

*На правах рукописи*



**Панасенков Александр Павлович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
СРЕДСТВ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

Специальность 05.20.03 - Технологии и средства технического обслуживания  
в сельском хозяйстве

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Тверь - 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Тверской государственной технической академии» (ФГБОУ ВПО ТвГТУ).

Научный руководитель - Бровман Татьяна Васильевна  
кандидат технических наук

Официальные оппоненты: Пучин Евгений Александрович  
доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина» (ФГБОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина), кафедра «Ремонт и надежность машин», заведующий кафедрой

Апатенко Алексей Сергеевич  
кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный университет природообустройства (ФГБОУ МГУП), кафедра «Технология металлов и ремонт машин», декан механического факультета

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тверская государственная сельскохозяйственная академия» (ФГБОУ ВПО ТГСХА)

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 220.044.01 при ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина».

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО МГАУ.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



А.С. Дорохов

## **Общая характеристика работы**

**Актуальность темы.** Природоохранное законодательство РФ реализует планы долгосрочного развития экономики и социальной сферы на основе экологических и санитарных требований по утилизации и переработке металлоконструкций сельскохозяйственной техники.

Агрохолдинги оставляют изношенную технику на полигонах бытовых отходов по причине отсутствия экономического механизма стимулирования процессов утилизации. Это напрямую ведет к токсическому загрязнению почв, воздуха и водных объектов отработанными маслами, кислотами из аккумуляторов и т.д.

Решая вопрос утилизации и повторного использования утилизируемых изделий, можно сделать вывод, что наиболее эффективным, а порой и единственным способом утилизации металлоконструкций сельскохозяйственных машин являются механизированные способы брикетирования, прессования с последующим разрезанием на мерные заготовки.

Важнейшим фактором, определяющим целесообразность углублённой переработки отходов, в том числе и металлоконструкций изделий сельскохозяйственной техники, является наличие энергетического ресурса, который можно получить из альтернативного, постоянно возобновляемого источника в виде отходов.

Создание стационарных и мобильных комплексов по утилизации металлоконструкций сельскохозяйственной техники актуально для Российской Федерации, поскольку ежегодно около 300 000 технологических агрегатов и транспортных машин АПК в РФ выбрасываются по причине их непригодности для дальнейшей эксплуатации, как неремонтопригодные.

Анализ генеральных схем очистки территории агропромышленных комплексов на основе положения «О реализации государственной политики в области обращения с отходами» предполагает необходимость создания производственных баз по утилизации сельскохозяйственной техники, естественным образом включенных в общую инфраструктуру сферы утилизации, как связующее звено между местными ремонтно-обслуживающими предприятиями АПК и металлоплавильными заводами.

**Цель работы.** Исследование и разработка технологии утилизации металлоконструкций сельскохозяйственной техники с целью оптимизации мощностных характеристик приводов.

**Объекты исследований.** Технологии утилизации металлоконструкций изделий сельскохозяйственной техники и технические средства для их реализации.

**Методы исследований.** Включали в себя эксплуатационные испытания прессового оборудования, лабораторные исследования валковых агрегатов и усовершенствованной конструкции дисковых фрез, а также копровых установок для переработки металлоконструкций сельскохозяйственной техники.

Исследованиям подвергались металлоконструкции автотракторной техники габаритами (4000x1620x1400) выполненные из листового проката в диапазоне толщин 0,7-1,2 мм.

**Научной новизной** обладают:

- теоретические исследования энергосиловых параметров процессов утилизации в валковых агрегатах и копровых установках;
- усовершенствованные конструкции валковых агрегатов, копровых установок, шумозащитных экранов.

**Значимость для теории.** Уточнены формулы расчета энергосиловых параметров приводов силовых установок валковых агрегатов, ступенчатых ножниц и копровых комплексов для утилизации металлоконструкций изделий сельскохозяйственной техники.

**Значимость для практики.** На основании проведенных исследований предложен механизированный комплекс для утилизации металлоконструкций сельскохозяйственной техники, состоящий из распределителя с транспортером или рольгангом, внутри которого расположен валковый агрегат, включающий линии приводов парных валков с двигателями, установленными последовательно на каждую пару валков. При этом валки выполнены с выпуклой и вогнутой плоскостями, параллельными между собой и имеющими поперечные и продольные выступы, транспортеры и устройства магнитной и пневматической сепарации.

Совместная работа комплекса состоящего из валкового агрегата и копровой установки для измельчения автотракторной техники обеспечивает получение шрота размером 50x40x40 мм и увеличение расчетной производительности комплекса до 35 тонн металлолома в час.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Результаты исследования энергосиловых параметров гидравлического пресса СРА-400-В2 на базе ЗАО «Тверьвтормет».
2. Полиномиальная и нейросетевая модели зависимости мощности привода гидравлического пресса СРА-400-В2 от параметров утилизируемой сельскохозяйственной техники, построенные на основании экспериментальных исследований и испытаний в производственных условиях.
3. Конструкции валковых агрегатов и копровых установок.
4. Конструкция шумоизолирующих панелей для локализации производственного шума утилизационных комплексов с целью повышения безопасности работ.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты были доложены, обсуждены и одобрены на научных конференциях профессорско-преподавательского состава, научных работников и аспирантов ФГБОУ ВПО «ТвГТУ» в 2008-2012 годах, международной конференции «Авторециклинг» в С-Петербурге 23-25 апреля 2010 года, международной научно-практической конференции «Экология, образование, наука, промышленность и здоровье» 15-17 ноября 2011 года г. Белгород.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 6 работ, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК, три патента на изобретения. Общий объем публикаций 2,1 печатных листов, из них авторский вклад составляет 1,87 печатных листов.

**Структура и объём диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, приложений, списка основных обозначений и списка литературы. Полный объём диссертации вместе с иллюстрациями составляет 191 страницу, включая 88 рисунков и 15 таблиц. Список литературы включает 148 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность и практическая значимость выбранной темы диссертационного исследования.

