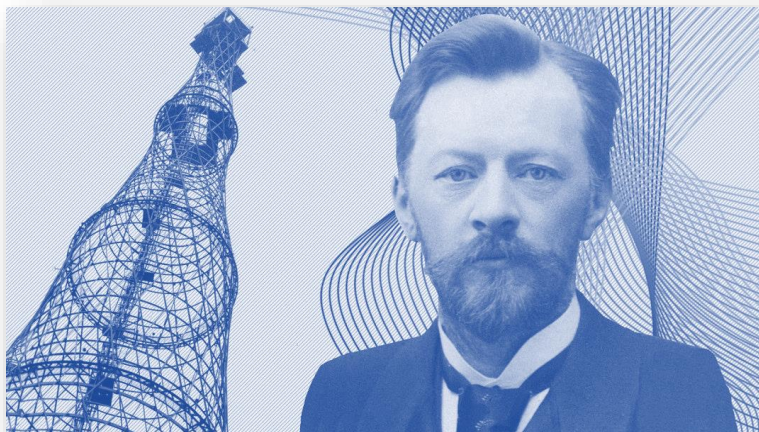


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Российская академия наук  
Российская академия архитектуры и строительных наук  
Администрация Белгородской области  
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова  
Международное общественное движение инноваторов  
«Технопарк БГТУ им. В.Г. Шухова»

**Международная научно-техническая  
конференция молодых ученых  
БГТУ им. В.Г. Шухова,  
*посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова***



*Сборник докладов*

*Часть 8*

***Технологические комплексы, оборудование предприятий  
строительных материалов и стройиндустрии в XXI веке***

Белгород  
16-17 мая 2023 г.

УДК 005.745

ББК 72.5

М 43

М 43

**Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова [Электронный ресурс]:** Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – Ч. 8. – 87 с.

ISBN 978-5-361-01142-1

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященной 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова.

Материалы статей могут быть использованы студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, занимающимися вопросами энергоснабжения и управления в производстве строительных материалов, архитектурных конструкций, электротехники, экономики и менеджмента, гуманитарных и социальных исследований, а также в учебном процессе университета.

УДК 005.745

ББК 72.5

**ISBN 978-5-361-01142-1**

©Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2023

## Оглавление

Барабашова К.Д., Дурнев И.С., Шатохин Е.А. МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЩНОСТИ КОНДИЦИОНЕРА .....	6
Барабашова К.Д., Пономаренко Д.С., Тришин П.В. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ БУЛЬДОЗЕРОВ-РЫХЛИТЕЛЕЙ.....	9
Барабашова К.Д., Серебренников А.С., Сергеев Д.В. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ОТРЫВА ОТ МАССИВА ЗУБОМ РЫХЛИТЕЛЯ СТРУЖКИ ГРУНТА.....	12
Духанин С.А. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РОТОРНО-ВИХРЕВЫХ МЕЛЬНИЦ .....	15
Духанин С.А. АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ РОТОРНО-ВИХРЕВЫХ МЕЛЬНИЦ .....	20
Жданова Е.А., Копнина О.В., Мерзликина А.И. ЭКСТРУДЕР ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРПЕСЧАНЫХ ИЗДЕЛИЙ .....	24
Лазько Е.В., Мокшина М.Ю., Петренко С.В. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРУБНЫХ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	29
Мерзликина А.И., Копнина О.В., Жданова Е.А. АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСТРУДЕРА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПВХ ТРУБ .....	32
Мокшина М.Ю., Лазько Е.В. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВИБРОПОМОЛЬНОГО И СМЕСИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ И ПАТЕНТНОЙ ЛИТЕРАТУРЕ..	37
Пахомов Е.Г., Климачев И.А., Зуев Е.В.	

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСИ В ДВУХРОТОРНОМ СМЕСИТЕЛЕ.....	42
Польшин А.А., Новоселов А.А., Духанин С.А., Тихонов А.А.	
КАНАЛЫ ОХЛАЖДЕНИЯ В ФРЕЗАХ. ИХ ФОРМА, РАСПОЛОЖЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ .....	46
Польшин А.А., Новоселов А.А., Духанин С.А., Тихонов А.А.	
СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ ВИБРАЦИИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ .....	50
Сагитов К.Р.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В РАЗЛИЧНЫХ СФЕРАХ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОМЫШЛЕННОСТИ: РОССИЙСКИЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ .....	56
Сырых А.А., Грищенко М.С.	
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА СОЗДАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ДВИЖЕНИЯ .....	59
Таволжанский М.Р., Пономаренко Л.Д.	
ИССЛЕДОВАНИЯ ПАТЕНТА НА БАЗЕ ТЕХНИКИ SIEMENS И ТЕХНОЛОГИЙ NATIONAL INSTRUMENTS ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ .....	64
Таволжанский М.Р., Пономаренко Л.Д.	
АНАЛИЗ РАБОТЫ ЛОПАСТЕЙ БЕТНОСМЕСИТЕЛЕЙ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ.....	70
Таволжанский М.Р., Пономаренко Л.Д.	
ДВУХМАТРИЧНЫЙ ГРАНУЛЯТОР .....	73
Ханина Е.Г.	
ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ СМЕШИВАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СОСТОЯНИЕ СМЕСИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЛОПАСТНОМ СМЕСИТЕЛЕ .....	80
Чекушкин Д.Г.	

УКЛАДКА И РАЗБОР МАТЕРИАЛА В РАДИАЛЬНОМ СТАКЕР- РЕКЛАЙМЕРЕ .....	83
---	----

*Барабаишова К.Д., Дурнев И.С., Шатохин Е.А.  
Научный руководитель: Романович М.А., канд. экон. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЩНОСТИ КОНДИЦИОНЕРА

Комфортные условия, созданные в кабине машиниста позволяют значительно повысить производительность машины, за счет более полного использования её ресурсов. Учитывая, что большинство дорожно-строительных работ выполняется в летний период, то одним из показателей, влияющих на комфортность среды, является температура в кабине машиниста [1-2].

С учетом того, что максимальное поступление тепла от солнечной системы будет в кабине, ветровое стекло которой направлено на юго-восток в летний период 8 и 15 часов [3-4] составляет:

$$Q = 0.56 \cdot (459 \cdot 1.16 + 281 \cdot 0.46) + 1.3 \cdot (42 \cdot 1.16 + 40 \cdot 0.46) = 393.6 \text{ Вт} \quad (1)$$

Тепловыделение одного человека составляет 129 Вт.

Таким образом, суммарные тепlopоступления в кабину, составляют:

$$\sum Q = 414.845 + 393.6 + 129 = 937.5 \text{ Вт} \quad (2)$$

Определение основных параметров работы кондиционера

Количество приточного воздуха при рабочей разности температур между температурой приточного воздуха при рабочей разности температур между температурой приточного воздуха и температурой воздуха в кабине 7°C.

$$\zeta = \frac{937,5}{0,24 \cdot 1,2 \cdot 7} = 465 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (3)$$

Теплонапряженность кабины при объеме 4.5 м<sup>3</sup> составляет:

$$\frac{Q}{V} = \frac{937,5}{4,42} = 306,55 \text{ Вт/м}^3 \quad (4)$$

Ориентировочное сопротивление воздушного тракта кондиционера кг/м<sup>2</sup>.

Пенополиуретановый фильтр	8
Воздухоохладитель	12
Система воздухораспределителя	10
Итого	30

Установленная мощность

$$N = \frac{\zeta \cdot k_3}{102 \cdot 3600 \cdot \eta} \quad (5)$$

где  $k_3$  - коэффициент запаса мощности,  $k_3=1,5$ .

Установленную мощность, определим по формуле:

$$N = \frac{465 \cdot 1.5}{102 \cdot 3600 \cdot 0.3} = 0.19 \text{ кВт}$$

Нагрев воздуха в вентиляторе определим по формуле:

$$\Delta t = \frac{850 \cdot N}{k_3 \cdot \zeta \cdot 1,3 \cdot C} \quad (6)$$

$$\Delta t = \frac{850 \cdot 0,236}{1,5 \cdot 465 \cdot 1,3 \cdot 0,24} = 0,92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Влаговыведения одного человека при 23°C составляют 110 г/кг.

Разность влагосодержания приточного и рециркуляционного воздуха

$$d_k - d_n = \frac{110}{465 \cdot 1.2} = 0.16 \approx 0.197 \text{ г/кг}$$

Таким образом,  $d_n=7,9$  г/кг.

Требуемая холодопроизводительность холодильного агрегата:

$$Q_0 = \zeta \cdot \gamma \cdot (i_c - i_z) \cdot 1.15 \quad (7)$$

$$Q_0 = 465 \cdot 1.2 \cdot (9.46 - 8.3) \cdot 1.15 = 4745 \text{ Вт}$$

Согласно расчетов выбираем кондиционер DIAVIA RIMINI, с техническими характеристиками (при условии установки его на крыше бульдозера):

- номинальное напряжение: 12 или 24 Вольта;
- холодопроизводительность: 6.2 кВт;
- компрессор: выносной в моторном отсеке;

- объём подаваемого воздуха (макс., без противодействия): 550 м<sup>3</sup> / час;

- макс. потребление тока при 12 В: 20 А;

- масса: 23.5 кг;

- габариты (Д x Ш x В): 605 x 800 x 165 мм.

С целью унификации в кабине катка установлен отопитель, разработанный в реальном производстве, в связи с чем расчет теплового баланса кабины в зимний период проводить нет необходимости.

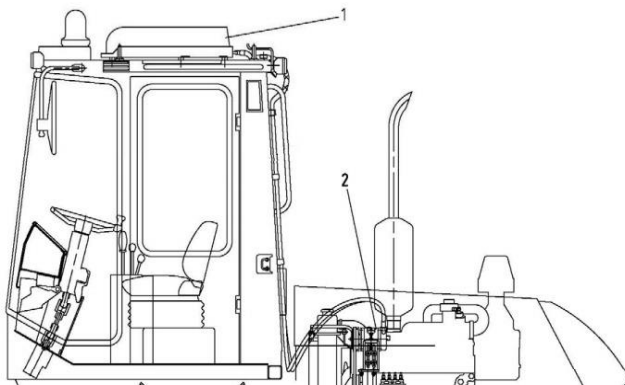


Рис. 1 Установка кондиционера в кабине экскаватора:

1- кондиционер, 2 – компрессор

С целью унификации в кабине катка установлен отопитель, разработанный в реальном производстве, в связи с чем расчет теплового баланса кабины в зимний период проводить нет необходимости.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаркави Н.Г., Аринченков В.И. и др. «Машины для земляных работ», издательство «Высшая школа» 1982г.

2. Холодова А.М. «Проектирование машин для земляных работ», - Х.: Высш. школа, 1986 г.

3. Романович А.А. Гридчин А.М., Лесовик В.С. Геолого-литологические основы расчета и проектирования оборудования для измельчения горных пород Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. 350с.

4. А.А. Romanovich, Ebrahim Amini, D. M. Annenko, E. I. Chekhovskoy Energy-saving technology and equipment for the production of



composite binder using local raw materials IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. T. 786 012008, 2020.

5. А.А. Романович, М.А. Романович Безопасность технологического оборудования и процессов Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. 125с

**УДК 621.87**

**Барабашова К.Д., Пономаренко Д.С., Тришин П.В.**  
**Научный руководитель: Романович А.А., д-р техн. наук, доц.**  
*Белгородский государственный технологический университет*  
*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ БУЛЬДОЗЕРОВ-РЫХЛИТЕЛЕЙ**

Важным показателем при изготовлении бульдозеров-рыхлителей и других дорожно-строительных машин является взаимосвязь между металлоемкостью и энергозатратами при создании машин и их силовых передач.

Наиболее значимым показателем энергосбережения машин является удельный показатель (металлоемкость), определяемый как отношение массы машины, прошедшей все стадии обработки при ее изготовлении, к величине эффективной мощности первичного двигателя. Обозначим этот показатель как  $k_{MM}$ . Для одной из первых землеройных машин с паровым двигателем – ковшовой драги [4], мощностью 2,944 кВт и массой 23 т, появившейся в Англии еще в 1796 г., этот показатель составлял величину 7,81 т/кВт. Для анализа расхода металла на изготовление современных колесных и гусеничных бульдозеров фирмами Hitachi (Япония) и Dressr (США) воспользуемся данными [1, 2, 5], которые представим в табл. 1.1. Из рассмотрения данных следует, что по сравнению с драгой на колесный бульдозер марки WD 500 расходуется всего 1,32% металла. Исследованиями [4, 5] установлено, что для машин многоцелевого назначения, к которым относятся большинство бульдозера, оптимальная металлоемкость достигается тогда, когда продолжительность рабочего цикла составляет минимальное, а производительность работы – максимальное значение.

В машиностроении установлено [5], что уменьшение металлоемкости только на 2% обеспечивает снижение себестоимости машины на 1,5%. Значительные результаты по уменьшению металлоемкости достигнуты благодаря достижениям в различных отраслях промышленности. Карбюраторные двигатели начали

применять с 1879 г. [3], дизельные – с 1897 г. [4], газотурбинные – с 1973 г. [2]. Дальнейшее снижение расхода металла достигнуто вследствие замены механического привода бульдозера на гидравлический. Удельная металлоемкость дизельных, газотурбинных [2] и гидравлических двигателей [3, 5] представлена в табл. 1 и 2 .

Таблица 1 - Основные показатели колесных и гусеничных бульдозеров

Марка бульдозера (тип двигателя)	Мощность, кВт	Эксплуатационная масса, т	Показатель, $k_{MM}$ , т/кВт	Процентная величина расхода металла по сравнению с драгой
Колесные бульдозеры [27] фирмы Hitachi (Япония)				
WD 450 (S6 D 125)	175	19,2	0,109	1,39
WD 500 (S6 D 140)	250	25,7	0,103	1,32
WD 600 (S6 D 170)	362	41,0	0,113	1,45
WD 800 (SA 8 V 170)	650	88,2	0,136	1,74
Гусеничные бульдозеры [27] фирмы Dressr (США)				
TD-12	82	11,41	0,139	1,78
TD-15C	104	12,23	0,117	1,49
TD-24G	238	28,0	0,117	1,49
TD-40	343	45,86	0,133	1,70
Колесный бульдозер [16] фирмы Dressr (США)				
V-220	1077	136,6	0,127	1,62

Металлоемкость гидромоторов, приведенных в работе [3], показывает отличие от данных в работах [1, 3, 5,], что свидетельствует о дальнейшем совершенствовании гидромоторов. Удельная металлоемкость дизельных и газотурбинных двигателей обозначена  $k_{DM}$ , а гидравлических –  $k_{GM}$ .

Показатели металлоемкости дизельных  $k_{DM}$  и гидравлических  $k_{GM}$  двигателей, исключая шестеренчатые, близки между собой. Если минимальную металлоемкость бульдозера принять за 100 %, например, для колесного бульдозера, составляющего 0,103 т/кВт, и сравнить с металлоемкостью дизельных, газотурбинных  $k_{DM}$  и гидравлических двигателей  $k_{GM}$  (см. табл. 1.1, 1.2), то металлоемкость последних может

составлять от 0, до 33%. Первые гидрофицированные бульдозеры появились только в 1938 г. [2]. Интенсивный рост выпуска гидрофицированных машин по данным [4] начался только за последние 50...55 лет. С 1950 по 1978 г. гидрофикация бульдозеров стала необратимым явлением [3].

Таблица 2 - Основные показатели дизельных и газотурбинных двигателей

Показатели	Дизель	Тип двигателя	
		газотурбинный с редуктором	газотурбинный, конвертируемый с редуктором
Диапазон мощности, кВт	60...2000	120...210	740...3320
Номинальная скорость вращения выходного вала, мин <sup>-1</sup>	1000...3000	2500...3500	1000...1200
Удельные расходы топлива, г/кВт	210...245	270...340	380...440
Тип топлива	Дизельное	Газ	Газ
Металлоемкость, $k_{DM}$ кг/кВт	3,4...11	1,9...3,0	0,37...0,75
Срок службы до первого капитального ремонта, часов	2000...18000	–	2000...6000

Таким образом анализ литературных данных в области совершенствования бульдозеров показал, что проведенные работы позволили повысить эффективность в работе бульдозеров и снизить их массу. Однако это не привело к расширению функциональных их возможностей, поэтому необходимо проводить работы по модернизации рабочего оборудования бульдозеров с целью расширения их функциональных возможностей, что в свою очередь повысит еще более эффективность от их использования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаркави Н.Г., Аринченков В.И. и др. «Машины для земляных работ», издательство «Высшая школа» 1982г.

2. Холодова А.М. «Проектирование машин для земляных работ», - Х.: Высш. школа, 1986 г.

3. Романович А.А. Гридчин А.М., Лесовик В.С. Геолого-литологические основы расчета и проектирования оборудования для измельчения горных пород Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. 350с.

4. А.А. Romanovich, Ebrahim Amini, D. M. Annenko, E. I. Chekhovskoy Energy-saving technology and equipment for the production of composite binder using local raw materials IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. T. 786 012008, 2020.

5. А.А. Романович, М.А. Романович Безопасность технологического оборудования и процессов Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. 125с.

*УДК 621.87*

*Барабашова К.Д., Серебrenников А.С., Сергеев Д.В.*

*Научный руководитель: Романович А.А., д-р техн. наук, доц.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ОТРЫВА ОТ МАССИВА ЗУБОМ РЫХЛИТЕЛЯ СТРУЖКИ ГРУНТА**

Любой способ разработки грунта состоит из подпроцессов внедрения рабочих органов в массив грунта и отделения от него элементов стружки грунта. Способ разработки отрывом грунта от массива чаще всего реализуется в конструкциях рабочих органов, предназначенных для разработки мерзлых и прочных грунтов. Для внедрения в такие грунта клиновых рабочих органов (зубьев рыхлителя) требуются значительные усилия. Способом отрыва грунта от массива с использованием клиновых рабочих органов разрабатываются в основном грунты повышенной прочности или мерзлые.

В рассматриваемых специальных способах разработки грунта чаще всего напряженно-деформированное состояние массива грунта, вызванное внедрением рабочего органа, чаще всего не оказывает значительного влияния на процесс отрыва от массива крупного элемента грунта. Поэтому рассмотрим общие закономерности разрушения массива грунта некоторым условным рабочим органом, который располагается на некоторой глубине ***H***.

