

**Закключение.** Согласно полученным результатам, хотя и существует разброс по твердости обрабатываемого материала, однако математическое ожидание значения твердости в пробиваемой детали не превышает допустимого отклонения в 5 %, ее изменение в процессе пробивки отверстий существенным образом не влияет на прочностные характеристики используемого штампового инструмента.

#### Список цитируемых источников

1. Сорокин, Г. М. Виды износа при ударном контактировании поверхностей / Г. М. Сорокин // *Машиноведение*. — 1974. — № 3. — С. 89—94.
2. Нанесение упрочняющих композиционных покрытий системы Zr-C-N на пуансоны / С. Р. Онысько [и др.] // *Порошковая металлургия* : Респ. межведомств. сб. науч. тр. — Минск, 2009. — С. 224—231.
3. Износостойкие нанокристаллические покрытия для штамповой оснастки / Н. М. Чекан [и др.] // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов* : сб. науч. тр. : в 3 кн. / Физ.-техн. ин-т НАН Беларуси ; редкол. : А. В. Белый [и др.]. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2014. — Кн. 2 : Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. — С. 6—15.
4. Хейфец, М. Л. Математическое моделирование технологических процессов / М. Л. Хейфец. — Новополоцк : ПГУ, 1999. — 104 с.
5. Ящерицын, П. И. Планирование эксперимента в машиностроении : справ. пособие / П. И. Ящерицын, Е. И. Махаринский. — Минск : Выш. шк., 1985. — 286 с.

УДК 621.926

В. А. Потапов<sup>1</sup>, Л. А. Сиваченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

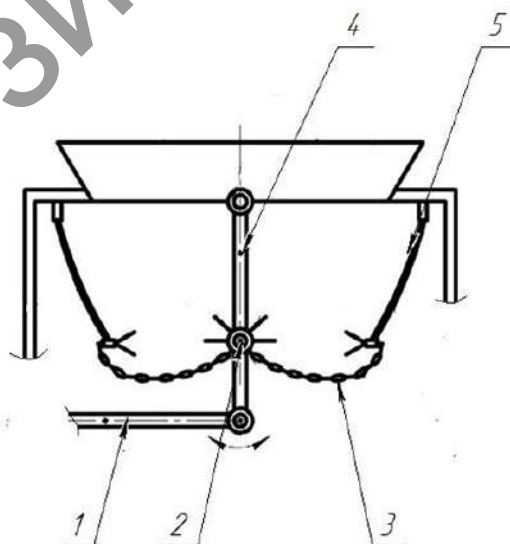
<sup>2</sup>Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», Могилев

### ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПОДХОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЦЕПНЫХ АГРЕГАТОВ

**Введение.** Первичная переработка материалов карьерной влажности сопряжена со значительными трудностями, обусловленными главным образом адгезией влажных материалов к рабочим поверхностям технологических машин.

К таким материалам относится сырьё для производства цемента и извести (мел, мергель), карьерная глина, доломиты, трепел, торф, шлаки, уголь и др.

Для повышения эффективности процесса первичной переработки таких материалов предложена конструкция многоцелевого цепного агрегата (рисунок 1).



1 — шатун; 2 — толкающая штанга; 3 — цепное полотно; 4 — маятниковый рычаг; 5 — эластичные стенки

Рисунок 1 — Схема рабочего оборудования цепного агрегата [1]



Рисунок 2 — Цепной агрегат с двухволновой рабочей камерой и верхним подвесом маятниковых рычагов (вид сбоку) [2]

Представим цепной агрегат с двухволновой рабочей камерой и верхним подвесом маятниковых рычагов (рисунок 2).

Конструкция опытного образца разработана на основе анализа большого числа технических решений цепных измельчителей, в необходимой степени учитывает весь цикл выполненных ранее поисковых исследований и отражает потенциальные возможности по переработке сложных и неоднородных материалов [3; 4].

**Основная часть.** Одной из проблем при разработке конструкции подобных агрегатов является проектирование рабочих органов, которые должны эффективно взаимодействовать с перерабатываемым материалом.