**В первом разделе «Анализ состояния вопроса утилизации металлических изделий сельскохозяйственной техники»** приведен краткий обзор исторического развития и современного состояния утилизации сельскохозяйственной автотракторной техники в России и мире.

Утилизация сельскохозяйственной техники является завершающей стадией жизненного цикла современных технических средств и основывается на ресурсосберегающих предпосылках.

Научные проблемы рационального использования, технического обслуживания, ремонта, хранения машин, утилизации и пути их решения в полной мере освещены в работах отечественных и зарубежных ученых. Основные научные положения утилизации технических средств сформулированы профессором М.Ю. Конкиным. В их основу положены труды академика Россельхозакадемии В.И. Черноиванова, члена-корреспондента Россельхозакадемии А.Э. Северного, профессора С.С. Черепанова. Важный вклад в развитие научной базы создания и функционирования предприятий, осуществляющих сервис заключительной стадии жизненного цикла машин – утилизацию автотракторной техники, внесли О.Н. Дидманидзе, Е.А. Пучин, Н.В. Алдошин, В.К. Астанин, и др.

По данным Росстата металлофонд РФ оценивается на уровне 1,5 млрд. тонн чёрного металла, находящегося в составе изделий, машин, устройств, зданий, сооружений и коммуникаций. Из него, согласно оценочному прогнозу, объём лома сельскохозяйственных машин в 2010 - 2015 г.г. составит примерно 25 млн. тонн.

Основой технологического комплекса переработки металлоконструкций тракторов и сельскохозяйственной техники являются шредеры первичного и вторичного измельчения. Шредеры «Hammel», «Komptech», «Doppstadt – DaimlerChrysler», «Tana» являются наиболее распространёнными при утилизации агропромышленной техники в Европе. Наиболее успешной фирмой по производству

оборудования для переработки сварных конструкций и агрегатов сельскохозяйственного лома в Европе и мире является компания «MetsoLindemann». В мире работают около 350 шредерных установок, изготовленных фирмой «MetsoLindemann».

При утилизации сельскохозяйственного оборудования методами прессования и резки применяют стационарные пресс-ножницы фирмы «Lusitania», стационарные пресс-ножницы «LOLLINI» и мобильные пресс-ножницы «Conqueror». Отходы в виде металлолома перерабатывают в пакетировочных прессах турецких фирм «BirimMakina» и серии «LEOPARD». Кроме того, часто применяются установки резания металлолома при помощи дисковых фрез. К вспомогательным механизмам агрегатов резки участка утилизации металлоконструкций сельскохозяйственных машин можно отнести специальные прижимы и упоры.

В соответствии с проведённым анализом и поставленной целью были определены следующие задачи:

1. Исследование энергосиловых параметров процессов утилизации сельскохозяйственных машин методами брикетирования на гидравлических прессах и деформации прокаткой в валковых агрегатах с целью их оптимизации.

2. Исследование эксплуатационно-технологических характеристик оборудования утилизационных комплексов с целью создания и адаптации математических моделей, обеспечивающих автоматизацию подготовки заготовок к утилизации и определяющих оптимальные параметры приводов утилизационных установок.

3. Разработка методов утилизации сельскохозяйственной техники деформацией прокаткой и динамическим разрушением и разработка конструкций валковых и копровых установок для утилизации оборудования АПК.

4. Исследование уровня производственного шума и разработка средств защиты методом экранирования.

5. Технико-экономическое обоснование внедрения в производственный процесс утилизационного предприятия ЗАО «Тверьвтормет» валковой установки авторской конструкции.

**Во втором разделе «Теоретические основы напряженного деформированного состояния металлоконструкций в процессах утилизации»** изложены теоретические основы расчета энергосиловых параметров установок, используемых при утилизации металлоконструкций машин агропромышленного комплекса. Основой расчета характеристик мощности этих установок являются базовые положения теорий пластичности и разрушения.

Упругие деформации описываются уравнением обобщенного закона Гука:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}[\sigma_x - \mu_p(\sigma_y + \sigma_z)]; \tau_{xy} = G\gamma_{xy}; \quad (1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}[\sigma_y - \mu_p(\sigma_z + \sigma_x)]; \tau_{xz} = G\gamma_{xz}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}[\sigma_z - \mu_p(\sigma_x + \sigma_y)]; \tau_{yz} = G\gamma_{yz}, \quad (3)$$

где  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  - компоненты нормальных напряжений,  $E$  - модуль упругости первого рода,  $\mu_p$  - коэффициент Пуассона,  $G$  - модуль упругости второго рода.

В общем случае напряжения и деформации являются тензорами второго порядка в трёхмерном пространстве (имеют по 9 компонентов).

Тензор скорости деформации имеет следующий вид:

$$T_w = \begin{Bmatrix} w_x & \frac{1}{2}\eta_{xy} & \frac{1}{2}\eta_{xz} \\ \frac{1}{2}\eta_{yx} & w_y & \frac{1}{2}\eta_{yz} \\ \frac{1}{2}\eta_{zx} & \frac{1}{2}\eta_{zy} & w_z \end{Bmatrix}, \quad (4)$$

где  $w_x, w_y, w_z$  - компоненты тензора скорости деформации удлинения (укорочения);

$\eta_{xy} = \eta_{yx}, \eta_{yz} = \eta_{zy}, \eta_{zx} = \eta_{xz}$  - компоненты, соответствующие деформации сдвига.

Все существующие теории пластичности можно разделить на две группы:

а) деформационные теории, разработанные Г. Генки, А. А. Ильюшиным и др.

Они используют нелинейные зависимости  $\varepsilon(\sigma)$  - деформаций от напряжений при нагрузке и  $\varepsilon = 0$  при разгрузке ( $\varepsilon$  - пластическая деформация, при разгрузке она равно нулю).

