопителе.

По критерию оптимальности (3) численным решением можно определить требуемые оптимальные соотношения между плотностью потока требований $\lambda_{\text{опт}}$, интенсивностью их обслуживания $\mu_{\text{опт}}$ и вместимостью накопителя $n_{\text{опт}}$.

Разработанные критерии и построенные на их основе математические модели обеспечивают эффективную работу предприятий переработки выбывших из эксплуатации ТИТМ в любых производственных условиях.

В главе 3 «Теоретические основы разработки системы распознавания рельефных маркировок» изложены принципы, позволившие усовершенствовать процесс сортировки пластмассовых деталей при утилизации ТИТМ. Возможность использования низкоквалифицированного персонала можно реализовать на практике при обеспечении качественной сортировки, если избавить его от необходимости решать задачу, связанную с идентификацией вида полимера, из которого сделана демонтируемая деталь. Такая задача решается с помощью камер, установленных на посту демонтажа деталей, работающих совместно с центральным компьютером (рисунок 3).

Работнику в процессе разборки достаточно лишь обратить демонтированную деталь маркировкой к камере, после чего последует команда в виде включения сигнальной лампы над контейнером, куда следует положить деталь.



Рисунок 3 – Общая схема системы распознавания и интерфейс программы распознавания маркировок

Для системы автоматической идентификации рельефных маркировок по видеоизображению необходим беспроводной контроллер, управляющий по команде компьютера положением видеокамер, направляя их на маркировку, тем самым, обеспечивая большую свободу действий работника, производящего разборку узлов и агрегатов, содержащих элементы из полимерных материалов. Применение беспроводных технологий облегчает монтаж системы в любом удобном месте.

Применение технологий проводной и беспроводной связи для управления группой беспроводных камер на нескольких удаленных постах разборки автомобиля возможно с использованием серийно выпускающегося контроллера, способного управлять 24-мя камерами и снабженного обратной связью положения камеры, что обеспечивает контроль над работоспособностью механического привода. Для пере-

дачи команд контроллеру был разработан протокол обмена данными и написана микропрограмма.

Рельефные маркировки на пластиковых деталях трудно поддаются распознаванию традиционными одновидеокамерными средствами. Использование двух и более камер позволяет расширить аппаратные возможности определения маркировки. В системе распознавания маркировок пластиковых деталей реализована концепция динамического определения поля распознавания, что значительно снижает требования к фиксации объекта анализа. Нет необходимости жестко закреплять пластиковые детали для определения маркировки, затраты времени на распознавание типа пластика значительно сокращаются за счет исключения стабилизации изображения на матрице камер. Аппаратное обеспечение получения видеоданных в промышленных условиях позволяет проводить анализ как с дополнительными осветителями, так и в условиях стандартного цехового освещения. Это дает возможность использовать недорогие видеокамеры, уменьшая стоимость всей системы.

Алгоритм анализа и распознавания, основанный на предварительном моделировании символов, полученных с нескольких камер, существенно снижает требования к точности нанесения символов и расширяет область применения системы распознавания маркировок.

Разработанные методы морфологического анализа изображений в настоящее время достаточно эффективны. Применяемый морфологический анализ и векторная корреляция, которая предусматривает последовательное описание образа в виде вектора параметров изображения, позволяют использовать логический анализ при сравнении двух однотипных объектов. Раскладывая векторные параметры изображения в виде древовидной структуры, которая позволяет разбивать крупные части изображений на мелкие сегменты, система распознавания уменьшает векторную зашумленность цифрового коррелята трудно распознаваемой маркировки, что позволяет распознавать эти маркировки с максимально высокой точностью. Каждый текущий вектор сравнивается с эталонным. По результатам сравнения программа принимает решение об образе, совпадает он с эталоном или нет. Благодаря этому методу и применению многокамерной системы достигается высокая надежность распознавания ($P=0,99$).