При разработке конструкции элементов рабочих органов подобных агрегатов возникает сложность в выборе их оптимальной формы, которая позволит эффективно взаимодействовать с материалом.

Проведенные ранее исследования в области создания цепных агрегатов, представленные в работе [5], показывают, что процесс, происходящий в зоне переработки материалов, имеет относительно сложный характер, соударение материала о рабочие органы носит вероятностный характер (рисунок 3).

Моделирование элементов рабочих органов цепных агрегатов может быть осуществлено на базе аналитических, численных и имитационных методов.

Для исследования сложных объектов и процессов построение математических моделей часто оказывается невозможным из-за необходимости принятия существенных допущений и ограничений, а анализ созданных моделей даже численными методами — нерезультативным ввиду неустойчивых погрешностей аппроксимации и округлений.

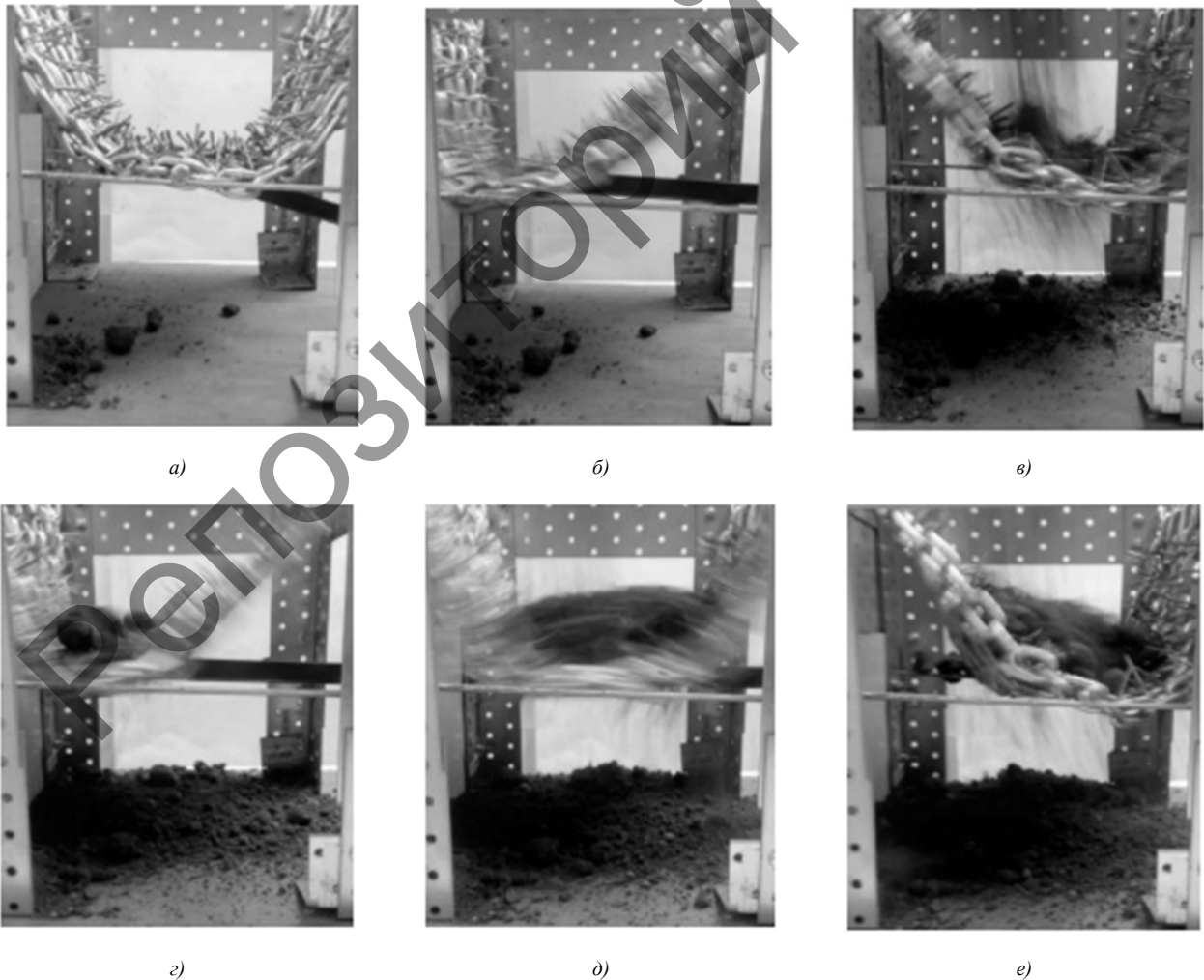


Рисунок 3 — Кинограмма процесса измельчения на опытном образце [5]



ж)



з)



и)

Окончание рисунка 3

В таких случаях широкое применение находят модели, представляющие собой содержательное описание объектов исследования в форме алгоритмов, в которых отражаются как структура исследуемого объекта, что достигается отождествлением его элементов с соответствующими элементами алгоритмов, так и процессы функционирования объекта во времени, представляемые в логико-математической форме. Модели такого типа называются имитационными [6].

Имитационное моделирование может быть использовано в целях постановки виртуальных экспериментов на компьютере, анализа и оценки функционирования объекта.

Для этих целей планируется использовать программу LS-DYNA. Данная программа предназначена для решения трёхмерных динамических нелинейных задач механики деформируемого твёрдого тела, механики жидкости и газа, теплопереноса и др. [7].

Применение данной программы широко используется при проектировании рабочих органов сельскохозяйственных машин, а именно рассмотрение процесса взаимодействия рабочих органов с грунтом, так как программа имеет в библиотеке модели свойств геологических материалов, а также существует возможность создания специальных моделей свойств материалов, что при решении нашей задачи является важной положительной особенностью программы.