б) теории течения, учитывающие, что приращения напряжений определены приращениями деформаций, а не самими деформациями. Поэтому надо учитывать всю историю нагружения (деформации). Эти теории (В. Прагер, Ф. Ходж, Р. Хилл и др.) более точные, они учитывают историю деформации, но расчеты по ним гораздо сложнее.

Для простых видов нагружения, когда увеличение усилий происходит без разгрузок (монотонное нагружение), оба вида теорий дают практически одинаковые результаты, поэтому можно применять «деформационные теории», как более простые.

Основу энергетических критериев малоциклового разрушения составляют: полная энергия пластической деформации, тепловой эквивалент упруго-пластических деформаций, энергия пластических деформаций в пределах области упрочнения.

Для описания условий разрушения при малом числе циклов используется функция повреждения материала, зависящая от пути пластического деформирования, накопленной энергии пластической деформации.

Кроме того установлено, что разрушению, как правило, предшествует устойчивое развитие трещины. Основой науки о трещинообразовании являются положения теории Гриффитса-Ирвина.

Технологические задачи, решаемые при утилизации сельскохозяйственных машин, можно рассматривать как задачу о вдавливании клина в полупространство. Такие задачи имеют решение Хилла. В работах Л. М. Качанова построены кинематически допустимые поля скоростей для предельных значений напряжений при вдавливании тупого и острого клина.

Внешнее трение затрудняет скольжение деформируемого тела по инструменту. Действие его распространяется неодинаково по объему тела и наиболее сильно вблизи поверхности контакта и минимально внутри тела. Это приводит к неравномерности деформации. Так при прессовании, сжатии или брикетировании образец принимает бочкообразную форму из-за действия сил трения на поверхности инструмента. В результате их действия вблизи контактной поверхности образуется зона затрудненной деформации, распространяющаяся на некоторую глубину и имеющая форму конуса.

Активное усилие, которое должна развивать утилизационная машина на инструменте по направлению его движения в каждый момент периода деформирования, всегда равно сопротивлению, которое оказывает деформируемое тело.

Существует несколько способов определения работ деформации: решение дифференциальных уравнений равновесия совместно с условием пластичности, расчет деформирующих усилий по приближенным уравнениям равновесий и условию пластичности, метод баланса работ, метод сопротивления материалов пластическим деформациям.

При деформации корпусной заготовки размерами  $b \times h$  в валковом агрегате с усредненной толщиной стенки  $\delta$ , см. пунктир на рисунке 1, следует приложить усилие  $P$ , определяемое на основании расчета и экспериментальных данных по формуле

$$P = \frac{\pi E \delta^3}{3(1-\gamma^2)h}, \quad (5)$$

где  $E$  – модуль упругости;  $\gamma$  – коэффициент Пуассона.

При  $E=2 \cdot 10^5 \text{ МН/м}^2$ ;  $\gamma=0,32$ ;

$$P=2,33 \cdot 10^5 \frac{\delta^3}{h}, \quad (6)$$

например, если  $h=0,5 \text{ м}$ ,  $\delta=3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  (3 мм), то

$$P=1,26 \cdot 10^{-2} \text{ МН} = 12,6 \text{ кН}$$

По опытным данным для обеспечения некоторого запаса по величине силы лучше использовать формулу (для сталей)

$$P=(2,8-3,2)10^5 \frac{\delta^3}{h} \text{ мм}, \quad (7)$$



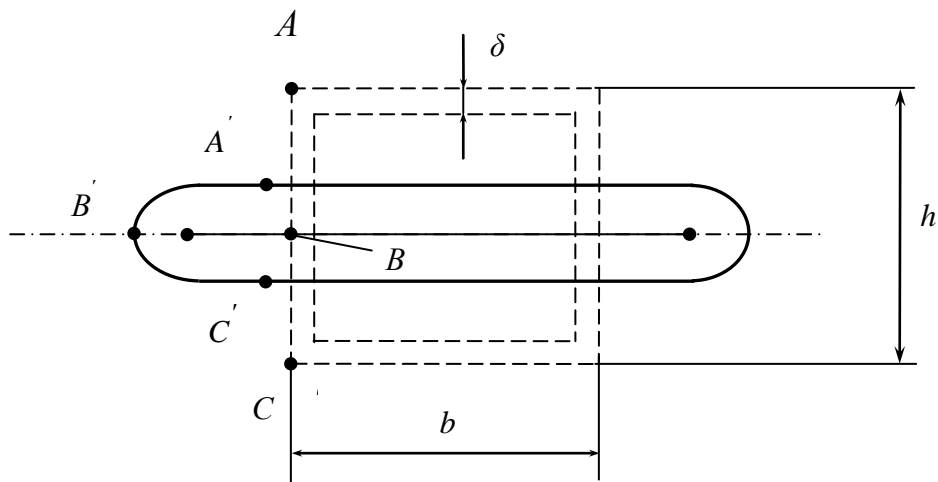


Рисунок 1 - Начальная и конечная формы деформируемой заготовки при утилизации в валковых агрегатах

и, если  $\delta=3 \cdot 10^{-3}$  м,  $h=0,5$  м, то по формуле (7)

$$P=1,51 \cdot 10^{-2} \div 1,73 \cdot 10^{-2} \text{ МН, т.е. } 15,1 \div 17,3 \text{ кН.}$$

Обжатую в валках заготовку разрезают на мерные части.

Усилие резки заготовки на мерные длины можно определять по формуле

$$T=\tau_{\sigma} S=0,7\sigma_{\sigma} S, \quad (8)$$

где  $\tau_{\sigma}$  – предел прочности на срез,  $\sigma_{\sigma}$  – на растяжение-сжатие, а  $S$  – площадь сечения разрезаемой заготовки.