Экспериментально установлено [1-5], что форма рабочего органа оказывает приблизительно такое же влияние на напряженное состояние грунтового массива, как форма штампов при их вдавливании.

Для плоских анкеров характерна концентрация напряжений у краев и вершин. При нагружении штампа выдергивающей нагрузкой имеются следующие закономерности:

1. Под действием выдергивающей нагрузки в массиве грунта над зуба возникают деформации уплотнения (образование уплотненного ядра), пластическая (отрыв по боковым поверхностям) и разрушения (рис. 1);

2. Первая стадия деформации характеризуется формированием уплотненного ядра на поверхности зуба, на второй стадии наблюдается непрерывный рост перемещения без добавочного усилия;

3. В момент разрушения вначале возникают только радиальные трещины;

4. В момент разрушения грунт вокруг зуба вспучивается, поднимается вверх, а затем расчленяется на блоки и превращается в рыхлую, лишенную сцепления массу;

5. Разрушенная зона на поверхности имеет форму, размеры которого намного больше размеров зуба.

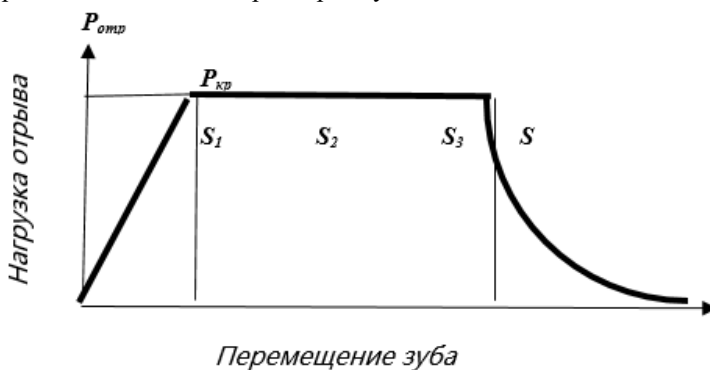


Рис. 1 Кривая деформации массива грунта при действии нагрузки отрыва

Как уже неоднократно говорилось, энергоёмкость того или иного технологического процесса является одним из основных критериев оценки рациональности этого процесса. В данном случае при разрушении материала используется наименее энергоёмкий метод – растяжение материала, хотя при этом требуются определенные энергозатраты на погружение рабочего органа в массив грунта.

$$E = \frac{\int_0^H P_{01}(H)dH + \int_0^{\Delta H} P_{omp}(H)dH}{V_{omp}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $\int_0^H P_{01}(H)dH$ - затраты работы на преодоление сопротивления массива грунта проникновению в него рабочего органа на глубину  $H$ ;  $\int_0^{\Delta H} P_{omp}(H)dH$ - затраты энергии на отрыв от массива некоторого объема грунта  $V_{omp}$ .

Весьма сложно говорить об общей энергоёмкости процесса, не имея данных о затратах энергии на погружение рабочего органа в массив грунта. Однако вполне очевидно, что затраты энергии на отрыв некоторого объема грунта будут меньше затрат энергии на отделение такого же объема при послойном резании клиновым рабочим органом.

В данном случае:

$$V_{omp} = m(\sum_{i=1}^{n_{mc}} V_{mci}^{mp} + V_{kc}^{mp}) \quad (2)$$

где  $m$  – количество циклов отделения от массива стружки грунта;  $V_{mci}^{mp}$  и  $V_{kc}^{mp}$  - соответственно, объемы мелкого и крупного элементов стружки грунта при традиционном способе разработки грунта.

Объем стружки грунта равен:

$$V_{kc}^{mp} = 80 \% (\sum_{i=1}^{n_{mc}} V_{mci}^{mp} + V_{kc}^{mp}), \quad (3)$$

Поэтому можно записать:

$$V_{omp} = m \cdot 1,2 V_{kc}^{mp}. \quad (4)$$

При глубине резания  $h = 0,1$  м и ширине рабочего органа  $B = 50$  мм объем крупного элемента составляет примерно  $V_{kc}^{TP} \approx 0,005$  м<sup>3</sup>.

Исследованиями соотношения затрат работы на разрушение материалов с различными объемами занимались многие ученые. Среди результатов наиболее известными являются гипотеза поверхностей (проф. Риттингер), гипотеза объемов (Кирпичева-Кика), гипотезы поверхностей и объемов (П.А. Ребиндер и И.Ф. Бонда).

Для предварительной сравнительной оценки энергоёмкости более подходит гипотеза поверхностей и объемов, так как первоначально энергия передается всей массе стружки грунта, а в момент разрушения концентрируется у краев трещин. Если для сравнения брать соотношения объемов, то требуемые затраты энергии при отрыве элемента от массива примерно в 20 раз меньше, чем при традиционном способе. Реализуя способ разработки грунта отрывом от массива крупного элемента, необходимо учитывать следующее:

1. Эффективность способа во многом определяется затратами энергии на погружение в массив грунта рабочего органа;
2. Увеличение объема отрываемого элемента приводит к снижению энергоемкости процесса.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1 Гаркави Н.Г., Аринченков В.И. и др. «Машины для земляных работ», издательство «Высшая школа» 1982г.

2 Холодова А.М. «Проектирование машин для земляных работ», - Х.: Высш. школа, 1986 г.

3 Романович А.А. Гридчин А.М., Лесовик В.С. Геолого-литологические основы расчета и проектирования оборудования для измельчения горных пород Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. 350с.

4 А.А. Romanovich, Ebrahim Amini, D. M. Annenko, E. I. Chekhovskoy Energy-saving technology and equipment for the production of composite binder using local raw materials IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. T. 786 012008, 2020.

5 А.А. Романович, М.А. Романович Безопасность технологического оборудования и процессов Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. 125с.

**УДК 621.926**

*Духанин С.А.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РОТОРНО-ВИХРЕВЫХ МЕЛЬНИЦ**

Измельчение материалов довольно энергоемкий процесс, который осуществляется в мельницах различного типа, поэтому правильный выбор мельницы имеет большое значение для эффективности производства и качества конечного продукта [1].

В общем случае измельчение материалов осуществляется несколькими основными способами: измельчение ударом, истиранием, раздроблением или раздавливанием, раскалыванием, а также могут применяться одновременно несколько способов, например раздавливание совместно с раскалыванием (Рис. 1).

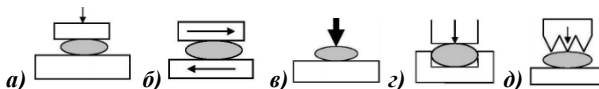


Рис. 1 Способы измельчения: а – раздавливание; б – истирание; в – раскалывание; г- удар; д - раздавливание совместно с раскалыванием

В различных отраслях промышленности для получения тонкодисперсных материалов широкое применение находят благодаря своей эффективности и надежности роторно-вихревые мельницы, в которых применяется непрерывные соударения материала между собой и со стенками камеры (футеровкой), что приводит к разрушению частиц измельчаемого материала [2].

Одним из производителей в Российской Федерации серийно выпускаемых роторно-вихревых мельниц является ООО ПК «Алмамент», предприятие, предоставляющие, технологии для тонкого помола различных материалов в строительной, дорожной, химической, металлургической и пищевой областях промышленности.

В качестве примера роторно-вихревой мельницы данного производителя рассмотрим РВМ-3000М (Рис. 2).

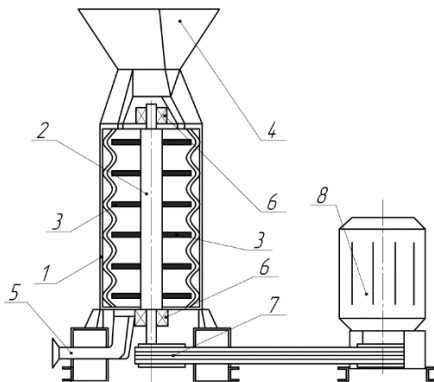


Рис. 2 Конструктивная схема роторно-вихревой мельницы: 1- стенки корпуса со съемной футеровкой; 2 – ротор; 3 - била; 4 - загрузочное отверстие; 5 – разгрузочное отверстие 6 – подшипниковые опоры; 7 – редуктор; 8 - электродвигатель

Роторно-вихревая мельница РВМ-3000М, работает следующим образом: электродвигатель 8 через редуктор 7 вращает ротор 2 на подшипниковых опорах 6. При загрузке через загрузочное отверстие 4 дробимый материал, например шлак, взаимодействует с билами 3.



Далее дробимый материал отбрасывается к стенкам корпуса со съёмной футеровкой 1. Затем материал выходит через разгрузочное отверстие 5 за счёт центробежной силы [3].

Технические параметры роторно-вихревых мельниц могут различаться в зависимости от производителя и модели оборудования, но обычно включают следующие характеристики: производительность, которая, может быть, от нескольких килограммов до нескольких тонн сырья в час; мощность двигателя; объем камеры мельницы; размер частиц, получаемых в результате помола; материал камеры и ротора и другие [4].

Рассмотрим более подробно такой параметр как скорость вихревого потока, то есть скорость движения материала внутри мельницы, которая создаётся вихревым движением ротора. Она зависит от режима работы мельницы, геометрических параметров ее элементов и характеристик материала, который обрабатывается. Эта скорость важна для оценки производительности и эффективности работы мельницы и определяется в соответствии с формулой (1):

$$V = C \cdot R^2 \cdot \omega, \quad (1)$$

где  $C$  - коэффициент, зависящий от геометрии камеры мельницы;  $R$  - радиус камеры, м;  $\omega$  - угловая скорость ротора, 1/сек.

Следующим параметром является центробежная сила, действующая на частицы материала в роторно-вихревой мельнице. Следует отметить, что точный расчет центробежной силы в реальной мельнице может быть сложным, так как это зависит от многих факторов, таких как форма ротора, скорость потока материала, температура и другие условия эксплуатации [5]. Вместо этого, производители мельниц обычно определяют мощность мельницы в киловаттах, которая может использоваться для оценки ее производительности и эффективности.

При выборе роторно-вихревой мельницы необходимо учитывать ее критическую скорость и оптимальные режимы работы, так как превышение критической скорости вращения ротора вызывает центробежное разрушение частиц материала, что может привести к повреждению мельницы или низкому качеству продукта [6].

Критическая скорость вращения ротора роторно-вихревой мельницы определяется по формуле (2):

$$N_{кр} = \frac{g \cdot (R^2 - r^2) \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot H}, \quad (2)$$

где  $N_{кр}$  - критическая скорость вращения ротора, об/мин;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $R$  - наружный радиус ротора, м;  $r$  - внутренний радиус ротора, м;  $\rho$  - плотность материала, который мелется, кг/м<sup>3</sup>;  $H$  - высота ротора, м.

Одним из значимых параметров в роторно-вихревой мельнице, является частота столкновений частиц, зависящая от нескольких факторов, таких как скорость вращения ротора, размер частиц, плотность материала и т.д. Обычно эта частота составляет несколько тысяч в секунду, что позволяет достичь высокой эффективности измельчения материалов, но при этом может происходить активный износ мельницы и повышение температуры, что требует постоянного контроля и обслуживания оборудования.

Следующий параметр, это коэффициент эффективного использования энергии  $\eta_{из}$  роторно-вихревой мельницы, который зависит от таких факторов как скорость вращения ротора, диаметр мельницы, форма камеры измельчения, тип используемых материалов и т.д. В общем случае,  $\eta_{из}$  может быть определен как отношение энергии, затраченной на измельчение продукта, к общей энергии, потребляемой мельницей по формуле (3):

$$\eta_{из} = \frac{Q_{изм}}{Q_{потр}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $Q_{изм}$  - энергия, затраченная на измельчение продукта;  $Q_{потр}$  - общая энергия, потребляемая мельницей в процессе работы.

Как правило, высокий коэффициент эффективного использования энергии является показателем эффективной работы мельницы и может быть достигнут путем оптимизации параметров процесса измельчения, таких как скорость вращения ротора, форма камеры измельчения и т.д.

Все представленные формулы используются для определения различных параметров и расчета производительности роторно-вихревых мельниц в зависимости от их конструкции и принципа работы.

Производительность роторно-вихревой мельницы зависит от нескольких факторов, включая размер исходного материала, его твердость, скорость ротора и объем загрузки. Обычно производительность выражают в килограммах продукта на час.

Одна из формул (4) для расчета производительности роторно-вихревой мельницы выглядит следующим образом:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot R \cdot n \cdot \rho \cdot h}{4 \cdot \eta}, \quad (4)$$

где  $D$  - диаметр мельничного барабана, м;  $R$  - радиус мельничного барабана, м;  $n$  - скорость вращения ротора, об/мин;  $\rho$  - плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $h$  - высота слоя материала в барабане, м;  $\eta$  - коэффициент вязкости материала.

Значение коэффициента вязкости можно определить опытным путем, а остальные параметры известны или могут быть вычислены экспериментально.

Стоит отметить, что каждый тип роторно-вихревой мельницы имеет свои характеристики и преимущества в зависимости от конкретной задачи. Например, низкоскоростные мельницы могут быть эффективнее для мягких материалов, в то время как высокоскоростные мельницы подходят для твердых и хрупких материалов.

Преимуществом измельчения в вихревых мельницах является то, что в ней происходит измельчение самими частицами, а поэтому нет загрязнения частиц порошков продуктами истирания мельничной арматуры, что наблюдается при измельчении в других мельницах (например, шаровых).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орехова, Т.Н. Изучение роторно-вихревых мельниц для производства минеральных порошков / Т.Н. Орехова, А.А. Романович // Механизация строительства. — 2016. — № 8. — С. 44-46.

2. Духанин, С.А. Анализ работы и пути повышения долговечности бил мельницы РВМ-3000-01 / С.А. Духанин, А.А. Романович // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях: Материалы международной научно-практической конференции, Белгород, 17–19 октября 2019 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – С. 51-55.

3. Якубович, Р.Р. Конструктивные особенности роторно-вихревой мельницы РВМ-3000 / Р.Р. Якубович, А.К. Мальцев, С.А. Духанин // XII Международный молодежный форум "Образование. Наука. Производство": Материалы форума, Белгород, 01–20 октября 2020 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. – С. 1532-1537.

4. Герасимов, М.Д. Результаты сверхтонкого измельчения материалов в реакторе роторно-вихревого типа / М.Д. Герасимов, И.О. Локтионов // Энерго-, ресурсосберегающие машины, оборудование и экологически чистые технологии в дорожной и строительной отраслях: Материалы Международной научно-практической конференции, Белгород, 20–21 сентября 2018 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – С. 60-67.

5. Духанин, С.А. Пути повышения надежности в работе измельчителей ударного действия / С.А. Духанин, М.А. Романович, А.А. Романович // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях: Материалы

международной научно-практической конференции, Белгород, 23–25 сентября 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 101-106.

6. Романович, А.А. Методы повышения износостойкости рабочих органов роторно-вихревой мельницы / А.А. Романович, С.А. Духанин, М.А. Романович // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 4. – С. 116-123. – DOI 10.34031/2071-7318-2021-7-4-116-123.

**УДК 621.926**

**Духанин С.А.**

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ РОТОРНО-ВИХРЕВЫХ МЕЛЬНИЦ**

Процесс помола является одним из главных механических процессов, используемых в промышленности производства строительных материалов. Изучение процессов помола различных материалов имеет большое значение, так как тонкость частиц продукта оказывает существенное влияние на его потребительские свойства. Важно отметить, что помол и классификация мельчайших частиц являются особенно сложными задачами. Для повышения тонкости помола конечного продукта необходимо модернизировать существующие мельницы или создавать новые виды оборудования. Помол различных материалов – это один из наиболее энергоемких процессов, поэтому правильный выбор мельницы имеет большое значение для эффективности производства строительных материалов в целом [1].

Так как в современном мире постоянно ведется строительство различных конструкций, зданий и сооружений, то возникает необходимость в большом количестве сухих строительных смесей, которые могут быть представлены в виде порошков или тонкодисперсных материалов.

Широкое применение в различных отраслях промышленности для получения вышеупомянутых материалов находят мельницы роторно-вихревого типа благодаря своей эффективности и надежности.

Если говорить в общем понимании, то роторно-вихревая мельница это тип промышленного оборудования, предназначенный для измельчения материалов различной плотности и консистенции,

например, таких как минералы, пластмассы, шлак и другие. Она работает по принципу воздействия сильного вихревого потока на материал, который в результате измельчается до нужной фракции.

Существует несколько разновидностей роторно-вихревых мельниц, которые отличаются по размеру, конструкции и назначению:

1. Лабораторные роторно-вихревые мельницы - предназначены для исследовательской работы и тестирования материалов на небольших объемах.

2. Бочковые роторно-вихревые мельницы - используются для измельчения большого объема материала с повышенной производительностью.

3. Универсальные роторно-вихревые мельницы - могут использоваться для измельчения широкого спектра материалов разных плотностей.

4. Перепадные роторно-вихревые мельницы - оборудование для измельчения материалов, которые хрупкие и легко изнашиваются.

5. Инерционные роторно-вихревые мельницы - используются для измельчения твердых материалов и для создания мелких частиц.

6. Циркуляционные роторно-вихревые мельницы - устройства для измельчения частиц из твердых материалов с помощью циркуляции вихревого потока.

В настоящее время в Российской Федерации серийно выпускаемое оборудование для тонкого помола представлено несколькими ведущими производителями, которых рассмотрим далее.

Универсальные роторно-вихревые комплексы РВМ (Рис. 1) выпускаются заводом специального машиностроения ООО «Техно-центр» Россия, Ярославская область, г. Рыбинск [2].



Рис. 1 Универсальный роторно-вихревой комплекс РВМ-400

ООО «УльтраМол» Россия, г. Курск, инновационная компания, которая занимается производством оборудования и предоставлением услуг по получению тонких и сверхтонких порошков из различных материалов [3]. Одним из примеров их оборудования является молотково-ударная роторно-вихревая мельница ММУ-460 (Рис. 2), созданная для полной переработки минеральных продуктов.



Рис. 2 Роторно-вихревая мельница ММУ-460

Следующим промышленным представителем является ООО "Новосфера" г. Новочеркасск Ростовской области [4]. В настоящее время компанией разработаны и изготавливаются роторно-вихревые мельницы в составе помольного комплекса РВМ-600В выполненного по схеме с протоком воздуха (Рис. 3).