В главе 4 «Экспериментальные исследования» изложены программа и методика экспериментальных исследований, а также методика обработки опытных и статистических данных. В рамках исследования была проанализирована степень пригодности для демонтажа и утилизации нескольких моделей автомобилей и тракторов, эксплуатировавшихся более 10 лет. Выбор рассмотренных марок был основан на анализе структуры парка выбывшей из эксплуатации техники. В процессе проведения эксперимента идентифицировались применяемые детали крепления, время на проведение операций по демонтажу деталей, узлов, агрегатов, тип применяемого материала и масса детали. Определялось и анализировалось как общее время, затраченное на полную разборку техники, так и результаты демонтажа пластиковых деталей с разрушением и без разрушения.

Для исследования и анализа технологичности демонтажа ТигТМ проводилась их полная разборка в условиях лаборатории кафедры «Автомобильный транспорт» (рисунки 4, 5). Демонтаж деталей и компонентов проводился одним слесарем

как без разрушения, так и с частичным разрушением демонтируемых элементов, частичным сохранением крепежных элементов за исключением сильнокорродированных. Использовалось стандартное оборудование, приспособления и инструмент, применяемые при техническом обслуживании и ремонте ТнТТМ. При хронометрировании операций демонтажа пластмассовых деталей фиксировалось положение слесаря относительно объекта разборки, реальное время на проведение операций с учетом подготовительных процедур и замены инструмента. После демонтажа детали происходила фиксация маркировки вида материала и взвешивание.

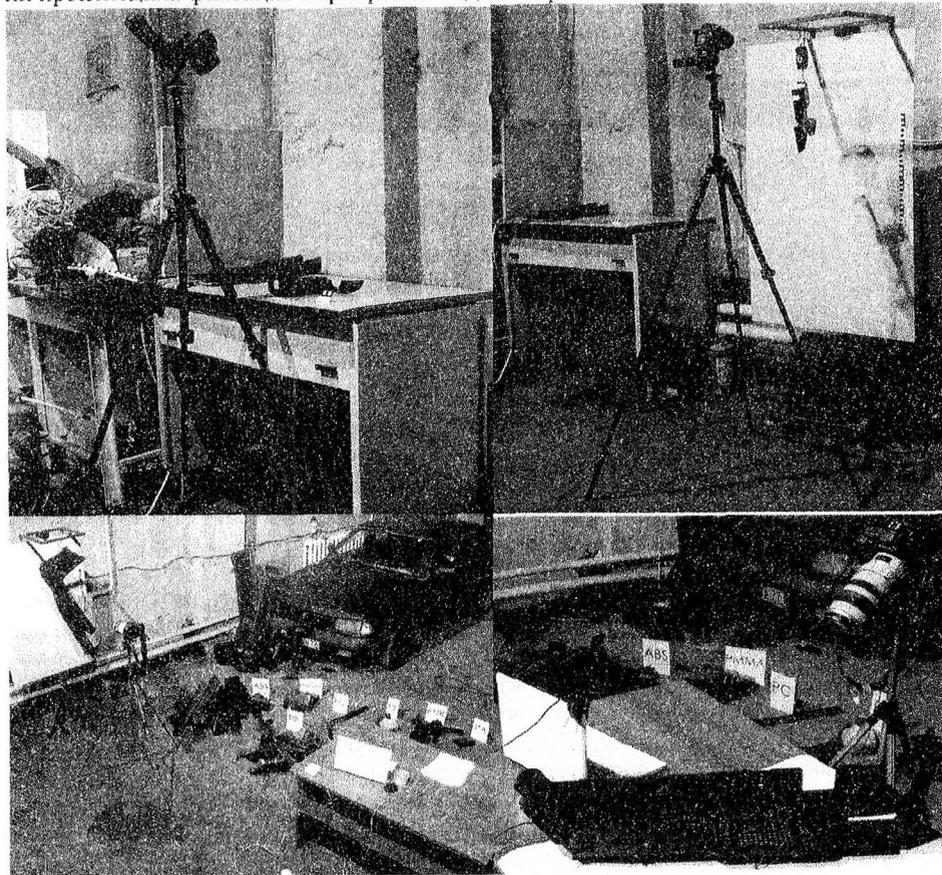


Рисунок 4 – Процесс фиксации типа материала и массы детали, сортировка по видам

В результате выполненной работы были отмечены недостатки исследуемой техники, вследствие которых демонтаж отдельных компонентов производился с большой трудоемкостью, например, панели приборов, отопителя и др. Для крепления некоторых деталей используются болты с головками различного размера, требующие замены инструмента при операциях демонтажа каждой детали. Наибольшие

трудности при демонтаже вызывает крепеж с крестообразным шлицем, часто срезаемым инструментом.