Например, при  $b = 1$  м,  $h = 4$  мм,  $\sigma_{\sigma} = 300$  МН/м<sup>2</sup>.

$$S=1 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2; T=0,7 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 8,4 \cdot 10^5 \text{ Н} = 0,84 \text{ МН.}$$

Усилия резки могут быть выше, например, при сечении пакета 10x2000мм и  $S = 0,01 \cdot 2 = 0,02$  м<sup>2</sup> и  $\sigma_{\sigma} = 400$  МН/м<sup>2</sup> по формуле (8) получаем

$$T=0,7 \cdot 400 \cdot 0,02 = 5,6 \text{ МН,}$$

и с некоторым запасом следует проектировать для этих условий утилизации летучие ножницы на усилия 6-7 МН.

В ряде случаев целесообразно применять ножницы со ступенчатыми ножами, показанными на рисунке 2.

Положение пакета сечением ABDC и ножа 1 определяет, что крайняя заготовка 2 сечением  $b \times h$  уже отрезана и падает на направляющую и транспортёр (рольганг). Заготовка 3 отрезана уже по всей толщине, а заготовка 4 отрезана от пакета 5 только частично. Имеются (как показано на рис. 3 – вид по стрелке М) упор 6 и нижний нож 7, не совершающий движения в вертикальном направлении.

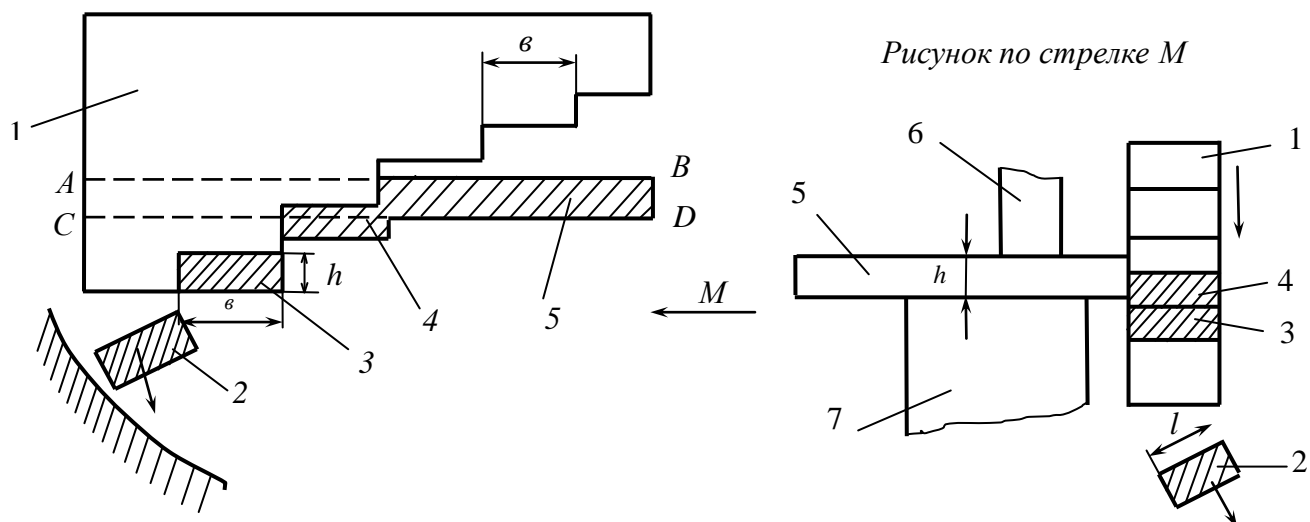


Рисунок 2 - Ножницы со ступенчатыми ножами по патенту RU 82982U1, применяемые при утилизации металлоконструкций агрокомплекса

Если толщина пакета  $h$ , а размеры отрезаемой заготовки  $b_0 \times h \times l$ , то согласно исследованиям ТвГТУ можно определять усилие  $T$  по уточненной формуле

$$T = 0,7\sigma_g (b_0 h + lh), \quad (9)$$

и, например, при  $\sigma_b = 400 \text{ МН/м}^2$ ,  $h = 0,01 \text{ м}$ ,  $b_0 = 0,2 \text{ м}$ ,  $l = 0,3 \text{ м}$   $T = 0,7 \cdot 400 \cdot 0,01 \cdot (0,2 + 0,3) = 1,4 \text{ МН}$ , т.е. в 4 раза меньше, чем при резке обычными ножами. Конечно, при ступенчатых ножах необходимо увеличивать величину «хода» - перемещения ножей, однако такая технология позволяет получать фрагменты длиной не равной полной ширине листа  $b$ , а меньшей, равной  $b_0$ .

Уменьшение необходимой величины усилия реза позволяет снизить массу ножниц и их стоимость. Можно сначала разрезать пакет продольной резкой, например, дисковыми ножами, а затем пакеты меньшей ширины разрезать на отдельные фрагменты, но при этом, как показывает конструктивная проработка, значительно возрастают масса оборудования и необходимые производственные площади, поэтому конструкция со ступенчатыми ножами обладает некоторыми преимуществами.

Применение для утилизации металлоконструкций автотракторной техники методом динамического разрушения копровой установкой (см. рисунок 3) обеспечивает уменьшение энергосиловых параметров за счет использования массы утилизируемой заготовки.