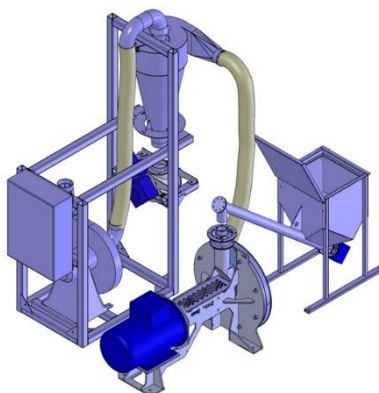


Рис. 3 Помольный комплекс РВМ-600В

ООО ПК «Адамант» РФ город Ижевск, современное производственное предприятие, предоставляющие, технологии для

тонкого помола различных материалов в строительной, дорожной, химической, металлургической и пищевой областях промышленности.

Роторно-вихревые мельницы данного предприятия находят широкое применение, а одной из разновидностей мельниц, является роторно-вихревая мельница РВМ-3000М (Рис. 4).



Рис. 4 Роторно-вихревая мельница РВМ-3000М в составе помольного комплекса

В роторно-вихревой мельнице РВМ-3000 применяется непрерывные соударения материала между собой и со стенками камеры (футеровкой), которые ведут к разрушению частиц [5].

Все представленные роторно-вихревые мельницы обладают схожими техническими характеристиками, при этом немного отличаются конструктивно, например основными рабочими органами в мельнице могут быть специальные била или молотки, а могут быть ножи [6]. Расположение корпуса мельниц бывает горизонтальное и вертикальное.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орехова, Т.Н. Изучение роторно-вихревых мельниц для производства минеральных порошков / Т.Н. Орехова, А.А. Романович // Механизация строительства. — 2016. — № 8. — С. 44-46.

2. Завод специального машиностроения ООО «Техно-центр»: официальный сайт. – Рыбинск, 2023. – URL: <http://techno-centr.ru> (дата обращения: 10.05.2023).

3. Безотходное производство резины, рециклинг резин, измельчение материалов — Ultramol: официальный сайт. – Курск, 2023. – URL: <https://www.ultramol.ru> (дата обращения: 10.05.2023).

4. Компания ООО «Новосфера»: официальный сайт. – Новочеркасск, 2023. – URL: <http://nvsfera.ru> (дата обращения: 10.05.2023).

5. Якубович, Р.Р. Конструктивные особенности роторно-вихревой мельницы РВМ-3000 / Р.Р. Якубович, А.К. Мальцев, С.А. Духанин // XII Международный молодежный форум "Образование. Наука. Производство": Материалы форума, Белгород, 01–20 октября 2020 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. – С. 1532-1537.

6. Романович, А.А. Методы повышения износостойкости рабочих органов роторно-вихревой мельницы / А.А. Романович, С.А. Духанин, М.А. Романович // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 4. – С. 116-123. – DOI 10.34031/2071-7318-2021-7-4-116-123.

**УДК 678.057.31**

***Жданова Е.А., Копнина О.В., Мерзликина А.И.***

***Научный руководитель: Чемеричко Г.И., канд. техн. наук, доц.***

***Белгородский государственный технологический университет***

***им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

## **ЭКСТРУДЕР ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРПЕСЧАНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Полимерпесчаные изделия изготавливаются из полимерпесчаной смеси. Они обладают рядом уникальных характеристик: крепкие и прочные, обладают почти нулевым водопоглощением, имеют прекрасную морозостойкость, имеют низкую истираемость. Полимерпесчаные изделия уникальный товар, они обладают высокими показателями устойчивости к химическим воздействиям, разрушению коррозией, перепадам температур, высоким нагрузкам, а также простотой монтажа и более легким использованием. Из полимерпесчаной смеси изготавливают тротуарную плитку и водостоки, черепицу для крыш, крышки люков, отделку для фундаментов и другие виды изделий.



Полимерпесчаные изделия изготавливаются смешением и формованием под давлением и температурой двух инертных материалов – песка и полимерного компонента. В состав полимерного компонента входит агломерат и твёрдый полимер: это может быть как полистирол, полипропилен, так и АБС пластики и многие другие. Агломерат получают путём плавления полиэтилена, во время которого выпрыскивают воду, при этом образуются шарики. Именно эти шарики и используют в производстве полимерпесчаных изделий.

При этом в качестве сырья можно использовать пластиковые бутылки, полиэтиленовые пакеты, полипропиленовую плёнку. Не допускаются для повторного использования лишь тугоплавкие полимеры, к примеру, поликарбонат. Выходит, что производство любых полимерпесчаных изделий – это не только способность использования нового материала, но и хорошая возможность очистить окружающую среду от мусора и отходов, подарив им «вторую жизнь» путём переработки [1].

В производстве полимернопесчаной черепицы, когда полимеры измельчены до необходимого размера, а песок хорошо просушен, нужно смешать все эти компоненты. Для этого подойдёт экструзионная машина. Внутри этого оборудования под воздействием температуры все компоненты смешиваются и плавятся, превращаясь в вязкую смесь.

Экструдер - машина для формования пластичных материалов, путем придания им формы, при помощи продавливания (экструзии) через профилирующий инструмент (экструзионную головку).

В зависимости от характера процессов, протекающих в экструдере, а также от физического состояния полимера внутри цилиндра в шнековых (червячных) экструзионных машинах обычно выделяют три рабочие зоны: загрузки, плавления и дозирования.

За зону загрузки обычно принимают длину шнека от загрузочного отверстия до места появления слоя расплава на поверхности цилиндра или шнека. Зона плавления – это участок шнека от начала плавления до полного расплавления слоя гранул или неполного плавления, но разрушения оставшегося твёрдого слоя гранул на части, распределения их в расплаве и перехода на движение в результате вязкого течения. В зоне дозирования происходит окончательное плавление оставшихся частиц, выравнивание температуры расплава полимера по сечению и его гомогенизация, т.е. тщательное перемешивание расплава и придание ему однородных свойств за счёт сдвиговых деформаций вязкого течения на каналах шнека.

На рисунке 1. показана схема цепи оборудования производства полимернопесчаных изделий. Все исходные компоненты для

производства черепицы поступают в бункеры 1 в готовых эксплуатационных состояниях: мелкофракционный песок с минимальной влажностью, предварительно просеянный; полимерные составляющие – очищенные и предварительно измельчённые. Затем осуществляется приготовление смеси с точным взвешивание каждого ингредиента.

После взвешивания полимерные компоненты поступают в смеситель 2 и тщательно перемешиваются до получения композиционного сухого состава. Далее смесь подаётся в экструдер 6, где она нагревается, перемешивается, пластицируется и выдавливается в профилирующую щелевую головку 7. Из этого агрегата смесь выходит с температурой около 180 градусов. Полученная полимерная лента поступает на трёхвалковый каландр 8 и раскатывается, образуя тонкие пластины полимерного материала. Так как получаемые пластины получаются достаточно длинными их режут автоматическими ножами 14 на мелкие кусочки. Они вместе с песком поступают в термосмеситель 9, где при дополнительном нагревании перемешиваются до вязкотекучего состояния. Сюда же вводится пигмент.

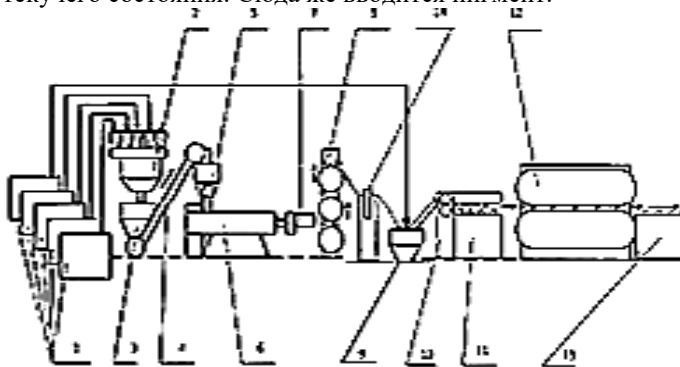


Рис. 1 Схема цепи оборудование производства полимернопесчаной черепицы: 1 – бункеры исходного сырья; 2,9 – смесители; 3 – бункер сыпучих смесей; 4 – автоматический разгрузчик; 5 - бункер с дозатором; 6 - экструдер; 7 – щелевая головка; 8 – трёхвалковый каландр; 10 – тянущее устройство; 11 – стол разогрева; 12 – формовочная машина; 13 – приёмный стол; 14 -автоматический нож

Разогретая полимернопесчаная смесь поступает на стол разогрева 11, который поддерживает температуру необходимую для формования черепицы в следующей машине 12. Для охлаждения полимерпесчаной массы в процессе формования в пресс-форме предусмотрена система каналов и штуцеров, через которые пресс-форма подключается к

системе охлаждения. Это обеспечивает циркуляцию жидкости внутри формы для эффективного охлаждения изделия по всей массе. Глянec на внешней поверхности получается благодаря неравномерному охлаждению в формах. В верхней части температура нагрева достигает 80 градусов, а в нижней - около 45 градусов. В эти формы выдавливают полимеры, которые и заполняют поры между частичками песка. В зависимости от конфигурации пресс-формы, мы получаем разные изделия. Для полного остывания её раскладывают на приёмный стол [2].

Конструкция одношнекового экструдера представлена на рисунке 2, основными конструктивными элементами которого являются привод, состоящий из электродвигателя 14 и редуктора 1, связанного муфтой 2 со шнеком 6, бункера 4, подшипников 3, материального цилиндра 8 и формирующего инструмента 11. Все конструктивные элементы экструдера смонтированы на станине 12.

Перерабатываемый материал поступает из бункера 4 через загрузочную воронку 5 в канал шнека. Шнек вращается внутри корпуса цилиндра 8, снабженного износостойкой гильзой 9. Привод шнека осуществляется от электродвигателя 14 через редуктор 1 - шестерёнчатый или клиноремной. Осевое усилие, возникающее в процессе переработки и действующее на шнек, воспринимается упорным подшипником 3.

Нагрев цилиндра 8 до температуры переработки производится наружными нагревателями 10. Они сгруппированы в несколько (как правило, три или четыре) тепловых или температурных зон. Температура корпуса замеряется и регулируется термопарами 7, расположенными в каждой зоне. Перерабатываемый материал при движении по винтовому каналу шнека нагревается, пластицируется и в виде расплава продавливается через головку 11, в которой в отдельных случаях устанавливается пакет сеток. Между червяком и профилирующей головкой располагается решетка с пакетом фильтрующих сеток. Во избежание прилипания полимера к шнеку в зоне воронки (загрузочной) 5 материальный цилиндр 8 охлаждается холодной водой, подаваемой в рубашку 13 [3].

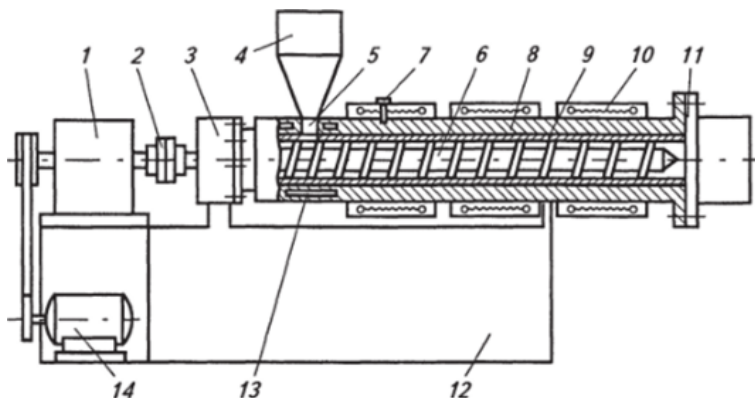


Рис. 2 Конструктивная схема одношнекового экструдера:

1 – редуктор, 2 – муфта, 3 – опорный подшипник, 4 – бункер, 5 – материалный цилиндр, 6 – шнек, 7 – термопара, 8 – корпус материалного цилиндра, 9 – износостойкая гильза цилиндра, 10 – наружные кольцевые нагреватели, 11 – формующая головка, 12 – станина, 13 – рубашка для холодной воды, 14 – электродвигатель.

Бункер изготавливается из листовой стали или алюминиевых сплавов со смотровым окном для контроля за уровнем находящегося в бункере материала. Для переработки материалов, склонных к сводообразованию (зависанию), в бункере устанавливают перемешивающее устройство. Бункера экструдеров, предназначенных для переработки материалов с низкой сыпучестью (порошки, отходы производства пленок и нитей), оборудуют устройствами для предварительного уплотнения материала.

Продвигаясь вдоль червяка, гранулы расплавляются, расплав продавливается через решетку и пакет фильтрующих сеток. Затем расплав проходит через конический диффузор (адаптер) в головку, в которой установлен профилирующий инструмент. Червяк — это основной рабочий орган экструдера. Он забирает непластицированный материал от загрузочного отверстия пластицирует его и равномерно подает в виде гомогенного расплава к головке. Продвигаясь по каналу червяка, материала разогревается как за счет тепла, выделяющегося вследствие вязкого трения, так и тепла, подводимого от расположенных на корпусе нагревателей. В результате уплотнения из материала удаляется захваченный вместе с гранулами (или порошков воздух, и удельный объем пробки гранул уменьшается. Для компенсации уменьшения удельного объема гранулята канал червяка выполняется с

уменьшающимся объемом витка. Поэтому глубина винтового канала червяка на выходе всегда меньше, чем на входе [4].

При работе экструдера из-за консольного крепления на червяк действуют значительные осевые и радиальные усилия, для восприятия которых в качестве опор применяют конические самоустанавливающиеся подшипники, воспринимающие осевые и радиальные усилия, в сочетании с радиальными подшипниками, воспринимающими только радиальные усилия.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Бортников В.Г. Основы технологии переработки пластических масс. М: Химия, 1983. 328 с.
2. Матвеев Д.С., Пирожкова Е.С., Лядова Ю.В., Производство полимернопесчаной черепицы Белгород.: Сборник докладов Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию российской академии наук, 2022 - 23-29с.
3. Горнер Р.В., Акутин М.С. "Оборудование заводов по переработке пластмасс". - М.: Химия, 1986.
4. Чемеричко Г.И., Бражник Ю.В., Ченцов А.Е. Механическое оборудование заводов по производству полимеров Белгород.: Издательство БГТУ им. В.Г. Шухова, 2020.177 с.

**УДК 621.926.5**

***Лазько Е.В., Мокишина М.Ю., Петренко С.В.***

***Научный руководитель: Фадин Ю.М., канд. техн. наук, проф.***

***Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРУБНЫХ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Трубные шаровые мельницы – это наиболее эффективный агрегат для измельчения различных материалов. Рассмотрим перспективы развития трубных шаровых мельниц в современной промышленности [1].

Трубные шаровые мельницы широко используются в различных отраслях промышленности, таких как производство строительных материалов, горнодобывающей, химической, фармацевтической,

пищевой и др. Они могут использоваться для измельчения различных материалов, включая твердые вещества, жидкости, порошки и пасты [2].

Трубная шаровая мельница (рис. 1) – это оборудование, которое используется для измельчения материалов путем вращения цилиндрической трубы, загруженной определенным количеством мелющих тел, которые измельчают материал до нужной фракции.

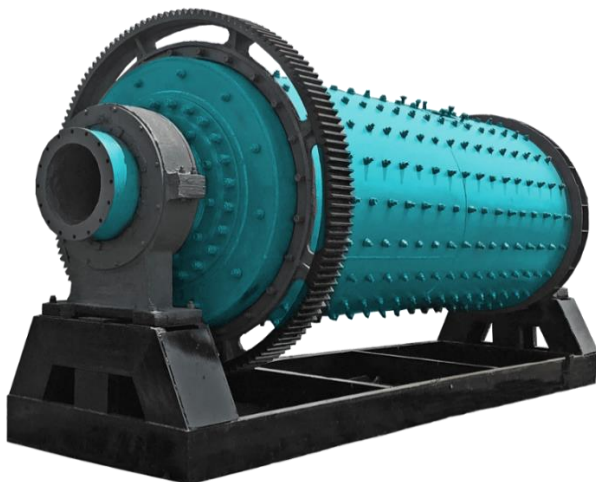


Рис. 1 Трубная шаровая мельница

Преимущества трубных шаровых мельниц – это высокая производительность, надежность в работе, удобство в эксплуатации, а также возможность автоматизации мельницы [3].

Однако, трубные шаровые мельницы имеют некоторые недостатки, такие как большой удельный расход электроэнергии и мелющих тел, а также загрязнение материала металлическими частицами.

Трубные шаровые мельницы были созданы в XIX веке. Сегодня трубные шаровые мельницы используются в различных отраслях промышленности и являются одними из наиболее востребованных машин [4].

Трубная шаровая мельница представляет собой цилиндрический барабан, обычно разделенный межкамерной перегородкой на 2 камеры, внутри которых находятся стальные шары различного диаметра (рис. 2). Материал, который нужно измельчить, загружается в мельницу через течку, попадая в барабан, где происходит его измельчение мелющими телами до нужной фракции.

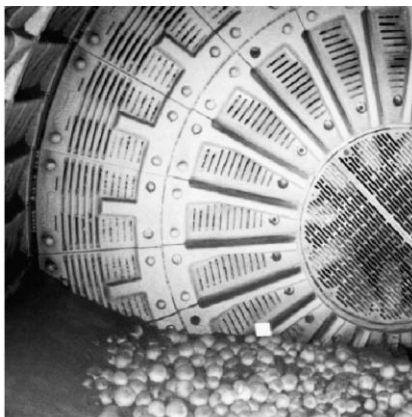


Рис. 2 Межкамерная перегородка

Современные трубные шаровые мельницы имеют множество преимуществ перед своими предшественниками. Они более эффективны, имеют большую производительность. Однако, существует несколько направлений, в которых можно улучшить эффективность работы трубных шаровых мельниц [5].

Одно из направлений – это улучшение системы управления. Современные трубные шаровые мельницы имеют автоматические системы управления, которые позволяют контролировать процесс измельчения материалов. Они оснащены компьютерными системами управления, которые позволяют точно контролировать скорость вращения барабана мельницы, а также другие параметры работы оборудования. Однако, можно улучшить эти системы, чтобы они были более точными и эффективными.

Другое направление – это улучшение конструкции мельницы. Существуют новые материалы, которые могут быть использованы для создания более прочных и долговечных мельниц. Также можно улучшить систему охлаждения, чтобы уменьшить износ мельницы и увеличить ее срок службы. Установка дополнительных внутримельничных устройств таких как перегородки, лопасти, ребра, позволяет увеличить эффективность процесса измельчения [6].