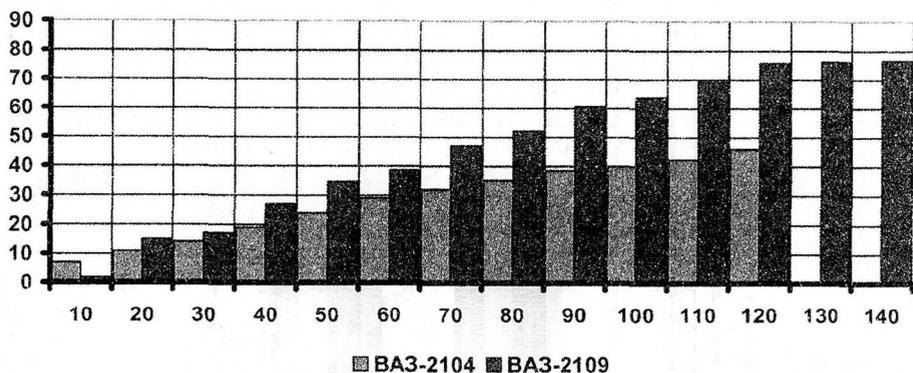


Рисунок 5 – Масса демонтированных пластмассовых деталей к определенному моменту времени (кг/мин)

В главе 5 «Результаты моделирования и оптимизации технологических процессов селективной утилизации пластмассовых деталей» изложены результаты моделирования и оптимизации работы постов и участков предприятия по утилизации пластмассовых деталей. С учетом потенциального множества предприятий, списывающих технику различных видов, а также особенностей деятельности различных предприятий технического сервиса, оптимизация режима выполнения заказов заключалась в получении таких обобщенных данных, которые могут быть использованы специалистами любого предприятия технического сервиса, в сферу деятельности которого может входить утилизация компонентов из пластмасс.

Оптимизация режима работы предприятия утилизации машин и в частности поста по демонтажу и поста сортировки элементов ведется по критерию (2). К показателям функционирования двухфазной системы относятся количество объектов, находящихся в первой фазе (на демонтаже) m_{O1} и во второй фазе (на сортировке) m_{O2} , а также соответствующие вероятности простоя указанных фаз P_{O1} и P_{O2} в зависимости от соотношений $\alpha_1 = \lambda/\mu_1$ и $\alpha_2 = \lambda/\mu_2$ между плотностью потока требований λ и интенсивностями μ_1 и μ_2 обслуживания в каждой фазе.

Обобщенный график зависимости m_{O1} и m_{O2} соответственно от α_1 и α_2 приведен на рисунке 6. По графику в зависимости от α_1 можно определить значение m_{O1} и m_{O2} в зависимости от α_2 . Значения m_{O1} и m_{O2} с ростом соответственно α_1 и α_2 возрастают по гиперболической зависимости.

Если задаться приемлемыми значениями m_{O1} и m_{O2} с учетом производственных площадей, то можно определить соответствующие значения α_{10} и α_{20} . Затем при заданной плотности потока требований λ_0 , характерной для региона или сезона можно определить требуемые интенсивности обслуживания $\mu_{10} = \lambda_0/\alpha_{10}$ и $\mu_{20} = \lambda_0/\alpha_{20}$ и определиться с необходимым технологическим оборудованием и уровнем механизации работ. Например, если в каждой фазе можно расположить только три машины