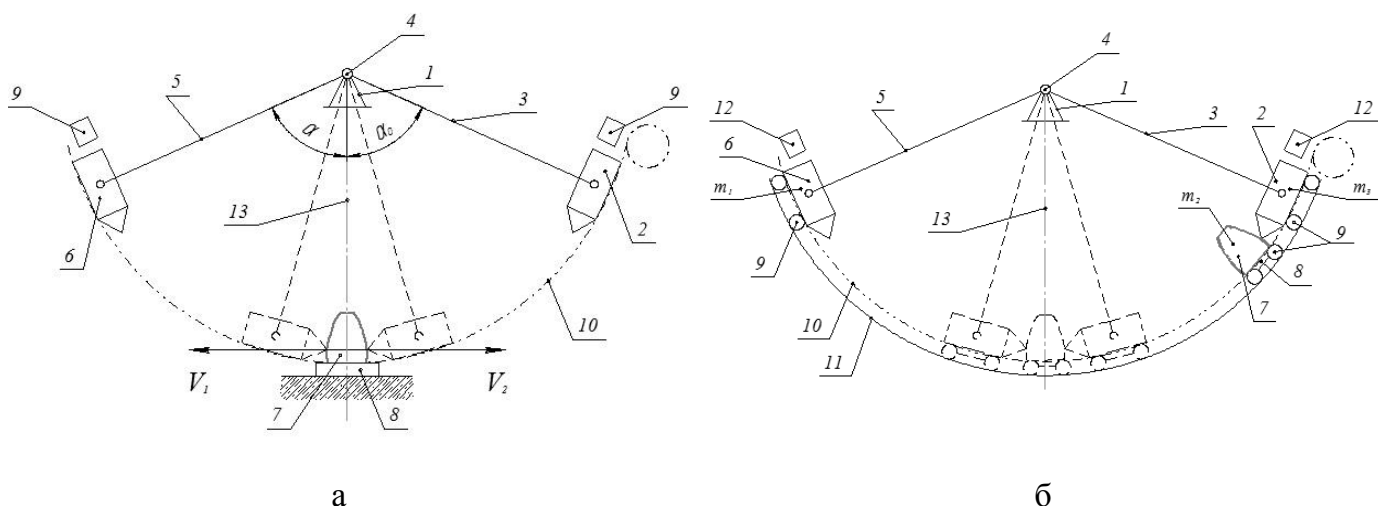


Рисунок 3 - Копровая установка для утилизации автотракторной техники по патенту RU2410158C2 (а – первый вариант исполнения, б – второй вариант исполнения)

Энергия удара двух грузов 2 и 6 (см. рисунок 3) при отклонении рычага на угол  $\alpha_0 = 60 \div 90^\circ$  относительно оси 13 равна

$$E = 2 \cdot m \cdot g \cdot R \cdot (1 - \cos \alpha_0), \quad (10)$$

где  $E$  – энергия грузов,  $m$  – масса грузов 2 и 6,  $g$  – ускорение свободного падения,  $R$  – длина рычагов 3 и 5, соответствующая радиусу движения рычагов;

Механизированная разделка утилизируемой техники с помощью дисковых фрез по показателям энергосиловых параметров часто бывает более целесообразной.

Усилие резания  $P_c$ , воспринимаемое утилизируемой заготовкой определяем по формуле:

$$P_c = \frac{\sigma_m h^2}{6}, \quad (11)$$

где  $\sigma_m$  – предел текучести материала,  $h$  – максимальные геометрические параметры сечения утилизируемой конструкции.

**В третьем разделе «Программа и методика экспериментальных исследований»** представлены задача и методика экспериментальных исследований, оборудование и средства измерений. Перед экспериментом поставлена **цель** – проверка полученных теоретических зависимостей и сравнение результатов использования разработанного метода деформации прокаткой в валках и динамического разрушения с использованием копровой установки с существующим методом брикетирования на гидравлической прессовой установке; измерение уровня шумового загрязнения окружающей среды при работе шредерной установки.

В качестве основного критерия оценки эффективности работы утилизационной установки была принята её мощность. Задача экспериментальных исследований сводилась к определению её минимального значения.

В процессе эксперимента регистрировались следующие параметры: число оборотов двигателя насосной установки, усилие на штоках гидроцилиндров трамбователей.

Для проведения экспериментальных исследований использована тензометрическая станция «ZET 017-T8», состоящая из тензодатчиков «Месстехник-НВМ», соединённых по мостовой схеме и через усилитель постоянного тока «ZET 410», цифровой вольтметр, цифропечатающее устройство, аналого-цифровой преобразователь и осциллограф, подающий к ЭВМ измеряемые параметры.

Аппаратная часть тензостанции «ZET 017-T8» состоит из канальных преобразователей; блока соединений; блока питания; ПЭВМ с платой аналогового ввода тип L-791 и специализированным программным обеспечением.

Обработка данных проводилась с помощью программного пакета NeuroPro 0.25.

Для определения уровня шумового воздействия от работы шредерной установки использовалась комбинированная измерительная система, в основе которой прибор для измерения шума – шумомер.

Станция непрерывного мониторинга параметров акустического шума позволяет производить непрерывные измерения, запись и оценку необходимых параметров шума на соответствие нормативным требованиям.

**В четвёртом разделе «Результаты экспериментальных исследований энергосиловых параметров процесса брикетирования металлоконструкций изделий сельскохозяйственной техники на прессе СРА-400-В2 и их анализ»** изложены результаты экспериментальных исследований мощностных характеристик прессового оборудования, применяемого при утилизации металлоконструкций машин и агрегатов агропромышленного комплекса на предприятии ЗАО «Тверьвтормет».

Приведены результаты экспериментальных исследований энергосиловых параметров брикетирования металлоконструкций автотракторной техники на прессе модели СРА-400-В2, в котором за 6 циклов получают брикет размером 600х600х800мм.

На иностранные модели приходится всего 6% от общего числа утилизируемой сельскохозяйственной техники, остальные – российская и белорусская техника, что подтверждается и статистикой «Автостата».

Данные, полученные в ходе экспериментов, собраны в сводные таблицы и обработаны методами полного факторного эксперимента, квадратичной аппроксимации и искусственной нейронной сети.

Как видно из графиков распределения опытных значений мощности (рисунки 4-7), во всех случаях наблюдается распределение функции наиболее близкое к

параболическому, поэтому для определения коэффициентов уравнений, описывающих функцию, используем метод квадратичной аппроксимации.