**Заключение.** Применение имитационного моделирования в программе LS-DYNA позволит провести ряд виртуальных экспериментов для выявления зависимостей влияния формы элементов рабочих органов цепного агрегата на переработку материалов и позволит подобрать их оптимальную форму для конкретного вида материала, а также установить зависимость влияния амплитуды и частоты колебаний толкателя на разрушение материала, выявить зоны интенсивного разрушения.

#### Список цитируемых источников

1. *Потапов, В. А.* Рабочее оборудование цепного агрегата для переработки сложных и неоднородных материалов / В. А. Потапов, Л. А. Сиваченко, М. С. Кузьменкова // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожных и строительных отраслях : материалы Междунар. науч.-практ. конф. — Белгород : Изд-во БГТУ, 2019. — С. 174—182.
2. *Потапов, В. А.* Сравнительный анализ конструкций рабочей зоны цепных измельчителей / В. А. Потапов, Л. А. Сиваченко // Техника и технологии: инновации и качество : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Барановичи, 20 дек. 2018 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. ; редкол.: В. В. Климук (гл. ред.), Ю. Е. Горбач (отв. ред.) [и др.]. — Барановичи : БарГУ, 2019. — С. 121—123.
3. Проблемы переработки влажных сырьевых материалов и пути их решения / Л. А. Сиваченко [и др.] // Инженер-механик. — 2015. — № 1. — С. 16—20.
4. *Сиваченко, Л. А.* Цепные технологические агрегаты многоцелевого назначения и их развитие / Л. А. Сиваченко, А. М. Ровский, И. А. Реутский // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. — 2016. — № 1. — С. 78—86.
5. *Сиваченко, Л. А.* Цепные технологические агрегаты многоцелевого назначения и их развитие / Л. А. Сиваченко, А. М. Ровский, И. А. Реутский // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. — 2014. — № 1. — С. 78—86.
6. *Войнов, К. Н.* Имитационное моделирование в теории и на практике : учеб.-метод. пособие / К. Н. Войнов. — СПб. : НИУ ИТМО : ИХиБТ, 2014. — 67 с.
7. LS-DYNA [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LS-DYNA>. — Дата доступа: 09.10.2019.