Трубные шаровые мельницы являются основным агрегатом для измельчения материалов в промышленности. Современные мельницы имеют множество преимуществ перед своими предшественниками, но существует несколько направлений, в которых можно улучшить их эффективность и производительность. Развитие трубных шаровых

мельниц будет продолжаться и в будущем они будут играть важную роль в промышленности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В.С., Фадин Ю.М., Латышев С.С. Пути увеличения степени однородности сухих строительных смесей с целью формирования максимального их качества // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. - №6. – С. 98-101.
2. Карибаев К.К. Поверхностно-активные вещества в производстве вяжущих материалов. – Алма-Ата: Наука. 1980. С. 95-99.
3. Фадин Ю.М., Гавриленко А.В., Аркатова К.Г., Авдеев Я.А., Богданов Н.Э. Kinematics of the ball load in the tube ball mills with inclined interchamber partitions // ARPN journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 9 no.11, November 2014. P. 2351-2357.
4. Фадин Ю.М., Латышев С.С. Внутримельничные устройства трубных шаровых мельниц с рециклом загрузки. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013.
5. Фадин Ю.М., Кузнецов Д.В. Анализ конструкции внутримельничного классификатора // Сб. научных трудов международного форума-конкурса молодых ученых «Проблемы недропользования». Санкт-Петербург, 2017. – С.165
6. Фадин Ю.М., Сиваченко Л.А., Богданов В.С. Новые технологические задачи в области процессов измельчения и пути их решения // Научное развитие технологий и инновации: Международная научно-практическая конференция. Белгород, 2016. – С.225.

*УДК 62-1/9*

*Мерзликina А.И., Копнина О.В., Жданова Е.А.  
Научный руководитель: Чемеричко Г.И., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСТРУДЕРА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПВХ ТРУБ

В современном мире полимерные материалы плотно вошли в жизнь как общества в целом, так и в жизнь каждого отдельно взятого человека. Продукция, изготавливаемая из различных полимеров,



постепенно приходит на замену старой, материалами для производства которой были издавна известны человеку дерево, разного рода металлы, их сплавы и др.

Процесс обработки материала включает в себя большой ряд процессов и подразумевает под собой придание необходимых размеров, формы и определенных свойств.

Среди многочисленных способов получения и переработки полимеров наибольшей производительностью отличается экструзия – метод формования длинномерных полимерных деталей с постоянным поперечным сечением путем непрерывного выдавливания расплава полимера сквозь отверстие экструзионной головки с последующим охлаждением расплава.

Экструзионное оборудование дает возможность обеспечить непрерывное проведение технологических процессов в поточных линиях с высокой степенью автоматизированных процессов, обладая при этом сравнительно небольшой металло- и энергоемкостью [1].

Основной критерий для классификации экструдеров – установленный в машине рабочий орган: шнек (червяк/винт), поршень, диски.

По данному признаку экструдеры делятся на:

- а) шнековые (одношнековые и двухшнековые)
- б) дисковые
- в) поршневые

Существуют также многошнековые экструдеры, планетарные, выдувные, пленочные, а также специальные экструзионные линии для производства труб [2].

На рисунке 1 приведена схема конструкции одношнекового экструдера, применяемого для производства труб из поливинилхлорида.

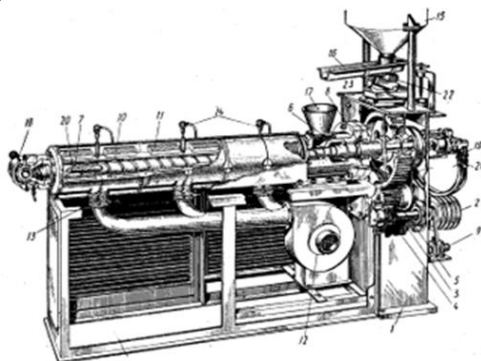


Рис. 1 Схема одношнекового экструдера

1 – станина; 2 – шкив клиноременной передачи; 3 – приводной вал; 4 – пара шестерен; 5 – цилиндрическая зубчатая передача; 6 – вал; 7 – шнек (червяк); 8 – шарикоподшипник; 9 – тахогенератор; 10 – цилиндрический корпус; 11 – индукционные нагреватели; 12 – вентилятор; 13 – клапаны; 14 – термопары; 15 – бункер; 16 – вибрирующий подающий желоб; 17 – загрузочная воронка; 18 – формующая головка; 19, 21 – патрубок; 20 – труба; 22 – плоские пружины; 23 – электрический вибратор переменного тока.

В общем одношнековый экструдер состоит из станины 1, приводного устройства, корпуса 10, внутри которого располагается шнек 7, формующей головки 18, а также специального блока управления и питания.

Электродвигатель – это основная составляющая приводного устройства. С его помощью шкив клиноременной передачи 2, приводной вал 3, пара шестерен 4, цилиндрическая зубчатая передача 5, вал 6 и шнек 7 приводятся во вращение. Осевые усилия, которые возникают при вращении шнека, воспринимаются упорным шарикоподшипником 8. Также в конструкцию экструдера входит тахогенератор 9, определяющий количество оборотов шнека.

Корпус 10, в котором расположен шнек, имеет цилиндрическую форму. Нагрев корпуса производится при помощи индукционных нагревателей 11, а для охлаждения используется воздух, подаваемый вентилятором 12 через специальные клапаны 13. Как нагрев, так и охлаждение каждой зоны цилиндра регулируется индивидуально. На предприятиях существует автоматический тепловой контроль, так как процесс экструзии в большей степени зависит именно от правильно подобранных температурных режимов в различных зонах экструзионной машины [3].

Перед началом производства требуется расчет основных технологических параметров экструдера. Предварительно важно понять, какие силы действуют на шнек и на какие ключевые моменты необходимо обратить внимание.

На червяк действуют:

- аксиальная сила  $P$ ;

- крутящий момент  $M_{кр}$ ;

- равномерно распределенная нагрузка  $g$  от собственной массы червяка

Силы  $P$  и  $g$  вызывают прогиб шнека, в следствие этого требуется проведение прочностного расчета с целью проверки предварительно определенных размеров шнека и определения допускаемого прогиба. Схема для расчета червяка представлена на рисунке 2.

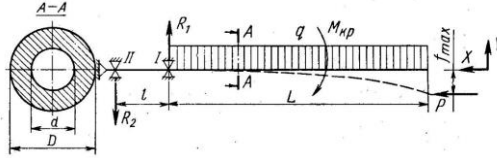


Рис. 2 Схема для расчета червяка экструдера

Изначально червяк проверяется на гибкость для последующего определения расчетной схемы. Для этого используют следующую формулу:

$$\lambda = \frac{k \cdot L}{R_i} \leq 120, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – гибкость вала червяка;

$k$  – коэффициент, зависящий от метода крепления конечной части вала;

$L$  – длина червяка, м;

$R_i$  – радиус инерции сечения, м.

Для расчета радиуса инерции сечения применяется формула:

$$R_i = \sqrt{\frac{J}{F}}, \quad (2)$$

где  $J$  – момент инерции поперечного сечения вала червяка,  $\text{м}^4$ ;

$F$  – площадь поперечного сечения червяка,  $\text{м}^2$ ;

Момент инерции поперечного сечения вала червяка:

$$J = \frac{\pi \cdot D^4}{64} (1 - i^4), \quad (3)$$

где  $i = d_0/D$  – отношение диаметров червяка (по середине высоты гребня).

Площадь поперечного сечения червяка:

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} (1 - i^2) \quad (4)$$

В качестве исходного параметра для расчетов принимается диаметр шнека  $D$ . Шаг нарезки  $t$  и глубина витка  $h$  оказывают большое влияние на производительность экструдера. Шаг витка в зоне загрузки по большей части зависит от коэффициента трения материала о шнек и внутренние стенки цилиндрического корпуса и от вида загружаемого материала [4].

Шаг винтовой нарезки  $t$  для машин по переработке полимерных материалов на практике рекомендуется принимать постоянным по всей длине шнека. Значение данного параметра определяется по формуле:

$$t = (0,08 \dots 1,2)D \quad (5)$$

где  $D$  – диаметр шнека.

Глубина винтового канала шнека  $h$ :

1) в зоне питания (загрузки)

$$h_1 = (0,12 \dots 0,16)D \quad (6)$$

2) в зоне дозирования (выдавливания)

$$h_2 = 0,5 \left[ D - \sqrt{D^2 - \frac{4h_1}{i} (D - h_1)} \right] \quad (7)$$

3) в зоне пластикации (сжатия)

$$h_3 = h_1 - \frac{h_1 - h_2}{L} L_0 \quad (8)$$

$$L_0 = L - L_H \quad (9)$$

$$L_H = (0,4 \dots 0,6)L \quad (10)$$

где  $L$  – длина шнека, м;

$L_0$  – длина шнека до зоны сжатия, м;

$L_H$  – длина напорной части шнека, м,

При выборе толщины витка  $e$  (ширины гребня) важно понимать, что увеличение значения этого показателя приводит к повышению расхода мощности, а ее уменьшение – к образованию вдувательного потока утечки через зазор между внутренней поверхностью цилиндрического корпуса и наружной поверхностью витка шнека [5].

Ширина гребня витка шнека:

$$e = (0,06 \dots 0,1)D \quad (11)$$

Радиальный зазор между внутренней поверхностью цилиндрического корпуса и наружной поверхностью витка шнека следует рассчитывать по формуле:

$$\delta = (0,002 \dots 0,005)D \quad (12)$$

Критическая частота вращения шнека в зоне загрузки экструдера определяется по соотношению ( $s^{-1}$ ):

$$n_{кр} = \frac{42,2}{60\sqrt{D}} \quad (13)$$

Рабочая частота вращения шнека рассчитывается по формуле:

$$n_p = (0,2 \dots 0,7)n_{кр} \quad (14)$$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Володин В.П. "Экструзия профильных изделий из термопластов". - СПб.: Профессия, 2005.
2. Торнер Р.В., Акутин М.С. "Оборудование заводов по переработке пластмасс". - М.: Химия, 1986.
3. Чемеричко Г. И., Сотникова Т. Ю. Переработка реакторных отходов в производстве пентафталевых лаков // в межвуз. сб. статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов». – Белгород, 2019. С. 557-560.
4. Соколов М.В., Клинков А.С. "Автоматизированное проектирование и расчет шнековых машин". - М.: "Издательство Машиностроение - 1", 2004.
5. Литвинец Ю.И. Основы материальных расчетов и выбора оборудования для переработки пластических масс экструзией / Ю.И. Литвинец, В.Г. Бурьдин, А.Р. Адаев. – Магнитогорск: Издательский центр ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2012.

УДК 621.929.7

*Мокишина М.Ю., Лазько Е.В.*

*Научный руководитель: Богданов В.С., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

### **АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВИБРОПОМОЛЬНОГО И СМЕСИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ И ПАТЕНТНОЙ ЛИТЕРАТУРЕ**

Вибропомольное и смесительное оборудование широко используется в различных отраслях промышленности, таких как химическая, пищевая, фармацевтическая и др. Оно позволяет получать высококачественные продукты с минимальными затратами времени и энергии [2].

Анализ состояния и направлений развития вибропомольного и смесительного оборудования проводится на основе научно-технической и патентной литературы. В данной статье рассмотрим основные тенденции в развитии этого оборудования.

Одним из основных направлений развития вибропомольного оборудования является увеличение производительности и снижение

энергозатрат. Для этого используются новые материалы и технологии, такие как высокопрочные стали, композитные материалы, электронные системы управления и др [1].

Так, например, в патенте «RU 2506121» рассматривается ротационный смеситель.

Данное изобретение относится к смесителю, который используется для смешивания сыпучих и жидких материалов в химической технологии, производстве строительных материалов и других отраслях. Особенностью материалов, которые могут быть смешаны с помощью данного смесителя, является их склонность к быстрому разделению компонентов из-за статического электричества [3].

Основными недостатками конструкций роторных смесителей, применяемых для производства материалов, склонных к быстрому разделению, являются существенная сложность надежного извлечения и установки в смеситель только одной капсулы, опорожнения капсулы из смеси без снятия капсулы с опорных элементов, сложность эффективного смешивания сыпучих и жидких материалов в горизонтально установленных эффективно смешивающихся сыпучих и жидких материалах в капсуле, а также различные условия смешивания материалов в отдельных капсулах. Это связано с тем, что снятие и установка капсулы происходит путем осевого смещения одного из ее несущих элементов, длина цилиндрической капсулы значительно больше ее диаметра, коническое торцевое основание капсулы, с тем, что только силы переноса и инерции Кориолиса не могут обеспечить достаточного осевого и радиального перемешивания материалов. Это связано с тем, что они не могут, и с тем, что движущие части относительного вращательного движения капсул не являются независимыми друг от друга.

Описываемое оборудование представляет собой роторный смеситель (рис. 1), который состоит из стойки 1 с горизонтальным валом 3, установленным на подшипниковом узле 2, и электропривода 4 для вращательного движения. На валу 3 жестко закреплены опорные элементы 5 и 6 с подшипниками 7 на периферии, а также независимые электроприводы для вращательного 8 и поступательного движения 9. Капсулы установлены на торцевых основаниях 10 и 11, которые соединены с приводами 8 и 9 с помощью съемных шарниров 13. Ось симметрии материала образует угол 18 градусов с осью вращения капсулы, а отношение длины капсулы к диаметру ее переднего основания составляет 1 к 1,5. Для загрузки и выгрузки материала в капсулу предусмотрен порт 14.

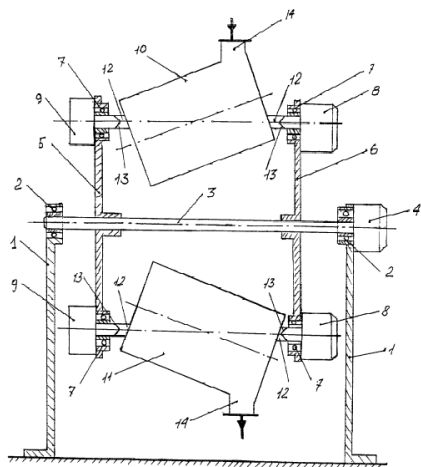


Рис. 1 Ротационный смеситель (патент RU 2506121)

Также важным направлением является улучшение качества продукции. Для этого используются новые методы контроля качества, такие как спектроскопия, рентгеновская дифрактометрия, микроскопия и др. Эти методы позволяют контролировать размеры частиц, структуру и состав продукта.

В патенте «RU 2251447 – Барабанный смеситель», предлагается оборудование (рис. 2), которое, благодаря, предлагаемому техническому решению позволяет повысить производительность и качество получаемой смеси, снизить потребляемую мощность за счет интенсификации процесса смешения компонентов при использовании продольного, поперечного и радиального перемешивания смеси в корпусе смесителя.

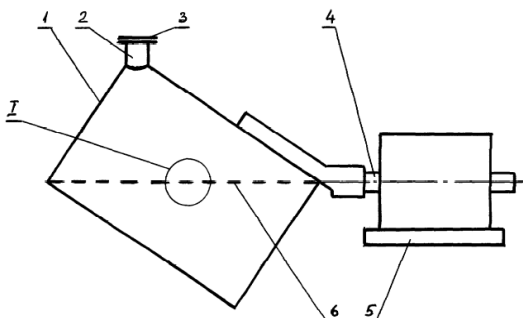


Рис. 2 Барабанный смеситель

Описываемое оборудование - роторный смеситель имеет корпус 1. Сырье загружается через соединительный порт 2, который закрывается крышкой 3. После включения привода, вал 4 и корпус 1 начинают вращаться. В процессе вращения сыпучие материалы перемещаются из одной части корпуса в другую, проходят через отверстие 7 в перегородке 6 и перемешиваются в ней. После достижения необходимой однородности смеси вращение корпуса прекращается. Корпус устанавливается патрубком 2 вверх, крышка 3 открывается, и корпус поворачивается патрубком вниз на угол от 145 до 180 градусов. Смесь выгружается через назначенный патрубок под действием собственного веса материала. После окончательной выгрузки смеси цикл технических операций, связанных с приготовлением смеси, повторяется [4].

Смесительное оборудование также развивается в направлении увеличения производительности и снижения энергозатрат. Для этого используются новые конструкции смесителей, такие как винтовые, ленточные, пневматические и др. Также важным направлением является улучшение качества смеси. Для этого используются новые методы контроля качества, такие как визуальный контроль, измерение температуры и давления, анализ химического состава и др.

Одним из новых направлений развития смесительного оборудования является использование ультразвуковых волн. Ультразвуковые волны позволяют улучшить качество смеси и снизить энергозатраты. Они также позволяют ускорить процесс смешивания и снизить время производства.

Помимо смесительного оборудования, также рассматривается вибропомольное.

Так, в патенте «Вибровращательная мельница RU 105199» (рис. 3), для повышения производительности, было разработано оборудование, которое включает вибрационную мельницу с камерой помола, содержащей мелющие тела, а также устройство для загрузки-выгрузки материала. Камера помола выполнена в форме наклонного цилиндра и установлена под углом к горизонтальной поверхности подвижной рамы. Оборудование установлено на подвижной раме, которая может вращаться вокруг своей оси и поддерживается на неподвижной раме. Кроме того, оборудование оснащено виброприводом и приводом вращения камеры.



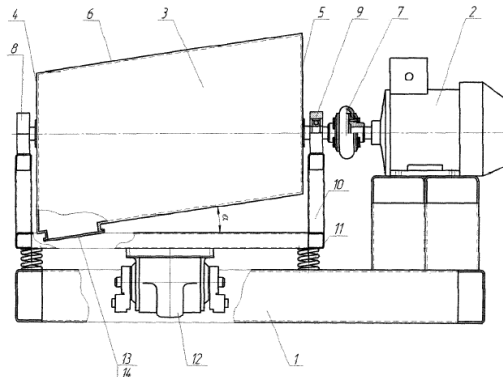


Рис. 3 Вибровращательная мельница

Устройство включает в себя неподвижную раму 1, на которой установлен привод 2 камеры помола 3, выполненной в форме наклонного цилиндра с торцевыми поверхностями 4 и 5 и боковой цилиндрической поверхностью 6. Привод 2, через эластичную муфту 7, осуществляет вращение камеры помола 3 вокруг горизонтальной оси. Камера помола 3, выполненная в форме наклонного цилиндра, установлена в подшипниковых опорах 8 и 9, которые являются частью подвижной рамы 10, соединенной с неподвижной рамой 1 через виброизоляторы (пружины) 11. При этом торцевые поверхности 4 и 5 наклонного цилиндра камеры установлены перпендикулярно оси вращения камеры, а ее боковая цилиндрическая поверхность 6 размещена под углом  $\alpha$  ( $\alpha=30^\circ$ ) к горизонтальной поверхности подвижной рамы 10. На нижней поверхности подвижной рамы 10 смонтирован вибропривод 12, который придает вращающейся камере колебательное перемещение. В нижней части цилиндрической поверхности камеры размещено загрузочно-выгрузочное устройство - загрузочный люк 13, со съемной решеткой 14 для выгрузки измельченного материала [5].