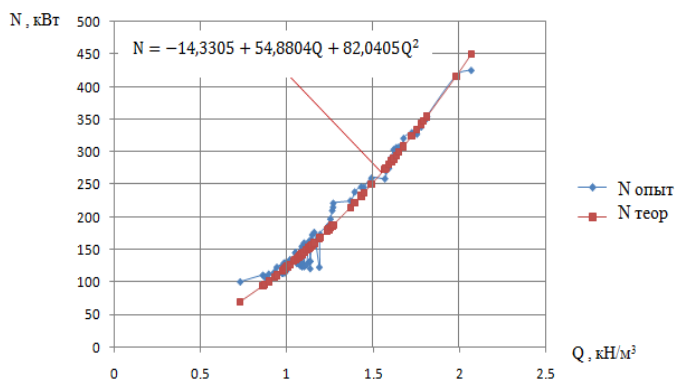


Рисунок 4 - Зависимость мощности брикетирования (N) от удельной плотности (Q) материала утилизируемой техники.

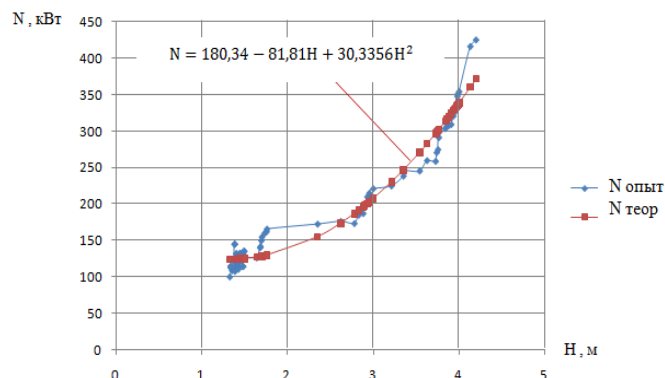


Рисунок 5 - Зависимость мощности брикетирования (N) от высоты (H) заготовки.

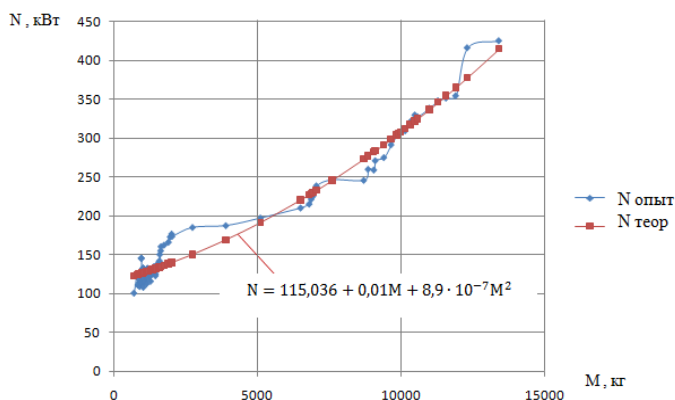


Рисунок 6 - Зависимость мощности брикетирования (N) от массы (M) заготовки.

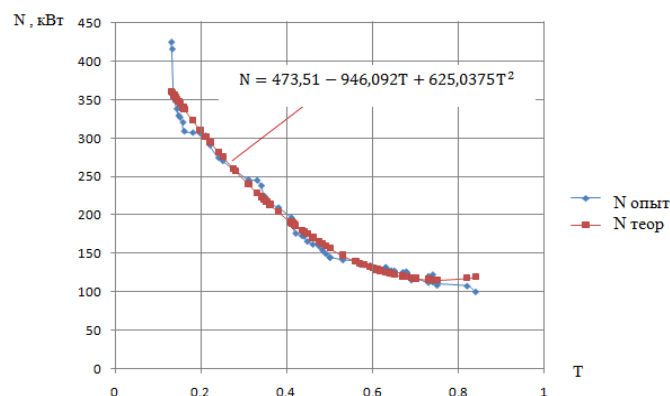


Рисунок 7 - Зависимость мощности брикетирования (N) от обтекаемости (T) заготовки.

В результате проведенных исследований получаем унифицированную таблицу зависимости мощности прессовой установки от геометрических параметров утилизируемой сельскохозяйственной техники. Для определения мощности установки используем четыре входных параметра разрушаемого изделия: удельную плотность, высоту, массу и обтекаемость.

Также было проведено сокращение числа синапсов до 20 и равномерное упрощение сети, в результате чего удалось довести значение средней ошибки аппроксимации до  $\bar{A} = 1,32\%$ .

Сравнение двух методов моделирования по критерию точности проводилось между квадратным полиномом и моделью на основе оптимизированной нейронной сети, реализованной по архитектуре 4-(3-2)-1, обученной по 50 и протестированной по 30 экспериментальным данным. В таблице 1 приведены экспериментальные

ошибки для полиномиальной модели отклика ( $\sigma_{\Pi}$ ) и для нейросетевой модели ( $\sigma_{H}$ ), уменьшение ошибки составило 62,92%

Таблица 1 - Результат сравнения математических моделей

Экспериментальные данные (показатели мощности установки)	Экспериментальная ошибка модели	
	Полиномиальная модель $\sigma_{\Pi}^2$	Нейросетевая модель $\sigma_{H}^2$
$N_{экв}$	16,4623	10,3582

В пятом разделе «Предлагаемые технические решения и их экономическое обоснование» приведены описания технологического процесса утилизации металлоконструкций автотракторной техники методами деформации прокаткой в валковых агрегатах, динамического разрушения с использованием копровой установки, а также конструкция шумоизолирующих экранов для локализации промышленного шума.

Валковая установка защищена патентом RU 82982 U1 и включает две рабочих клетки, как показано на рисунке 8.