($m_{O1}=3, m_{O2}=3$), то, как показано на рисунке 6, получим $\alpha_{10}=\alpha_{20}=0,745$. При плотности потока требований $\lambda_0=1,5$ получим требуемые интенсивности обслуживания $\mu_{10}=\mu_{20}=\lambda_0/\alpha_{10}=1,5/0,745=2,03$. Аналогичное решение можно выполнить и при разных значениях m_{O1} и m_{O2} . Например, если в первой фазе можно разместить три машины ($m_{O1}=3$), а во второй – четыре ($m_{O2}=4$), то на графике (рисунок 6) получим $\alpha_{10}=0,745, \alpha_{20}=0,8$. При этом необходимы интенсивности обслуживания $\mu_{10}=1,5/0,745=2,03$ и $\mu_{20}=1,5/0,8=1,875$. По значениям μ_{10} и μ_{20} можно определить требуемое количество постов, а также слесарей-разборщиков и сортировщиков. При известных значениях α_1 и α_2 можно получить соответствующие вероятности простоя поста демонтажа P_{O1} и поста сортировки P_{O2} (рисунок 7). Например, для первого случая при $\alpha_{10}=\alpha_{20}=0,745$ получим $P_{O1}=P_{O2}=0,21$.

На основании приведенных зависимостей можно решить и обратную задачу (синтеза или проектирования) постов демонтажа и сортировки. Для этого на рисунке 7 задаемся желаемыми значениями P_{O1} и P_{O2} и определяем соответствующие им α_{10} и α_{20} , затем на рисунке 6 получим количество постов в каждой фазе m_{O1} и m_{O2} и соответствующие им производственные площади.

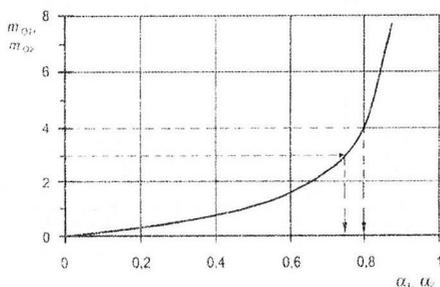


Рисунок 6 – Обобщенный график зависимостей количества объектов в каждой из фаз от приведенной плотности потока требований

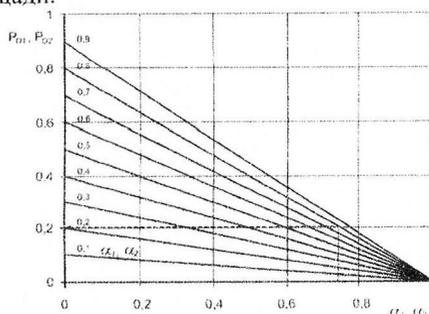


Рисунок 7 – Обобщенные графики зависимостей вероятности простоя постов в каждой из фаз от приведенной плотности потока требований

При работе с площадкой накопления выбракованных компонентов ТИТМ под n_p следует подразумевать вместимость накопителя по количеству принимаемых к измельчению контейнеров с пластиковыми деталями, рассортированными по видам и подлежащими дальнейшему измельчению на гранулы.

Путем определения вероятности отказа в обслуживании $P_{\text{откд}}$ можно учитывать различные производственно-технологические факторы, в которых может оказаться предприятие, а вместимость накопителя n_p определяется в зависимости от параметра α для различных значений $P_{\text{отк}}$. Для удобства анализа и окончательного выбора значения вместимости накопителя n_p на рисунке 8 построены графики зависимостей n_p от $P_{\text{отк}}$ в диапазоне значений $\alpha=2...14$.

При значениях $P_{\text{отк}} < 0,18$ потребная вместимость накопителя n_p резко возрастает, соответственно увеличиваются затраты, связанные с ростом n_p . С другой стороны, при $P_{\text{отк}} > 0,18$ возрастают убытки перерабатывающего предприятия из-за потери заказов. Из данных на рисунке 9 видно, что оптимальному режиму работы соответствует вероятность отказа $P_{\text{откopt}}=0,18$.

Исходя из изложенного, с учетом точности расчетов, в качестве рациональной области для выбора значений $P_{отк}$, α и n_p предлагается диапазон значений $P_{откp}=0,16...0,20$. Соответствующие области для выбора $P_{откp}$ и n_p показаны штрихами. В указанных областях можно оперативно выбрать эффективный режим работы при выполнении заказов, связанных с предварительным измельчением рассортированных по видам материалов пластиковых деталей.