Таким образом, вибропомольное и смесительное оборудование продолжает развиваться и улучшаться. Новые материалы, технологии и методы контроля качества позволяют получать высококачественную продукцию с минимальными затратами времени и энергии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анциферов С.И. Повышение эффективности процесса смешивания за счет совершенствования конструкции планетарного

смесителя: дис. канд. тех. наук: 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы: защищена 04.09.17 - М., 2017. - 187 с.

2. Багринцев, И.И. Смесительное оборудование для сыпучих и пастообразных материалов [Текст] / И.И. Багринцев, Л.М. Лебедева, В.Я. Филин // М.: Обзорная информация, 1986. – 35 с.

3. Патент N 2506121 Российская Федерация, МПК В01F 9/04 (2006.01). Ротационный смеситель: N 2012154119: заявл. 13.12.2012 : опубликовано 10.02.2012 / Сидоров В.Н, Ширина Н.Ю., Козлов М.В. ; заявитель ЯГТУ. — 6 с.

4. Патент N 2251447 Российская Федерация, МПК В01F 9/02 (2006.01). Барабанный смеситель: N 2003116564: заявл. 03.06.2003 : опубликовано 10.05.2005 / Светлов С.А., Карпов А.Г. ; заявитель АГТУ им. И.И. Ползунова. — 6 с.

5. Патент N 105199 Российская Федерация, МПК В02С 17/06 (2006.01). Вибровращательная мельница: N 2010153290: заявл. 21.12.2010 : опубликовано 10.06.2011 /Богданов В.С., Гаврунов А.Ю.. ; заявитель БГТУ им. В.Г. Шухова. — 5 с.

#### **УДК 621.929.2**

*Пахомов Е.Г., Климачев И.А., Зуев Е.В.*

*Научный руководитель: Романович А.А., д-р техн. наук, проф.*

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия.*

### **АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСИ В ДВУХРОТОРНОМ СМЕСИТЕЛЕ**

В рамках исследования была рассмотрена возможность применения программного продукта EDEM для улучшения работы смесительного оборудования. Была продемонстрирована целесообразность проведения симуляции процесса смешения материалов в программной среде EDEM на этапе экспериментальных исследований лопастного смесителя с горизонтальным расположением валов. Было проведено сравнение коэффициента неоднородности эффективности процесса смешения двух компонентов в камере двухроторного смесителя с базовыми лопатками и лопатками усовершенствованной конструкции. Описаны алгоритм отбора проб в программе EDEM и методика определения коэффициента неоднородности смеси. Была продемонстрирована эффективность применения новой конструкции лопаток смесителя двухроторного

смесителя, а также необходимость проведения дополнительных исследований для определения рациональных конструктивно-технологических параметров данной конструкции.

Применение программного продукта EDEM в производстве строительных материалов может значительно улучшить эффективность и качество работы технического оборудования. С помощью моделирования процессов смешения материалов в смесительном оборудовании можно определить оптимальную конструкцию лопастей, увеличить производительность и снизить затраты на производство. Кроме того, использование программы EDEM позволяет проводить исследования без необходимости проведения экспериментов на реальном оборудовании, что экономит время и деньги. [1-3].

С целью повышения интенсификации процесса смешивания и улучшения качества готовой продукции в двухроторных лопастных смесителях с валами расположенными под углом, предлагается установить лопатку смесителя, которая содержит корпус, выполненный в виде пластины с жестко установленными тремя лопастями, причем первая лопасть повернута на угол  $45^\circ$  относительно продольной оси поперечного сечения корпуса, следующие лопасти повернуты друг относительно друга на угол  $\alpha=90^\circ$ , при этом каждая из лопастей имеет ширину, равную толщине корпуса, а на корпусе выполнены сквозные отверстия для крепления.

Для подтверждения эффективности предложенной конструкции рабочих органов смесителя был проведен сравнительный эксперимент в программной среде EDEM. Сравнились два варианта конструктивного исполнения лопастного вала. В первом варианте выполнены лопатки с тремя лопастями, а во втором – плоскими, в виде прямоугольной пластины.

Проведение эксперимента проводилось на уменьшенной модели смесителя. Для двух сравниваемых моделей были установлены одинаковые конструктивно-технологические параметры: частота вращения лопастного вала составляла  $n = 79$  рад/с, угол установки ротора смесителя был принят  $\alpha = 45^\circ$ . Смесь состояла из двух компонентов: компонента «А» (частицы круглой формы диаметром 1,5 мм, плотностью  $3000$  кг/м<sup>3</sup>) и компонента «В» (частицы круглой формы диаметром 1,25 мм, плотностью  $2500$  кг/м<sup>3</sup>). Однако количество загружаемых в смеситель частиц в этом случае составляло более ста тысяч, что затрудняет реализацию экспериментов в условиях применения персонального компьютера. В этой связи было принято решение об использовании части корпуса смесителя и расположении на валу двух разнонаправленных лопастей (рис. 1), что позволило

сократить количество частиц до двадцати шести тысяч и обеспечило возможность реализации эксперимента.

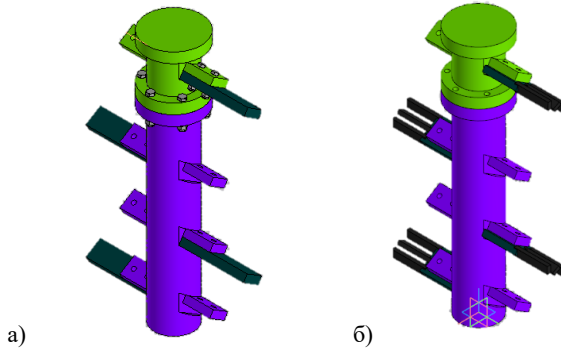


Рис. 1 Исследуемые модели рабочего органа:  
а – модель ротор исходный; б – модель ротора модернизированного.

Цель эксперимента – сравнить качество приготовления смеси в двух моделях смесителей. В качестве критерия, определяющего качество смеси, был выбран коэффициент неоднородности  $V_c$  [4-6]:

$$V_c = \frac{100}{c} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2} \quad (1)$$

где  $\bar{c}$  – среднее арифметическое значение концентрации ключевого компонента во всех  $n$  пробах смеси, %;  $c_i$  – концентрация ключевого компонента в  $i$ -й пробе, %;  $n$  – количество отобранных проб, шт.

Необходимо было исследовать изменение коэффициента неоднородности со временем смешивания в двух моделях смесителя, сравнить их между собой и сделать вывод, в какой из моделей наблюдается наиболее качественная смесь.

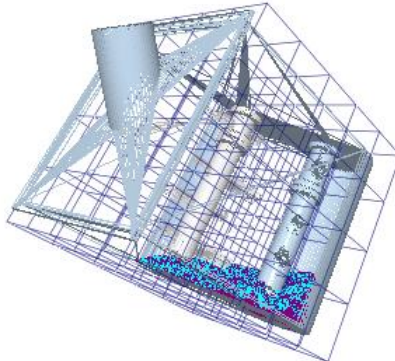


Рис. 2 Схема отбора проб по ячейкам

При помощи программного аналитического инструмента EDEM позволяет осуществлять отбор как точечных проб, так и разбивать рабочий объем камеры смесителя на объемные ячейки любого размера и всесторонне анализировать каждую из них. Для определения коэффициента неоднородности смеси рабочая камера рассматриваемых смесителей была разбита на ячейки в форме параллелепипеда размером 45×50×55 см. Схема и нумерация ячеек для отбора проб показаны на рис. 2.

Масса пробы, которая адекватно могла служить для определения коэффициента неоднородности, вычислялась по формуле:

$$G_M = \frac{1,26 \cdot 10^4 \cdot d^3 \cdot \rho}{c_0} \quad (2)$$

где  $d$  – диаметр частиц смешиваемого компонента или диаметр комков из компонентов смеси, м;  $\rho$  – плотность частиц или плотность комков частиц, кг/м<sup>3</sup>;  $c_0$  – концентрация частиц компонента, %.

Необходимая минимальная масса пробы при максимальном размере частиц  $d = 3$  мм, составила  $G_M = 0,02$  кг.

Для расчета коэффициента неоднородности находилась концентрация ключевого компонента в каждой ячейке за каждую секунду процесса смешивания. В качестве ключевого был принят компонент «В».

В каждой ячейке при помощи аналитического инструмента программного продукта EDEM высчитывались массы ключевого компонента и общая масса смеси. После этого рассчитывалась концентрация ключевого компонента «В» в каждой ячейке, т. е. масса компонента «В» делилась на массу всей пробы. Далее по формуле (1) рассчитывался коэффициент неоднородности.

Применение программного обеспечения Altair EDEM Это значительно сократило время на предварительную подготовку и исследования, позволив подтвердить гипотезы об эффективности использования разработанной конструкции рабочих органов лопастного смесителя.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Romanovich A.A., Amini E., Apukhtina I.V., Pahomov E.G. The grinding clinker pressure process study // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. № 698. 066038.. DOI: 10.1088/1757-899X/698/6/066038

2. Пахомов Е.Г., Романович А.А. Смеситель с эффективным рабочим органом // сб. статей «Международная научно-техническая

конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова». Белгород: Изд-во БГТУ, 2022. Ч9. с 246-249.

3. Пат. 214623 Российская Федерация, МПК В01F 15/00 (2006.01); В01F 7/00 (2006.01). Лопатка смесителя / Е.Г. Пахомов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО БГТУ им В.Г. Шухова. – №2022105098; заявл. 25.02.22; опубл. 08.11.22.

4. Романович А.А., Пахомов Е.Г. и др. Энергосбережение при измельчении материалов с анизотропной текстурой / Строительные и дорожные машины // СДМ-Пресс. 2020. №11. С. 9-16.

6. Романович А.А., Пахомов Е.Г., Высокоэффективный смеситель новой конструкции для сухих строительных смесей // сб. статей «Транспортные и транспортно-технологические системы» Том 1. 2022. – с. 149-154.

#### **УДК 67.05**

*Польшин А.А., Новоселов А.А., Духанин С.А., Тихонов А.А.  
Научный руководитель: Любимый Н.С., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

### **КАНАЛЫ ОХЛАЖДЕНИЯ В ФРЕЗАХ. ИХ ФОРМА, РАСПОЛОЖЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

Жидкости для охлаждения и снижения трения содержат ингредиенты, которые могут быть вредны для здоровья работников. Они также могут стать причиной загрязнения окружающей среды - воздуха, почвы и воды.

Чтобы ослабить негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека, вызванное чрезмерным использованием смазочно-охлаждающей жидкости, резке с внутренним охлаждением уделяется все больше внимания. Такую технологию начали применять в торцевом фрезеровании с внутренней подачей охлаждающей смазки. Смазочно-охлаждающая жидкость подается через внутренние каналы охлаждения внутри концевой фрезы, а не через традиционную внешнюю систему подачи жидкости. Благодаря системе подачи по внутренним каналам охлаждения смазочно-охлаждающая жидкость может подаваться в зону резания непосредственно. Приведен процесс проектирования топливно-жидкостной системы для торцевого фрезерования с внутренним охлаждением. И приводится результат моделирования о дизайне. И это может соответствовать ожидаемой цели проектирования. На практике

расчетный расход жидкости концевой фрезы с внутренним охлаждением является разумным. Соответствующий процесс расчета может служить эталоном для отечественного проектирования системы подачи жидкости для торцевой фрезы с внутренним охлаждением.

Легко одновременно любить и ненавидеть смазочно-охлаждающую жидкость в процессе резки, особенно в процессе фрезерования отверстий. Это происходит главным образом потому, что смазочно-охлаждающая жидкость полезна для удаления стружки и тепла при резании, повышения качества обработки поверхности и срока службы инструмента, но в то же время традиционная смазочно-охлаждающая жидкость вредна для здоровья человека и окружающей среды. Кроме того, даже если смазочно-охлаждающая жидкость находится под давлением, ей трудно проникнуть на поверхность заготовки. Но во время некоторых в процессе обработки материалов смазочно-охлаждающая жидкость незаменима, особенно при обработке труднообрабатываемых металлов, таких как титановые, никелевые сплавы, взрывоопасные и легковоспламеняющиеся материалы. Использование смазки минимального качества или отсутствие охлаждающей жидкости приводит к большим повреждениям поверхности и короткому сроку службы инструмента. И поэтому все больше и больше исследователей изучают новые системы охлаждения.

Технология высокоскоростного фрезерования обладает многими преимуществами, такими как более высокая эффективность и качество поверхности механическая обработка и низкая себестоимость производства. Такие преимущества позволяют широко применять технологию высокоскоростного фрезерования во все большем количестве областей резки металлов, таких как титановые сплавы. Таким образом, он нуждается в более эффективном охлаждении, обеспечиваемом при высокоскоростном торцевом фрезеровании труднообрабатываемых металлов.

При резке торцевой фрезой с внутренним охлаждением внутренние охлаждающие каналы могут подавать достаточное количество смазочно-охлаждающей жидкости на поверхность заготовки. И, следовательно, охлаждающий эффект усиливается, а эффективно снижается тепловая нагрузка. Таким образом, технология резки с внутренним охлаждением рассматривается как перспективная технология.

Конструкция системы подачи жидкости с внутренним охлаждением основана на конструкции концевой фрезы с внутренним охлаждением. Одна из твердосплавных концевых фрез (показана на рис. 1), общей длиной 90 мм, обеспечивает два канала диаметром 1,4 мм,

а расстояние между двумя отверстиями составляет 6,25 мм. Внутренний канал представляет собой структуру с двойными спиральными каналами.

Каналы внутри фрезы снижают стабильность торцевого фрезерования. По той причине, что диаметр канал установлен на 1,4 мм. А хвостовик инструмента, соединяющий вход и выход, используется для подачи смазочно-охлаждающей жидкости во внутренний канал концевой фрезы.

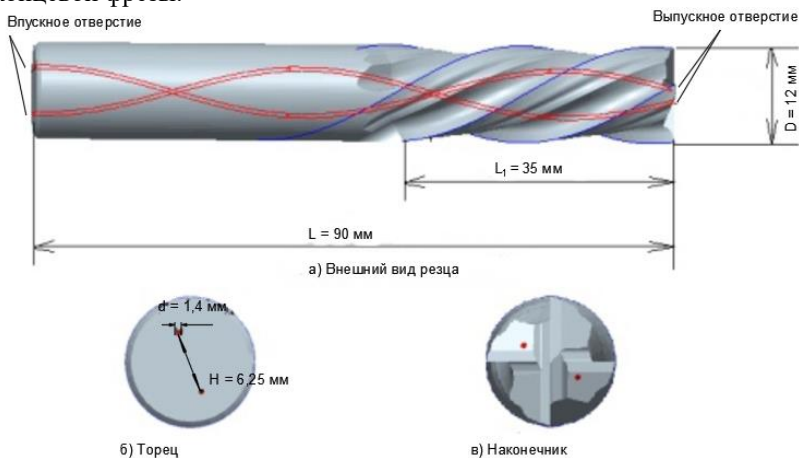


Рис. 1 Твердосплавный торцевой фрез

Чтобы внутренняя система охлаждающей жидкости работала должным образом, система подачи смазочно-охлаждающей жидкости должна соответствовать следующие требования:

1. Поток жидкости, обеспечиваемый внутренней охлаждающей жидкостной системой, должен быть регулируемым.

2. Чтобы давление в системе не превышало нормальное давление масляный гидравлический насос, система также должна иметь защиту от перегрузки.

3. Для обеспечения эффективность охлаждения, использованная жидкость должна быть собрана, отфильтрована и переработана.

На основании заданной структуры канала и размеров системы подачи охлаждающей жидкости, общий дизайн-проект внутренней охлаждающей жидкостной системы завершен и показан на рис. 2.

Внутренняя система подачи охлаждающей жидкости состоит в основном из бака гидравлического масла, фильтра, масляного гидравлического насоса, предохранительный клапан, дроссельная заслонка, расходомер, шаровой клапан и так далее. Основная функция



дроссельной заслонки заключается в регулировке потока жидкости. Предохранительный клапан предназначен для ограничения максимального давления в системе подачи жидкости. В то же время предохранительный клапан также может обеспечить защиту от перегрузки. В конце процесса торцового фрезерования смазочно-охлаждающая жидкость может быть быстро слита из шарового клапана.

Пластина для накопленной жидкости предназначена для сбора использованной смазочно-охлаждающей жидкости. Бак гидравлического масла и фильтр используется для осаждения и фильтрации использованной смазочно-охлаждающей жидкости, чтобы смазочно-охлаждающая жидкость могла оставаться чистой.

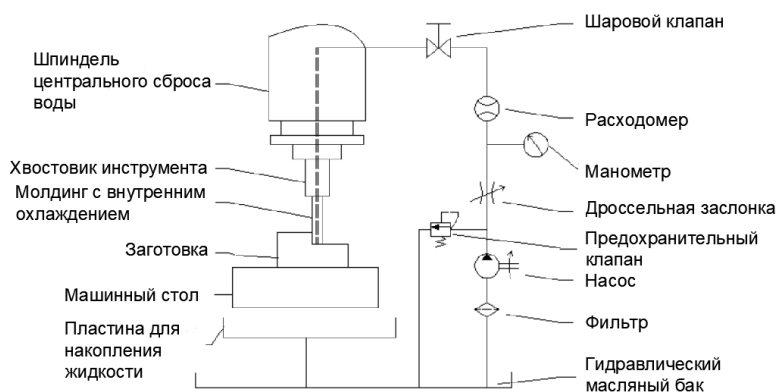


Рис. 2 Принципиальная схема системы подачи жидкости с внутренним охлаждением

Были рассмотрены каналы охлаждения фрез и система подачи охлаждающей жидкости. Данная технология более экологичная, по сравнению с обычными методами нанесения охлаждающей жидкости.