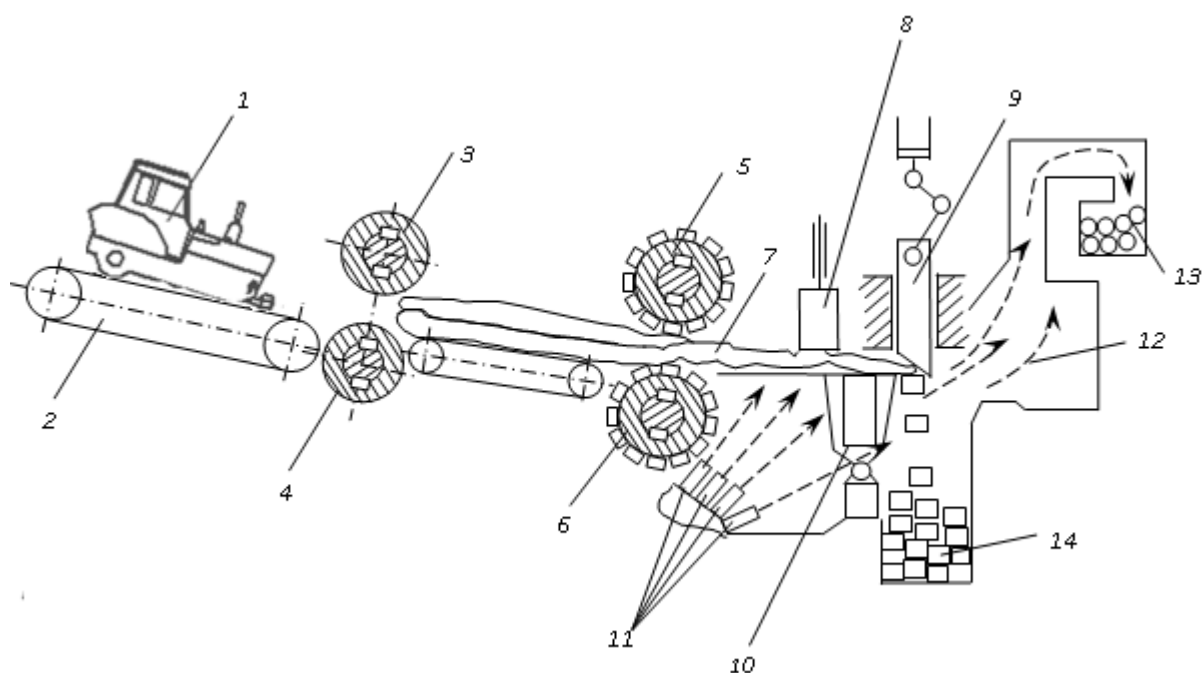


Рисунок 8 –Общая схема устройства валкового агрегата

Разрушаемое изделие 1, например, корпус трактора подается транспортером (или рольгангом) – 2 в первую клетку с рабочими валками 3, 4. Смятое и деформированное изделие затем поступает во вторую клетку с рабочими валками 5, 6, имеющими выступы на рабочих поверхностях. Деформированная и частично разрушенная заготовка 7 поступает к летучим ножницам, содержащим упор 8, верхний подвижный, наклонный нож 9 и нижний нож 10.

Можно использовать маятниковые (качающиеся) летучие ножницы с возвратно-поступательным движением либо летучие ножницы барабанного типа (с двумя вращающимися барабанами, на которых укреплены ножи).

Характерным для этих этапов является использование устройств пневматической сепарации (УПС). Форсунки 11 подают воздух под давлением 0,2-0,8 МПа для обдувания разрезанных частей заготовки (иногда УПС располагают и между рабочими клетями для обдува разрушаемой заготовки). Задачей УПС является пневматическая сепарация с отделением от металла частиц тканей, пластмасс, резины и т.д. и подачей их в камеру 12 и в накопитель 13. Металлические же заготовки скапливаются в металлосборнике-накопителе 14. В ряде случаев эффективна импульсная подача воздуха через форсунки 11 УПС.

Разработана копровая установка для разрушения металлоконструкций по патенту RU 2410158 С2 (см. рисунок 3), которая содержит раму 1 в виде металлоконструкции, включающей общую ось 4 вращения маятниковых рычагов 3 и 5. На маятниковых рычагах 3 и 5 установлены ударные грузы 2 и 6 соответственно, которые движутся при работе относительно оси 2. Рабочие поверхности грузов 2 и 6 выполнены клиновыми. Ударные грузы 2 и 6 связаны с механизмом подъема, например, в виде цепного конвейера 10 и удерживаются в крайнем положении относительно оси 13 электромагнитным захватом 9. Бойное место копра выполнено в виде плиты 8 из немагнитного материала, на которую устанавливают заготовку в виде металлолома, или корпусной детали или металлоконструкции 7.

Копер работает следующим образом. Заготовку 7 устанавливают на плите 8 бойного места, при этом груз 2 на рычаге 3 поворачивают вокруг оси 4 относительно оси заготовки 13 на угол  $\alpha=5\div 15^\circ$ , также как и на рычаге 5 груз 6, чтобы они не препятствовали установке заготовки 7 на плиту 8 бойного места. Заготовку 7 можно закрепить легкими прижимами, либо расположить на плите 8 свободно. Далее при помощи цепного конвейера 10 производят подъем грузов 2 и 6 на рычагах 3, 5 вращением их вокруг общей оси 4 относительно оси 13 на угол  $\alpha_0 = 60\div 90^\circ$ .

Возможно также выполнение копровой установки (рисунок 3.б), в котором ударные грузы 2 и 6, и плита бойного места снабжены роликами 9 и установлены на направляющих 11, которые выполнены, например, в виде рельс.

Повышение эффективности шумоизоляции низкочастотных диапазонов шума, возникающего при работе комплекса по утилизации автотракторного оборудования, достигается применением шумозащитной панели по патенту RU90814U1 (рисунок 9).