Проведенная комплексная оценка ущерба по составляющим окружающей среды, на которые производится прямое вредное воздействие не вовлеченной в сбор и утилизацию техники и вредных веществ из нее – почве и водным ресурсам – свидетельствует о значительном ежегодно причиняемом ущербе окружающей среде по причине отсутствия системы сбора и полноценных технологий утилизации. Так, на примере контрольного района ущерб, наносимый земельным ресурсам несанкционированными свалками вышедшей из эксплуатации и не вовлеченной в процесс сбора и утилизации техники (660 единиц), составляет 781367 р./год; водным ресурсам – 125227 р./год. Общая сумма ущерба окружающей среде составляет 906594 р./год.

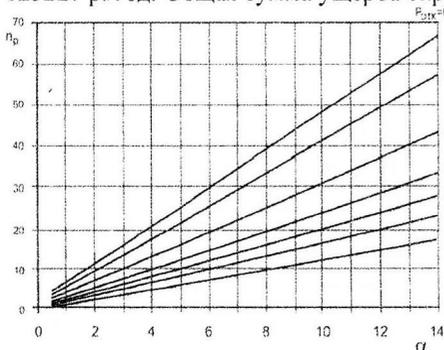


Рисунок 8 – Зависимости вместимости накопителя от приведенной плотности потока заявок при различных значениях вероятности отказа в обслуживании

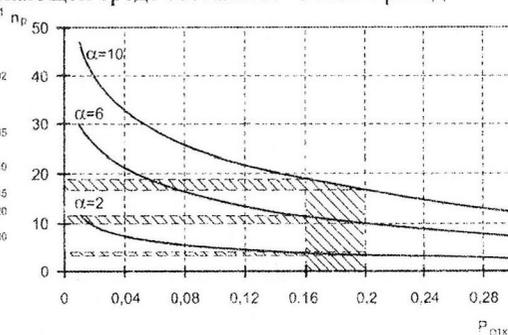


Рисунок 9 – Зависимости вместимости накопителя от вероятности отказа в обслуживании при различных значениях приведенной плотности потока заявок

Возможный экономический эффект от вовлечения того же количества техники в переработку составит свыше 900 тыс. р. за расчетный период, равный четырем годам в ценах 2012 года.

Общие выводы

1. Применение пластмасс в конструкции транспортных и транспортно-технологических машин варьируется в диапазоне от 0,5 до 15 % по массе в зависимости от типа и периода разработки, с тенденцией дальнейшего увеличения. Доля пластмасс в конструкции легковых автомобилей достигает 15 %, грузовых автомобилей – 5 %, сельскохозяйственной и специальной техники – от 0,5 до 2 %.

2. Анализ количества и состава материалов, образующихся в рамках существующих в нашей стране технологий утилизации, показывает, что свыше 25 % массы легкового автомобиля и до 10 % массы сельскохозяйственной и коммерческой техники поступают на захоронение. Отходы, поступающие на захоронение, включают

57 % полимерных материалов, в том числе до 40 % термопластов, пригодных к повторному использованию по тому же назначению.

3. Исследованиями установлено, что доминирующее положение в потоке техники (на примере Москвы и Московской области), требующей утилизации, занимают легковые автомобили: от 89 % – в Москве до 75 % – в области; доля грузовых автомобилей составляет соответственно 8 и 17 %; сельскохозяйственная и специальная техника присутствует только в региональном парке с долей, не превышающей 5 %.

3. Рациональное использование пластмассовых деталей, демонтированных со списанных ТИТТМ, определяет необходимость включения в технологический процесс утилизации после операции демонтажа, операции сортировки, по итогам которой демонтированные пластмассовые детали разделяются на группы по материалам и проходят дальнейшую переработку.

4. Эффективная взаимосвязанная работа средств демонтажа и сортировки деталей в условиях предприятий технического сервиса достигается путем представления в виде двухфазной системы массового обслуживания, для которой установлены рациональные сочетания плотности потока требований λ и интенсивностей их обслуживания в первой μ_1 и второй μ_2 фазах.