Кроме того, каналы охлаждения очень хорошо дополняют технологию высокоскоростного фрезерования, которая отличается низкой себестоимостью и высоким качеством обработки материалов. Фреза с каналами охлаждения позволяет обрабатывать труднообрабатываемые металлы, таких как титановые, никелевые сплавы, взрывоопасные и легковоспламеняющиеся материалы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нинся, И. Конструкция системы подачи жидкости для торцового фрезерования с внутренним охлаждением / И. Нинся //

[https://www.researchgate.net/publication/326897638\\_Design\\_of\\_the\\_Feed\\_Liquid\\_System\\_for\\_an\\_Internal\\_Cooling\\_End-milling](https://www.researchgate.net/publication/326897638_Design_of_the_Feed_Liquid_System_for_an_Internal_Cooling_End-milling) (дата обращения: 14.03.2023).

2. Ван, З.Г., Рахман, М., Вонг, Ю.С., Нео, К.С., Сан, Дж., Тан, К.Х., Онозука, Х. / Исследование по ортогональному точению титановых сплавов с различными стратегиями подачи охлаждающей жидкости: журнал/ З.Г. Ван, , М. Рахман, Ю.С. Вонг, К.С. Нео, Дж. Сан, К.Х. Тан, Х. Онозука – Япония, 2009, с.632

3. Чиу Р.Ю., Лу Л., Чен Дж. С. / Исследование сухой обработки со встроенным охлаждением с помощью тепловых трубок с помощью анализа методом конечных элементов и экспериментов.: журнал/ Р.Ю. Чиу, Л. Лу, Дж.С. Чен – Германия, 2007, с.893

4. Герасимов М.Д., Любимый Н.С., Рязанцев В.Г. Вибрационное точение конструкционных сталей и управление колебаниями режущего инструмента при токарной обработке деталей // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2022. № 15. С. 72-78.

**УДК 67.05**

*Польшин А.А., Новоселов А.А., Духанин С.А., Тихонов А.А.  
Научный руководитель: Любимый Н.С., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ ВИБРАЦИИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ**

В определенный момент процесс резания теряет устойчивость. Это связано с тем, что во время резания возникает вибрация. При их возникновении приходится уменьшить режим резания, что в свою очередь уже снижает производительность, а также препятствует повышению эффективности резания, ухудшают качество поверхности и понижается точность обработки деталей. Вибрации — это высокочастотные периодические колебания станка, инструмента и заготовки. Эти колебания вызываются так называемыми возмущающими силами.

Современная машиностроительная промышленность уделяет большое внимание вопросам виброустойчивости станков. Виброустойчивость станков плотно связана с их жесткостью и оба

фактора зачастую определяют достигаемую производительность. Вибрации сдерживают допустимые режимы резания при обработке, приводят к получению у детали волнистой или дробленой поверхности, повышенного наклепа ее поверхностных слоев, уменьшению точности обработки, стойкости режущего инструмента, расстройству соединений станка и его ускоренному износу. При возникновении значительных вибраций работу, как правило, надо прекращать.

При рассмотрении любого колебательного процесса приходится оперировать с понятиями:

а) частота колебаний в герцах – число колебаний в секунду исследуемой величины;

б) период колебания – время одного колебания этой величины, выраженное в секундах;

в) амплитуда колебания максимальное отклонение колеблющейся величины от среднего положения;

г) размах колебаний – расстояние между крайними положениями колеблющейся величины – равняется удвоенной амплитуде. [1]

Возникновение колебаний просто объяснить во всех рассмотренных случаях, это наличие периодической возмущающей силы. По-другому их еще называют вынужденными колебаниями. Вынужденные колебания маленьких амплитуд всегда имеют место при работе на станках. Они представляют серьезную опасность только для отделочных станков. Для других станков при обычных условиях эксплуатации они нарушают работу лишь в случае резонанса.

Станки, заготовки и инструменты не являются полностью жесткими, поэтому силы резания могут вызывать их вибрацию. Динамические характеристики станка, обрабатываемой детали и режущего инструмента могут ограничивать производительность резания. Слишком малая жесткость, а также недостаточное гашение вибрации могут привести к проблемам с самовозбуждающейся вибрацией или “автоколебаниями”. При наличии базовых знаний об этом явлении вибрация становится предсказуемой, что позволяет повысить производительность резки.

Автоколебания металлорежущего инструмента — это колебания, которые возникают при обработке металлической заготовки режущим инструментом. Эти колебания могут привести к нежелательным эффектам, таким как снижение точности обработки, увеличение износа инструмента, повышение шума и вибрации оборудования. [2]

Внешняя сторона явления в этих случаях состоит в том, что при обработке достаточно уравновешенной детали на достаточно исправном станке с массивным фундаментом, могут иметь место

сильные вибрации. Они возникают мгновенно после начала резания и пропадают при его прекращении. Следовательно, причина вибраций таится только в самом процессе резания. Автоколебания чаще и легче возникают при сливной стружке.

Вибрация во время обработки имеет много негативных последствий, наиболее важными из которых являются следующие:

- повышенный износ режущих кромок и неконтролируемый, непредсказуемый характер износа (например, сколы и трещины на режущих кромках), которые снижают надежность обработки.

- ухудшение качества обработки поверхности и увеличение количества обработанных или переработанных деталей. Таким образом, вибрация ставит под угрозу систему обработки и может привести к проблемам со временем доставки и безопасностью доставки.

- поскольку вибрация требует энергии, она также тратит энергию впустую.

Все применяемые меры борьбы с автоколебаниями можно разделить на технологические и конструктивные. К технологическим мерам относится изменение условий резания и геометрии инструмента в определенном направлении, а к конструктивным - применение специального оборудования и приспособлений, усиление жесткости узла станка. Хотя первые меры просты в реализации, они часто связаны со снижением производительности и ухудшением качества поверхности и не являются полностью эффективными. Вторые меры требуют больше усилий, но дают лучшие и более устойчивые результаты.

К технологическим мерам относятся следующее:

- изменение скорости резания

Снижение скорости резания может привести к снижению амплитуды колебаний. Этот метод может быть особенно полезен при обработке труднообрабатываемых материалов, когда высокая скорость резания может привести к интенсивным колебаниям.

- изменение скорости подачи и глубины резания

При токарной и фрезерной обработке увеличение подачи при меньшей глубине резания приводит к уменьшению вибрации. Это логически вытекает из известного принципа: чем шире и тоньше срезается стружка, тем больше вероятность возникновения вибрации. По этой же причине увеличение главного угла и уменьшение радиуса кривизны резца также снижает вибрацию.

- улучшение чистоты рабочих поверхностей инструментов и использование смазочных жидкостей

Гашение вибрации достигается за счет некоторого снижения сил резания. [3]

Конструктивные меры включают:

- изменение форм инструмента

Форма режущего инструмента может быть изменена таким образом, чтобы уменьшить склонность к колебаниям. Например, использование зубчатой геометрии на режущей кромке может уменьшить возможность скольжения инструмента по поверхности заготовки.

- активное управление

Этот метод заключается в использовании электронных систем управления, которые реагируют на колебания и корректируют их. Например, можно использовать датчики для измерения колебаний и регулировать параметры обработки, чтобы уменьшить колебания.

- демпфирование энергии колебаний системы

Этот метод заключается в использовании демпфера, который поглощает часть энергии колебаний и снижает их амплитуду. Демпфирование может быть реализовано различными способами, например, использованием виброгасителей, смазочных материалов или материалов с высокой внутренней диссипацией. Дополнительное демпфирование может значительно снизить величину вибрации, а также изменить жесткость или массу системы, чтобы сместить собственную частоту от частоты воздействия.

- резонансный тюнинг

Этот метод заключается в изменении частоты колебаний путем изменения массы режущего инструмента или жесткости конструкции. Резонансный тюнинг может быть осуществлен путем использования специальных насадок на режущий инструмент или путем изменения формы или материала конструкции.

Некоторые другие методы управления автоколебаниями металлорежущего инструмента включают использование инструмента с переменной геометрией резания, изменение направления подачи, изменение массы и распределения массы режущего инструмента, использование системы сжатого воздуха для охлаждения и смазывания режущей кромки, и т.д.

Расчет автоколебаний инструмента может быть выполнен с помощью ряда формул, которые учитывают различные параметры, такие как жесткость материала, геометрия инструмента, скорость резания и другие факторы. Некоторые из этих формул включают:

- Формула для расчета собственной частоты колебаний инструмента:

$$f = \frac{1}{(2 \cdot \pi)} \cdot \sqrt{\frac{C}{m}}$$

где  $f$  - собственная частота колебаний,  $C$  - жесткость инструмента,  $m$  - масса инструмента.

- Формула для расчета коэффициента демпфирования:

$$\zeta = \left( \frac{c}{2 \cdot \sqrt{C \cdot m}} \right)$$

где  $\zeta$  - коэффициент демпфирования,  $c$  - коэффициент силы сопротивления.

- Формула для расчета коэффициента жесткости режущей системы:

$$K_c = \left( \frac{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot m}{A} \right)$$

$f$  - собственная частота колебаний,  $m$  - масса инструмента,  $A$  - амплитуда колебаний.

Гашение вибрации при применении прокладок связано с тем, что часть энергии вибрации теряется на вязкую деформацию материала прокладки, и преодолении потенциальной энергии положения, накапливаемой прокладкой в каждом ходе, происходящая из-за отставания деформации.[4]

Вибрационные прокладки в зависимости от допускаемых напряжений подразделяется на 3 вида:

- Слабые прокладки.

Их изготавливают толщиной до 10 мм, при это и оклеивают с двух сторон асфальтовой бумагой. Наиболее распространены ребристые резиновые прокладки, которые кладут между тонкими металлическими листами, что дает более равномерное распределение нагрузок.



Рис. 1 Ребристая резиновая прокладка

- Средние прокладки

К этому виду прокладок относятся натуральная кусковая пробка и гладкие резиновые листы с оклейкой пробкой по сторонам.



Рис. 2 Гладкий резиновый лист

- Мощные прокладки

В основном, это плиты из брусков натуральной пробки. При укладке такие плиты защищают сверху и снизу асфальтовой бумагой.

Также мощным прокладкам относят “антивибрит”, который может состоять из пеньковой, мешочной или льняной ткани, пропитанной битумом.



Рис. 3 Плита из брусков натуральной пробки

Были рассмотрены основные меры борьбы с таким видом вибраций, как авто вибрация. Все методы по устранению вибраций можно условно разделить на технологические и конструктивные.

Технологические меры включают изменение режима резания и геометрии инструмента в определенном направлении, а конструктивные - в применении специальных средств и оборудования или же применяют повышение жесткости узлов станка. Первые меры проще в реализации, но из-за может снизиться производительность и

ухудшиться качество поверхности. Вторые меры требуют больше усилий, но дают положительные и более стабильные результаты.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахтамбаев С.С. Причины вибрации в станках и методы их устранения / С.С. Ахтамбаев // <https://cyberleninka.ru/>: [сайт], 2021. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prichiny-vibratsii-v-stankah-i-metody-ih-ustraneniya/viewer> (дата обращения: 26.02.2023).

2. Болдин Л.А., Металлорежущие станки [Текст]: Вопросы эксплуатации / Л. А. Болдин, канд. техн. наук. - Москва: Машгиз, 1957. - 260 с.

3. Челомей, В.Н., Вибрации в технике: справочник / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред., гл. ред.) - Москва: Машиностроение, 1978-1981. – 351 с.

4. Герасимов М.Д., Горлов А.С., Рязанцев В.Г., Любимый Н.С., Бражник Ю.В. Формирование идеального закона изменения вынуждающей силы вибрационного устройства с асимметричными колебаниями с использованием ряда Фурье // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2022. № 16. С. 89-96.

УДК 662.613.1

*Сагитов К.Р.*

*Научный руководитель: Ляпин А.И., канд. техн. наук, доц.  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В РАЗЛИЧНЫХ СФЕРАХ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОМЫШЛЕННОСТИ: РОССИЙСКИЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Тепловые электростанции в результате своего функционирования образуют большое количество различных технологических отходов и продуктов, подлежащих отведению и утилизации. Одним из таких продуктов являются зола и золошлаковые материалы, образующиеся в результате преобразования химической энергии топлива в процессе его горения для производства электрической и тепловой энергии.

По официальным данным [1] в России накоплено около 2 миллиардов тонн золошлаковых отходов тепловых электростанций, при этом ежегодный объем отходов составляет около 8,5 миллиардов тонн.



Из них, перерабатывается лишь 10 % тонн отходов тепловых электростанций.

Использование золы и золошлаковых отходов тепловых электростанций в промышленности, а также в строительной и сельскохозяйственной отраслях обеспечивает экономичное и устойчивое решение, которое может принести пользу как окружающей среде, так и населению.

Одно из самых распространенных применений таких отходов, как золошлаковые материалы тепловых электростанций – это их использование в строительной отрасли. Рекомендуется использовать золошлаковые отходы в качестве строительных материалов для производства цемента, бетона и др. Установлено [3], что физико-механические характеристики цемента напрямую зависят от состава используемых материалов и количества минеральной добавки, в качестве которой можно использовать золошлаковые отходы. Введение в состав цемента 15 % кислых золошлаковых отходов позволяет получать материалы хорошего качества. Использование минеральной добавки в количестве 30 % способствует получению цементов с высокими прочностными показателями. Кроме того, зола уноса подходит для изготовления гипсовых вяжущих материалов, ведь если добавить золу уноса в сырьевую смесь в количестве до 20 % это приведет к повышению прочности и водостойкости полученных композиций, однако, содержание золы уноса в бетоне в количестве более 50 % может привести к снижению прочности и морозостойкости. В зарубежных странах также накоплен большой опыт, использования золошлаковых отходов ТЭС и других отраслей промышленности в сфере строительства. Например [2-4], в Польше при строительстве национальной дороги Варшава-Познань было использовано около 250 тысяч тонн золошлаковых отходов. В США ежегодно используется 14 миллионов тонн летучей золы для замещения части цемента при производстве бетонов. Несмотря на положительный российский опыт использования золошлаковых отходов, до их крупномасштабного применения еще далеко, это связано с тем, что отсутствует их сертифицирование на основе действующих нормативных документах. На данный момент сертификация возложена на энергетические компании, для которых золошлаковые материалы - это побочный продукт.

Еще одной отраслью для применения золошлаковых отходов тепловой электростанции является сельское хозяйство [3, 5]. Внесение золы уноса в определенных концентрациях повышает ее плодородие, что позволяет увеличить количество урожая и накапливать в почве

макро- и микро-элементы. Также летучая зола является пестицидом, она защищает растения от многочисленных сельскохозяйственных вредителей, в качестве микроудобрений рекомендуется использовать немагнитную фракцию золошлаковых отходов. Зарубежом использование золошлаковых материалов в сельскохозяйственной отрасли получило положительные результаты. Например, в Японии зола уноса является материалом для производства неорганических цеолитов. В Индии, где остро присутствует проблема засоления почв, зола уноса, обладающая сорбирующими свойствами, используется для рекультивации такого вида почв. В России было проведено исследование, в котором использовали смесь золошлаковых отходов тепловой электростанции города Улан-Удэ, для выращивания газонной травы на искусственном грунте. При проведении опытов было заключено, что использование почвосмесей, в состав которой входит смесь золошлаковых отходов, дает возможность рекультивации золоотвалов [3, 5].

Золошлаковые отходы содержат ценные компоненты, такие как алюминий, железо и титан, что позволяет получить различные виды продукции. Использование комплексной технологии обогащения золошлаков позволяет получить угле-, железо- и алюмосодержащие продукты. Данная технология применяется в зарубежных странах. Например [4], в Китае на государственном уровне проводится политика, согласно которой зола - это не отход, а продукт, золы тепловых электростанций бесплатно передаются алюминиевому заводу, который перерабатывает золу в алюминий кристаллической формы. В России [3] также используют золошлаковые отходы для получения ценных материалов. Зольные отходы Каширской и Троицкой тепловых электростанций перерабатывают для получения железосодержащего концентрата, который получают при помощи магнитной сепарации, позволяющей использовать зольные отходы как в сухом, так и в мокром состоянии.

Таким образом, использование золошлаковых отходов тепловых электростанций в различных отраслях экономики и промышленности позволяет не только снизить воздействие захоронения отходов на окружающую среду, но и дать ценные материалы для экономического роста. Российский и зарубежный опыт показывает, что утилизация этих отходов может быть рентабельной и экологически устойчивой, способствуя развитию экономики. Крайне важно, чтобы Российская Федерация совершенствовала методы получения золошлаковых материалов как для отечественного производства, так и для импорта в зарубежные страны.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пичугин Е.А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечение в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанции (обзор) // Проблемы региональной экологии. – 2019. - №4. – С.77-87.

2. Буди́на Т.С., Курбанов Н.Х., Прокофьева Л.М. Использование золошлаковых отходов : Российский опыт (обзор) // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2019. - №1(164). – С.61-64.

3. Худякова Л.И., Залуцкий А.В., Палеев П.Л. Использование золошлаковых отходов тепловых электростанций (обзор) // XXI век. Техносферная безопасность. – 2019. - №3(15). – С.375-391.

4. Федорова Н.В., Мохов В.А. Б Анализ зарубежного опыта использования золошлаковых отходов ТЭС и возможностей мультиагентного моделирования процессов утилизации (обзор) // Экология промышленного производства. – 2015. - №3(91). – С. 2-7.

5. Палеев П.Л., Худякова Л.И. Использование золошлаковых отходов в сельском хозяйстве (обзор) // XXI век. Техносферная безопасность. – 2021. - №4(24). – С.348-356.

*УДК 699.8*

*Сырых А.А., Грищенко М.С.*

*Научный руководитель: Высоцкая М.А., доц.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА СОЗДАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ДВИЖЕНИЯ**

Уже в прошлом столетии зародилась идея управления машинами с помощью радиосигналов. Это помогло бы контролировать дистанцию между автомобилями на трассе и избегать аварийных ситуаций. Данная идея подтолкнула инженеров из фирмы «Mercedes – Benz» в 1900–е годы начать серийное производство машин S – класса с системой круиз – контроля. В это же время Nissan и Honda уже смогли доказать эффективность своих запатентованных систем автопилотирования. После некоторой паузы произошел заметный скачок в истории развития беспилотного транспорта, и в 2016–2017 годы все крупные автокомпании заявили о разработке собственных прототипов робокаров

и планах на их серийных выпуск. Через 2 года, в 2019 году была опубликована Дорожная карта стратегических транспортных исследований и инноваций (STRIA) для подключенного и автоматизированного транспорта [1].