При необходимости развернуть панель, включают привод 3 вращения барабана 2, на который намотан шумопоглощающий материал 1. Высоту панели устанавливают достаточной для гарантированной защиты от огибания звуковой волной. Для этого осуществляют перемотку шумопоглощающего материала 1, который будет удерживаться на заданной высоте с помощью внешних сил 5, приложенных к барабану 4 через канаты 7, например, от аэростатов.

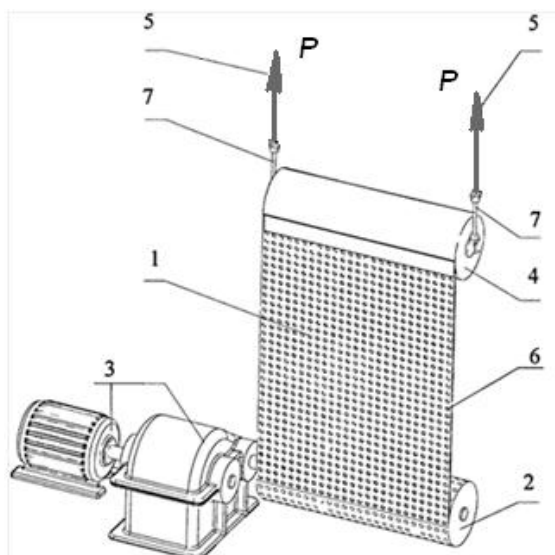


Рисунок 9 - Шумозащитная панель

Выполнен анализ затрат на установку валкового агрегата по патенту RU82982U1, из которого следует, что при установке дополнительного оборудования, чистая прибыль составит 783 тыс. руб. при условии полной окупаемости валкового агрегата в течение года.

#### Общие выводы:

1. Исследованы эксплуатационно-технологические характеристики и энергосиловые параметры процессов утилизации сельскохозяйственных машин методами брикетирования на гидравлическом прессе СРА-400-В2 и деформации прокаткой в валковых агрегатах с целью их оптимизации.

2. Построена математическая модель для определения оптимальных параметров приводов утилизационных установок. Выявлено, что для адекватной оценки мощности приводов силовой установки необходимо использование четырех входных параметров разрушаемого изделия, а именно: удельной плотности, высоты, массы и обтекаемости. Разработанные математические модели адаптированы к промышленным условиям технологической подготовки производства для перевода его с индивидуальных технологий на мелкосерийные путем автоматизации подготовки заготовок к утилизации.

3. Разработана конструкция валкового агрегата, позволяющая не только осуществлять брикетирование утилизируемых заготовок, но и производить последовательное разделение шрота на компоненты по видам материала. Усилие реза ступенчатыми ножами в предлагаемом валковом агрегате в 4 раза меньше, чем при резке обычными ножами и составляет 1,4 МН.

4. Разработана конструкция копровой установки, в которой разрушение утилизируемых заготовок производится за счет реализации их нагружения ударом нескольких грузов, которые перемещаются на встречу друг другу, благодаря чему



энергия удара увеличивается по меньшей мере в два раза и составляет 440 кДж. Величина ударного импульса составляет 15600 кг·м/с.

5. Исследованы уровни негативного воздействия производственного шума с целью разработки средств защиты методом экранирования.

6. Выявлено, что для эффективной защиты от шумового фона необходимо использование защитных панелей более 3 м в высоту. Разработана мобильная шумопоглощающая панель регулируемой высоты для защиты от звуковых колебаний частотой от 10 до 30Дб и почти полной защиты при низкочастотном шуме, создаваемым утилизационной установкой.

7. Результаты диссертационной работы реализованы на ЗАО «Тверьвтормет» при разработке усовершенствованной технологии утилизации сельскохозяйственной техники с экономическим эффектом 783 тыс. рублей в год.

#### **Список работ, опубликованных по теме диссертации:**

1. Панасенков, А.П. Специализированные прокатные станы для разрушения и измельчения изделий [Текст] / Бровман Т.В., Панасенков А.П. // Производство проката. – 2009. - № 3. С. 43-48.

2. Панасенков, А.П. Усовершенствование технологического комплекса для переработки автотракторной техники [Текст] / Бровман Т.В., Панасенков А.П. // Техника и оборудование для села. – 2012. - № 3 (177).С. 26-27.

3. Панасенков, А.П. Использование нейросетевого моделирования для оптимизации процесса утилизации сельскохозяйственной техники [Электронный ресурс] / А. П. Панасенков // Современные научные исследования и инновации. – Март, 2012. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/03/10893>

4. Пат. 82982 Российская федерация, МПК А01В19/00. Устройство для разрушения и измельчения изделий [Текст] / Бровман Т. В., Панасенков А. П. ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тверской государственный технический университет". - № 2008140499/22 ; заявл. 13.10.2008; опубл. 20.05.2009, Бюл. № 42 (П.ч.). – 3 с. : ил.

5. Пат. 90814 Российская федерация, МПК Е04В1/82. Шумопоглощающий экран [Текст] / Бровман Т. В., Пузырев Н. М., Панасенков А. П., Ващенко В. С. ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тверской государственный технический университет". - № 2009136189/22 ; заявл. 29.09.2009 ; опубл. 20.01.2010, Бюл. № 52 (П.ч.). – 3 с. : ил.

6. Пат. 2410158 Российская федерация, МПК В02С1/00, Е21С37/00. Копер для разрушения металлолома и шлака [Текст] / Бровман Т. В., Панасенков А. П., Ващенко В. С., Харитонов П. С., Коломиец П. С., Васильев М. Г. ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего

профессионального образования "Тверской государственный технический университет". - № 2009111916/03 ; заявл. 31.03.2009; опубл. 27.01.2011, Бюл. № 58 (П.ч.). – 4 с. : ил.

Подписано в печать 9.01.2013. Формат 60x84/16. Гарнитура Таймс.  
Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл.-печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_ .

Отпечатано в ООО «Мир полиграфии».

Адрес: 170000, г. Тверь, б-р Радищева, д. 29. Тел./Факс: 8(4822)32-26-20