5. Определена продолжительность выполнения технологических операций, входящих в технологический процесс демонтажа пластмассовых деталей, которые входят в состав интерьера и экстерьера ТИТТМ. Выявлены основные недостатки утилизируемой техники, вызывающие задержки на постах при демонтаже, и следовательно, вызывающие необходимость частой смены инструмента или изменения технологии демонтажа из-за разрушения крепежных элементов. Продолжительность демонтажа пластиковых деталей ТИТТМ варьируется в диапазоне от 60 до 140 минут в зависимости от вида техники и уровня ее разукomплектованности.

5. Эффективная работа участка измельчения предварительно рассортированных по видам материалов деталей, выполняющего работы с предварительным накоплением заявок, обеспечивается при вероятности отказа в обслуживании в диапазоне $P_{отк}=0,16...0,20$ и вместимости накопителя $n_p=4...5$ при сочетаниях плотности потока требований и интенсивности их обслуживания $\alpha=2$, $n_p=10...12$ при $\alpha=6$, $n_p=17...19$ при $\alpha=10$.

7. Обоснован состав элементной базы системы распознавания маркировок пластмассовых деталей, позволяющей производить разделение массы поступающих с демонтажа деталей на группы материалов для дальнейшей переработки. Система может пользоваться для распознавания как кодами материалов, так и каталожными номерами деталей, нанесенными на поверхность. Разработано программное обеспечение, управляющее работой камер и распознающее рельефные маркировки с формированием команд исполнителям.

8. Предсказано организационные ресурсосберегающей технологии утилизации пластмассовых деталей предотвращен ущерб, наносимый земельным ресурсам несанкционированными свалками, образованными вышедшими из эксплуатации и не вовлеченными в процесс рециклинга компонентами ТИТТМ в размере 781 367 р./год; водным ресурсам – 125 227 р./год.

9. Экономический эффект от возможного практического применения проектных предложений и вовлечения того же количества компонентов в повторное ис-

пользование, составит свыше 900 000 р. за расчетный период, равный четырем годам в ценах 2012 года.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах (курсивом выделены работы, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК):

1. **Авдеев, Е. А.** *Применение методов теории массового обслуживания для обоснования параметров и режимов работы постов демонтажа и сортировки* [Текст] / Г. Е. Митягин, Е. А. Авдеев, М. К. Бисенов // *Международный технико-экономический журнал*. – 2012. – № 5. – С. 115–119

2. **Авдеев, Е. А.** *Структура парка выбывших из эксплуатации автомобилей. Перспективы изменения и использования* [Текст] / Г. Е. Митягин, Е. А. Авдеев, М. К. Бисенов // *Международный технико-экономический журнал*. – 2012. – № 5. – С. 119–124

3. **Авдеев, Е. А.** *Методика определения объема приема техники на утилизацию и радиуса обслуживания приемным пунктом* [Текст] / О. Н. Дидманидзе, Г. Е. Митягин, Е. А. Авдеев, М. К. Бисенов // *Международный научный журнал*. – 2013. – № 1. – С. 94–100

4. **Авдеев, Е. А.** Программное и аппаратное обеспечение сортировки полимерных материалов, извлекаемых из утилизируемых автомобилей. // Сборник статей X международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» / Г. Е. Митягин, Е. А. Авдеев, Ю. Г. Алейников. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2011. – С. 206–209

5. **Авдеев, Е. А.** *Основы проектирования производственных процессов утилизации автомобилей: уч. пособие* / О. Н. Дидманидзе, Г. Е. Митягин, Р. Н. Егоров, А. Н. Журилин, Е. А. Авдеев / – М.: УМЦ «Триада», 2011. – 155 с.

6. **Авдеев, Е. А.** *Полимерные материалы: перспективы использования в автомобилестроении и проблемы утилизации: уч. пособие* / О. Н. Дидманидзе, Г. Е. Митягин, Е. А. Авдеев, М. К. Бисенов – М.: ООО «Спектр», 2012. – 107 с.

Подписано к печати 14.02.2013
Формат 68×84/16
Бумага писчая. Печать трафаретная.
Уч.-изд. л. 1,1. Усл.-печ. л. 1,1.
Тираж 100 экз.
Заказ № 128
Отпечатано в издательском центре
ООО «УМЦ «ТРИАДА»
127550, Москва, Лиственничная аллея, 7-2