В зависимости от участия человека в вождении автомобилем сообществом автомобильных инженеров была разработана классификация автоматизации автомобилей:

0-й уровень: отсутствие контроля над машиной, но может присутствовать система уведомлений.

1-й уровень: водитель должен быть готов в любой момент взять управление на себя. Для этого могут присутствовать система автоматической парковочной системы, круиз – контроль и система предупреждения о сходе с полосы.

2-й уровень: водитель должен реагировать, если система не смогла справиться самостоятельно. Система управляет ускорением, торможением и рулением.

3-й уровень: водитель может не контролировать машину на дорогах с «предсказуемым» движением, таким как скоростное шоссе, выделенные полосы, но водитель должен быть готовым взять на себя управление.

4-й уровень: система работает аналогично третьему уровню, однако внимание водителя не требуется.

5-й уровень: от водителя требуется только запуск системы и указания пункта назначения [2].

Если говорить об индексе готовности стран к использованию автономного транспорта, то лидирующее место занимает Сингапур, после идут Нидерланды и Норвегия, в то время как Россия занимает 26 место в рейтинге.

Рассматривая динамику развития этой сферы, стоит отметить, что в 2020 году Яндекс выделил свой беспилотный бизнес в самостоятельную структуру под названием Yandex Self-Driving Group (Yandex SDG). Известны разработки в сфере пассажирских транспортных средств особо малого класса, предназначенных для движения по дорогам с твердым покрытием и использованием данных цифровых карт систем навигации и органов технического зрения – данный проект называется ШАТЛ. Прогресс дошел и до автомобилей грузового класса – разрабатывается беспилотный грузовик КамАЗ «Челнок», беспилотный самосвал КамАЗ «Юпитер», шарнирно – сочлененный самосвал КамАЗ – 6561 «Геркулес», беспилотный автомобиль «ГАЗель» и мини – трактор «Агробот» [3].

Говоря о реальном времени, уже в Норвегии в тестовом режиме курсируют беспилотные автобусы, снегоочистители взлётно – посадочных полос и беспилотные грузовики. В США работает роботакси Waymo в пригороде Феникса.

Влияние параметров беспилотного транспорта, очевидно, что будут оказывать на будущее развитие города. Эти параметры представлены на схеме 1.

Преимущества использования беспилотного транспорта:

- Кардинальная минимизация ДТП и исключение человеческих жертв.
- Снижение стоимости транспортировки груза.
- Повышение эффективности использования дорог за счет централизованного управления транспортным потоком.
- Повышение пропускной способности дорог.
- Возможность перемещения даже без водительского удостоверения.

Недостатки:

- Вопросы ответственности за нанесение ущерба.
- Ненадежность ПО, его уязвимость.
- Потеря приватности.
- Потеря рабочих мест [4].



Рис. 1 Параметры влияния беспилотного транспорта на будущее развитие города.

В настоящее время в нашей стране активно развиваются интеллектуальные транспортные системы – ИТС. Цель существования ИТС - помощь водителю любого транспортного средства: оповещение водителя о критических ситуациях, возникающих на дороге – от информации о движении машин, скорость которых значительно отличается от скорости потока в меньшую сторону, до уведомлений о проведении внеплановых дорожных работ, нарушении в работе освещения и др. Возможности ИТС реализуются и при использовании беспилотных автомобилей (на данном этапе их принято называть ВАТС – высокоавтоматизированные транспортные средства, поскольку существующие на данный момент беспилотные автомобили не могут считаться полноценно беспилотными)[5].

Современные ВАТС реализуются по системе Connected Car. Грубо говоря, автомобиль подключен к различным телекоммуникационным системам, будь то Интернет, ЭРА-ГЛОНАСС и прочие навигационные и ориентационные объекты. В технологии V2X различают несколько систем: автомобиль-автомобиль (V2V), автомобиль-инфраструктура (V2I), автомобиль-пешеход (V2P), автомобиль-электросеть (V2G) и автомобиль-устройство (V2D).

ВАТС должна обеспечивать необходимой информацией цифровая телекоммуникационная инфраструктура – совокупность социально-технических систем. ВАТС будет функционировать адекватно при наличии в ИТС множества различных видеокамер, радаров, сканеров, датчиков, лидаров и др. Они должны выполнять часть задач, возложенных на ВАТС, например, наблюдение за состоянием дорожного покрытия. Также для передачи данных между ВАТС и какими-либо вспомогательными системами дорожная инфраструктура должна включать в себя радиоэлектронные средства передачи данных, например, активно развивающиеся сети 5G и, соответственно, вышки для них [6].

На данный момент трудно представить, как поведет себя ВАТС, покинувший, условно, территорию полигона Yandex SDG и оказавшийся где-то в Сибири. Для того, чтобы внедрить ВАТС в нашу жизнь необходима разработка единой концепции, обеспечивающей функционирование транспортных средств повсеместно. Подобную концепцию разрабатывает Российский университет транспорта, создав стратегический проект «Интеллектуальная дорожная инфраструктура для беспилотного движения», реализовать который планируют до 2030 года. Согласно проекту, одним из планируемых результатов будет являться разработанная Цифровая модель дорожного движения – ЦМДД, обеспечивающая движение ВАТС, а также полигонно-тестовые

комплексы «Цифровая модель дорожного движения для ВАТС и реализации инновационных подходов к организации транспортных процессов (ЦМДД-а/д РУТ)».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евстигнеев И. А., Шмыгинский В. В. Вопросы взаимодействия беспилотных транспортных средств с дорожной инфраструктурой // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2019. №6 (85). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/voprosy-vzaimodeystviya-bespilotnyh-transportnyh-sredstv-s-dorozhnoy-infrastrukturoy> (дата обращения: 13.03.2023).

2. Стратегический проект № 1 Интеллектуальная дорожная инфраструктура для беспилотного движения // Российский университет транспорта URL: <https://www.miit.ru/page/178786> (дата обращения: 13.03.2023).

3. Об утверждении дорожных карт достижения результатов предоставления гранта программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030», запланированных в рамках стратегического проекта № 1 «Интеллектуальная дорожная инфраструктура для беспилотного движения», предусмотренного программой развития университета на 2021-2030 годы // Российский университет транспорта URL: [https://www.miit.ru/content/03.11.2021\\_848\\_a\\_Борщ\\_В.В.\\_Климов\\_А.А..pdf?id\\_wm=900001](https://www.miit.ru/content/03.11.2021_848_a_Борщ_В.В._Климов_А.А..pdf?id_wm=900001) (дата обращения: 13.03.2023).

4. Гусев С. И., Епифанов В. В. Инфраструктура системы функционирования беспилотного автотранспортного средства // Вестник УлГТУ. 2020. №1 (89). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/infrastruktura-sistemy-funktsionirovaniya-bespilotnogo-avtotransportnogo-sredstva> (дата обращения: 13.03.2023).

5. Сулейманова Л.А., Сапожников П.В., Кривчиков А.Н. Цифровизация строительной отрасли как IT-структурирование пирамиды управления процессами // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. – 2022. – №4. – С. 12 – 24.

6. Юдин Д.А., Горшкова Н.Г., Кныш А.С., Фролов С.В. Распознавание транспортных средств и регистрация их траектории движения на последовательности изображений // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. – 2016. – №6. – С. 139 – 148.

*Таволжанский М.Р., Пономаренко Л.Д.*

*Научный руководитель: Орехова Т.Н., канд. техн. наук, доц.*

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ПАТЕНТА НА БАЗЕ ТЕХНИКИ SIEMENS И ТЕХНОЛОГИЙ NATIONAL INSTRUMENTS ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ**

Грануляторы – это устройства предназначенные для измельчения, которые за счет сочетания ударного и прокатного сжатия с использованием рядов кольцевых молотков разбивают на гранулы с медленным, положительным действием прокатки, что позволяет получить гранулированный продукт с минимальным содержанием мелких частиц.

Исследование машин согласно изготовлению гранул демонстрирует огромное разнообразие имеющихся систем, из которых в главную очередь следует отметить грануляторы матричного вида (вместе с круговой а также прямой матрицей), занимающие вплоть до 80% с всего парка производственных грануляторов. Прочие типы систем никак не приобрели настолько обширного распространения из-за трудности системы, невысокой прочности а также равно как результат небольшого времени работы (поршневые – кривошипные, эксцентриковые, гидромеханические; клиновые;). В 1-ый, необходимо выделить, то что подобное разнообразие разных систем грануляторов, обуславливается в главном отыскиванием более подходящей системы, обеспечивающей значительную эффективность, небольшую крошимость гранул, вместе с сохранением их обильной значения а также небольших удельных энергозатратах. Шестеренчатые грануляторы имеют все шансы обладать огромное число полезных альтернатив (рис. 1), какие в абстрактном проекте довольно уже давно ранее исследуются, но индустриального применения они еще никак не обнаружили. В 2-ой, сведения грануляторы, невзирая в невысокое потребление, кроме того, равно как а также прошлые типы грануляторов, призывают использования заблаговременного дробления начального использованного материала, то что приводит к вспомогательным энергозатратам.



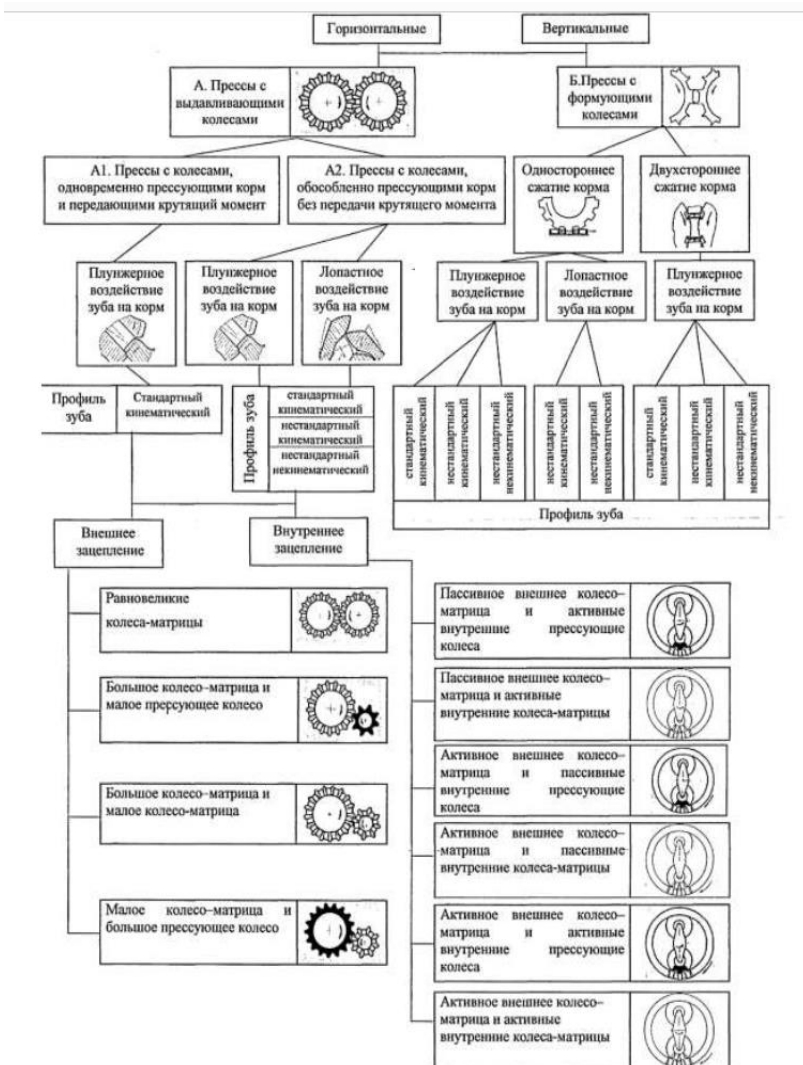


Рис. 1 Классификация шестеренных прессов

Гранулятор (рис. 2) работает следующим образом. Исходное сырье загружается в бункер устройством для подачи сырья (условно не показано).

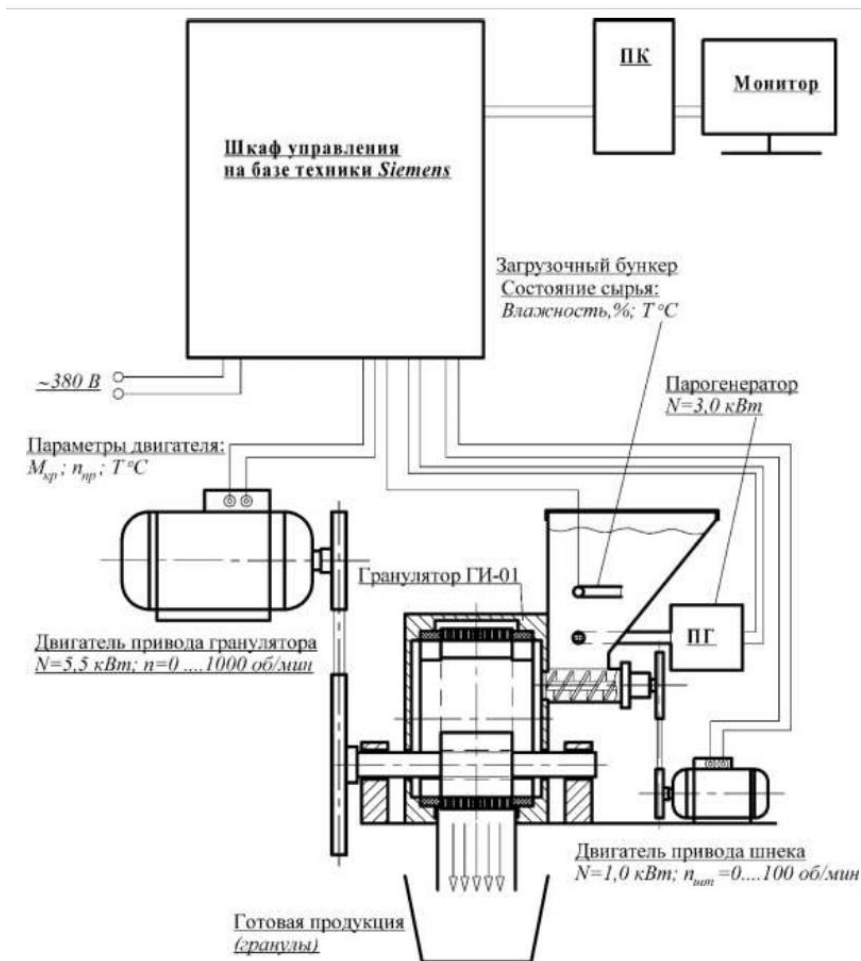


Рис. 2 Рабочий вид гранулятора

Из бункера сырье транспортируется с помощью шнека, общий вид которого показан на (рис.2), через окно в цилиндрическую камеру, а из нее попадает во впадины ведомого колеса  $Z_1$ .

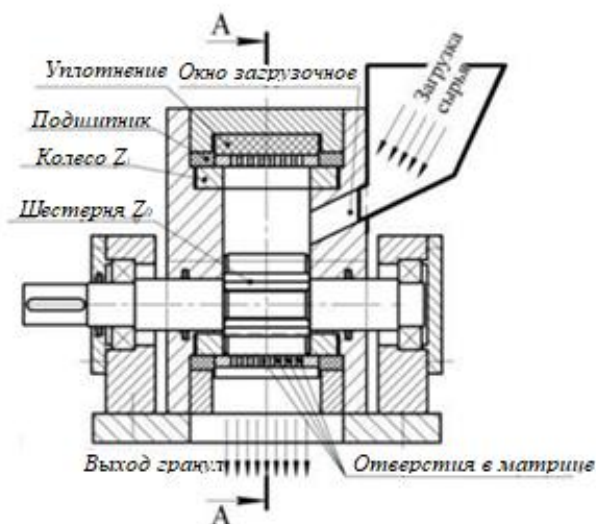


Рис. 3 Рабочий вид гранулятора

При вращении шестерни  $Z_0$  и ведомого колеса  $Z_1$ , зубья шестерни закрывают впадины ведомого колеса. Сырьевые материалы при этом подвергаются сжатию а также вдавливаются в отверстия в цилиндрической матрице. Процедура вдавливания заканчивается в нижнем состоянии основной а также ведомой зубчатых колес, присутствие данном зуб шестерни целиком давит сырьевые материалы в отверстия цилиндрической матрицы.

При последующем вращении ведомого колеса  $Z_1$  под воздействием центробежных сил проходит процедура уплотнения материала а также развития гранул. Выходу гранул с отверстий матрицы препятствует уплотнение с антифрикционного использованного материала, согласно поверхности которого гранулы скользят а также никак не выходят с отверстий матрицы вплоть до таких времен, пока никак не займут положение против окна выгрузки. При следующем обороте идет загрузка новой порции сырья во впадины ведомого зубчатого колеса  $Z_1$ , которые закрываются зубьями ведущей шестерни  $Z_0$ . Сырьевые материалы подвергаются разламыванию, сжатию а также вдавливаются в отверстия цилиндрической матрицы. Данная часть материала выталкивает с отверстий кольцевой матрицы предшествующую порцию материала в виде готового продукта –

гранул. Нож отрезает гранулы согласно длине, которые уходят через окно в упаковочную тару.



Рис. 4 Зависимость производительности гранулирования цементной пыли от числа оборотов ведущего вала гранулятора

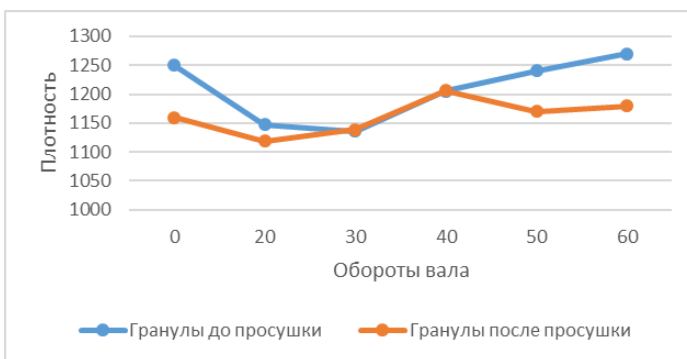


Рис. 5 График изменения плотности цементных гранул

В процессе опыта (рис.4) а также (рис.5) устанавливали эффективность гранулирования, цементной пыли в разных режимах деятельности гранулятора, плотность а также крошимость, получаемых гранул в зависимости от температуры а также влаги начального материала.

Исследование содержит в себе гранулятор а также систему его управления с средствами автоматизации исследований. Концепция специализирована с целью успешного постановления проблем согласно оптимизации режимов дробления а также гранулирования

использованных материалов, для исследования режимных алгоритмов гранулирования, а кроме того с целью фактической осуществлении данных алгоритмов.

Разрешение отмеченных проблем добивается вследствие присутствия последующих многофункциональных способностей:

- представление нынешнего состояния процесса гранулирования и элементов системы управления;
- функциональное руководство действием гранулирования;
- контролирование нынешнего состояния движения гранулирования;
- подбор научно-технического порядка гранулирования;
- программное механическое руководство в согласовании вместе с подобранным научно-техническим порядком;
- совершенствование порядка гранулирования в основании программно-задаваемого метода;
- наблюдение движения гранулирования а также механическое накапливание данных о модификациях научно-технических характеристик

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Титов В.А. Реализация способа экструзионного измельчения в дезинтеграторе на основе торцевой зубчатой передачи/ В.А. Титов, Н.В. Василенко. – Проблемы машиностроения и автоматизации, 2007, №1, с. 115-117.

2. Орехова Т.Н., Уваров В.А. Основные параметры кольцевых брикетных прессов. Фундаментальные исследования. 2013. № 4-3. С. 592-596..

3. Мерзликина Н.В. «Определение скорости частиц материала пневмосмесителя сухих строительных смесей». Управление качеством измельчаемого сырья и производительностью работы на универсальном измельчителе с торцевой зубчатой передачей/ Н.В. Мерзликина, Ю.А. Пикалов, В.А. Титов, В.С. Секацкий// Труды V Международной научно-практической конференции «Управление качеством в современной организации». – Пенза, 2010. С.73-76.

4. Патент РФ №2491127/С1, МПК В02С 15/00. Гранулятор/ В.А. Титов, Ю.А. Пикалов, В.С. Секацкий, Д.А. Андреев. Оpubл. 27.08.2013. Бюл. №24.

*Таволжанский М.Р., Пономаренко Л.Д.*

*Научный руководитель: Орехова Т.Н., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **АНАЛИЗ РАБОТЫ ЛОПАСТЕЙ БЕТОНОСМЕСИТЕЛЕЙ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ**

Рассмотрены конструкции бетоносмесителей принудительного действия, используемых в современном строительстве, проведен анализ распределения работы лопастей по радиусу чаши, предложена оригинальная конструкция, компенсирующая недостатки, приведены ее преимущества.

**Постановка проблемы.** Смешивание сыпучих строительных материалов – сложный механический процесс, обеспечивающий равномерное распределение всех компонентов по всему объему смеси. В связи с тем, что на процесс смешивания влияет огромное количество трудно учитываемых факторов, некоторые ученые считают, что процесс смешивания следует рассматривать как стохастический (вероятностный) процесс.

**Анализ последних исследований и выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** В подавляющем большинстве бетоносмесителей современного производства принудительного действия процесс перемешивания преимущественно проходит на средних радиусах чаши. Это обусловлено их конструкцией (расположением и формой лопастей). Таким образом возникает проблема «мертвых зон» – то есть зоны объема чаши, на которых смешивание не происходит, или происходит со значительно меньшей интенсивностью, по сравнению с основными объемами работы лопастей.

В отечественных смесительных машинах и установках для решения проблемы «мертвых зон» устанавливают скребки, которые постоянно направляют часть бетонной смеси ближе к средним радиусам чаши. Но все же полностью этот негативный фактор неравномерного перемешивания преодолеть не удастся.

**Формулировка целей статьи.** Следовательно, есть необходимость совершенствования конструкции бетоносмесителей принудительного действия таким образом, чтобы процесс перемешивания происходил равномерно, что бы в свою очередь

обусловило изготовление более качественного раствора и уменьшило бы потери мощности на перемешивание.

**Изложение основного материала.** Для лучшего понимания этой проблемы математически проанализируем неравномерность распределения работы лопастей на всех радиусах чаши современных бетоносмесителей. Для этого условно разбиваем радиус чаши на 20 интервалов, и математически проанализируем сколько раз на каждом из них проходит перемешивающая лопасть или скребок за одну единицу времени. Полученные данные запишем в таблицу 1 и построим график, который будет отображать этот процесс на рисунке 1.

Таблица 1 – Данные расчета количества проходов рабочих органов бетоносмесителя на условных участках чаши установки.

Условный участок радиуса чаши	Примерное количество проходов составляющей за одну минуту на соответствующем участке					Сводное количество проходов смесительных лопастей и скребков в минуту
	Скребок(1)	Пара лопастей (1)	Пара лопастей (2)	Пара лопастей (3)	Скребок (2)	
1	16	32	0	0	0	48
2	16	35	0	0	0	51
3	16	39	0	0	0	55
4	16	43	32	0	0	91
5	16	48	35	0	0	99
6	16	54	39	0	0	109
7	16	60	43	0	0	119
8	16	54	48	0	0	118
9	0	48	54	32	0	134
10	0	43	60	35	0	138
11	0	39	60	39	0	138
12	0	35	60	43	0	138
13	0	32	54	48	0	134
14	0	0	48	54	16	118
15	0	0	43	60	16	119
16	0	0	39	54	16	109
17	0	0	35	48	16	99
18	0	0	32	43	16	91
19	0	0	0	39	16	55
20	0	0	0	35	16	51
21	0	0	0	32	16	48

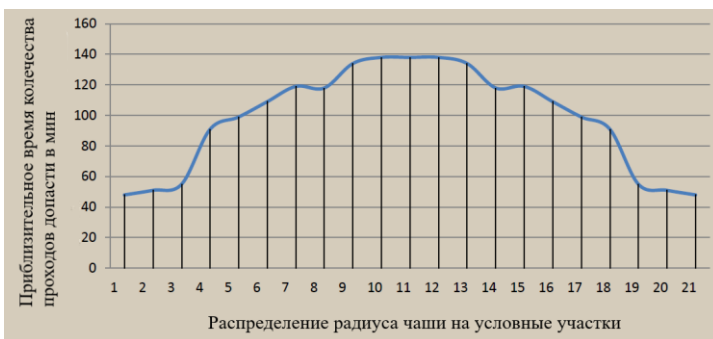


Рис. 1 График распределения работы лопастей и скребков бетоносмесителя по радиусу чаши

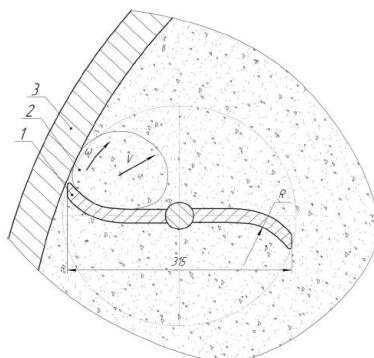


Рис. 2 Схема работы предложенной лопатки  
 1-проектируемая лопасть; 2 – условное скопление бетона; 3 – стенка чаши смесителя;  $V$  – вектор скорости условного скопления бетона;  $\omega$  – угловая скорость движения пары лопастей;  $R$ -радиус кривизны лопатки.

После построения графика и выполнения расчетов, можем убедиться, что рабочие органе смесительных установок работают неравномерно, поэтому нами предложено выполнять лопасти, находящиеся на крайних радиусах бетоносмесителя, сложной геометрической формы, как изображено на рисунке 2. благодаря таким геометрическим характеристикам часть бетонного раствора будет направляться к средним радиусам чаши, в которых перемешивание выполняется более интенсивно. С уменьшением радиуса кривизны до некоторой величины будет увеличиваться объем бетонной смеси, перемещаемой к средним радиусам работы рабочих органов, но в то же время повлечет увеличение сопротивления движению смеси и увеличение скольжения смеси по лопасти.



Применение приведенной выше конструкции лопасти бетоносмесителя обусловит следующее: часть бетонного раствора будет направляться к средним радиусам чаши, в которых, как показал математический анализ, перемешивание выполняется более интенсивно, что в свою очередь улучшит качество бетонной смеси и уменьшит потери мощности на приготовление бетона.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орехова Т.Н., Раков А.М., Качаев А.Е., Аналитические исследования процесса сепарации частиц в дизинтеграторе. Энергоресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях. Материалы международной научно-практической конференции. Белгород, 2022. С. 148-156.

2. Евстифеев В.Н. Гидравлические местные сопротивления при движении бетонных смесей и строительных растворов по трубопроводам / В.Н. Евстифеев, Г.М. Батарина // Строительные и дорожные машины. – 1978. – № 4. – С. 28–29.

3. Шестаков Ю.Г., Стрыжаков С.Д., Орехова Т.Н., «Сухие строительные смеси». Наука и инновации в строительстве. БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 360-364.

4. Гоberman Л.А Степанян К.В. Теория, конструкция и расчёт строительных и дорожных машин: учебник для техникумов по специальностям «Строительные машины и оборудование» и «Дорожные машины и оборудование» Под ред. Гоberman Л.А. – М.: Машиностроение, 1979. С. 320-407.

5. Сергеев В.П. Строительные машины и оборудование: Учеб. для вузов по спец. «Строит. машины и оборудование». – М.: Высш. шк., 1987. С. 300-376.

**УДК 675.92.052.33**

*Таволжанский М.Р., Пономаренко Л.Д.*

*Научный руководитель: Орехова Т.Н., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ДВУХМАТРИЧНЫЙ ГРАНУЛЯТОР

Развитие промышленности и жизнедеятельность людей напрямую зависят от традиционных видов топлива, основные из них это нефть, газ и уголь.

Основной альтернативой, которая способна уменьшить использование этих источников энергии является растительная биомасса. Ее изготавливают из органических остатков сельского хозяйства, лесоперерабатывающей промышленности. Кроме это использование биомассы безопасно для окружающей среды и здоровье человека.

Отметим, что биомасса нуждается в разработке новых технологий переработки на топливо. В этой статье представлен анализ применения двухматричного пресс-гранулятора для производства пеллет из органического сырья.

Предложена методика расчета основных конструктивных параметров пресс-гранулятора, обоснованы конструктивные особенности конструкции.

Основной особенностью предложенного двухматричного пресс-гранулятора есть снижение металлоемкости оборудования и повышения производительности технологического процесса пеллетирования отходов строительной продукции путем размещения двух матриц на одной опорной плите, таким образом, чтобы рабочая зона пеллетирования находилась между ними, а прессовочные ролики равномерно поочередно запрессовывали органическое сырье в отверстия фильеры обеих матриц.

Вследствие проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, спроектирован новый двухматрический пресс-гранулятор, что может использоваться, как и в стационарных установках, так и в мобильных комбайнах для пеллетирования соломы в поле.

### **Постановка проблемы**

Улучшение существующих и разработка новых пресс-грануляторов направлена на улучшение конструктивно-технологических параметров машины, а именно: повышение производительности, уменьшение металлоемкости и энергозатратности, оптимизация безотказного ресурса.

Наиболее распространенные на рынке Украины грануляторы двух типов с горизонтальной и кольцевыми матрицами.

Анализируя работу этих грануляторов можно сделать следующие выводы повышение производительности возможна только при условии увеличения габаритных размеров и скорости вращения прессовочных роликов.

В то же время использование двухматричного пресс-гранулятора позволит обеспечить аналогичную производительность машины при

таких же технологических параметрах, но меньших габаритных размерах.

### **Цель исследований**

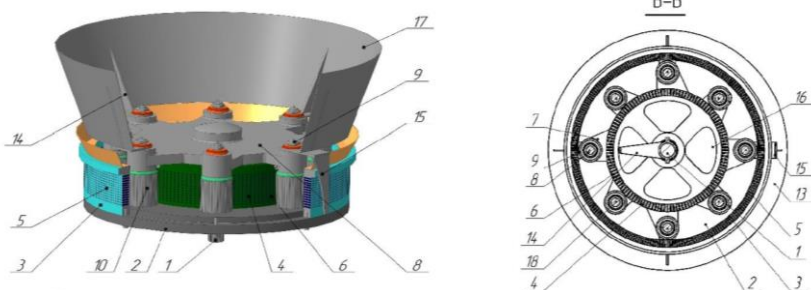
В данной статье поставлена задача повышения эффективности технологического процесса изготовления пеллет при условии уменьшения металлоемкости конструктивных элементов пресс-гранулятора, путем размещение двух пеллетных матриц на одной опорной плите с образованием рабочей зоны пеллетирования между ними.

### **Результаты исследований**

Итак, проанализировав типы известных пресс-грануляторов, мы предлагаем следующую конструкцию двухматричного пресс-гранулятора кольцевого типа (рис. 1).

Предлагаемый двухматричный пресс-гранулятор кольцевого типа при относительно небольших габаритных размерах, является высокопроизводительным устройством для производства пеллет из органического сырья. Он может использоваться, как и в стационарных установках, так и в мобильных комбайнах для пеллетирование соломы в поле.

Принцип работы. Крутящий момент от двигателя за посредством ременной передачи передается на ведущий вал 1., который крепится на подшипниковых узлах 20. Которые в свою очередь закреплены на опорные плите 2. и диске жесткости, внутренней матрицы 7. Далее крутящий момент передается через водило 8., которое в свою очередь жестко закреплено в верхней части приводного вала 1.на шлицевом соединении.



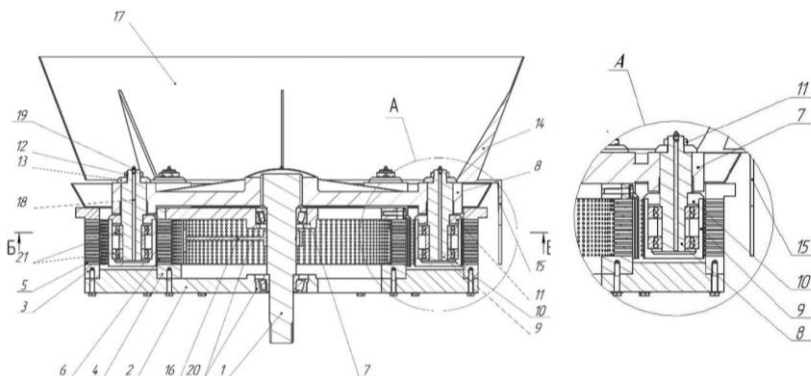


Рис. 1 Общий вид двухматричного пресс-гранулятор:

1 - ведущий вал, 2 - плита опорная, 3- внешняя матрица, 4 - внутренняя матрица, 5 - отверстия-фильтры внешней матрицы, 6 - отверстия-фильтры внутренне матрицы, 7 - Диск жесткости, внутренней матрицы, 8 - Водило, 9 - эксцентрические валы, 10 - прессовочные ролики, 11 - уплотняющая пластина, 12 - Гайка, 13 - Шайба, 14 - Ребро жесткости, 15 - нож внешней матрицы, 16 - нож внутренней матрицы, 17 - желоб, 18 - отверстие для смазки роликов, 19 - масленка, 20, 21. подшипниковые узлы.

Далее через водило крутящий момент передается к прессовочным роликам 11, которые представляют собой пустотелый стакан нижняя часть которого закрыта. Данные ролики свободно вращаются на подшипниковых узлах 21, которые в свою очередь посажены на эксцентриковых валах 9., которые жестко закреплены к водилу на шлицевых соединениях. Такое соединение позволяет перемещая в пазах ПО, или против часовой стрелки относительно основной оси, изменять зазор между роликами и внешней 3., или внутренней матрицей 4. в зависимости к которой данный ролик должен прилегать. После выхода пресс-гранулятора в рабочий режим в желоб 17 и в рабочую зону и подается подготовленная органическое сырье из которого будут изготавливаться пеллеты. Ролики, которые свободно вращаются на эксцентриковых валах прижимают к стенкам внешней и внутренней матриц с отверстиями-фильтрами 5 и 6. Таким образом порция сырья попадает в отверстия-фильтры проталкивает предварительно запрессованное сырье, которое удерживается у них благодаря силе трения, которая образуется между стенками проема-фильтры и касательной к ним органической массой. Вследствие увеличения давления в отверстия-фильтры органическое сырье уплотняется и нагревается вследствие чего вязущие вещества (лигнин, пектин, или другие дополнительно внесенные вещества), которые содержащиеся во

входном сырье нагреваются и пластифицируются тем самым фиксируют вокруг себя частицы входного сырья. Благодаря уплотнению плотность запрессованной органической массы увеличивается до 1000-1400 кг/м<sup>3</sup> при температуре 80-100 °С. После выхода из отверстия-фильтры пеллета в последствие испарение внутренней влаги, содержащейся в пеллете стремительно охлаждается до 20-40 °С. Благодаря этом вязущие вещества полимеризуются сохраняя плотность пеллет в пределах 1000-1200 кг/м<sup>3</sup>. Благодаря ножам внутренней и внешней матриц 15 и 16 готовы пеллеты обламываются на заданную длину и попадают в транспортное русло для дальнейшей сепарации, охлаждение.

Анализируя конструктивные особенности данного двухматричного пресс-гранулятора видим, что в конструкции его представляют собой две матрицы внешняя и внутренняя, которые жестко крепятся к напорной плите. Причем ролики внешней матрицы запрессовывают сырье из внутренней стороны матрицы, а ролики внутренней матрицы запрессовывают с внешней. Поэтому при расчета силовых характеристик следует рассчитывать мощности на привод каждой из матриц отдельно после чего суммируя их.

Условие захвата материала прессовочными роликами можем записать следующим образом:

$$tg\varphi \geq tg\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_n\right), \text{ или } \varphi \geq \frac{\pi}{2} - \alpha_n, \quad (1)$$

откуда начальный угол  $\alpha_n$  (рис. 3) можем определить на основании выражения

$$\alpha_n = \frac{\pi}{2} - \varphi, \quad (2)$$

где  $\varphi$  - угол трения. Отметим, что не вся спрессованная масса при плотности  $\gamma_{max}$ , проталкивается роликами в отверстия, а распределяется внутри, снаружи внутреннего кольца слоем толщиной

$$h_k = h_{min} + \Delta h, \quad (3)$$

где  $\Delta h$  -увеличение толщины слоя массы, спрессованной к плотности  $\gamma_{max}$ , за счет упругого восстановления. Поэтому этот слой массы, вновь поступающий в камеры в этом случае

$$h_n = h_o + h_k, \quad (4)$$

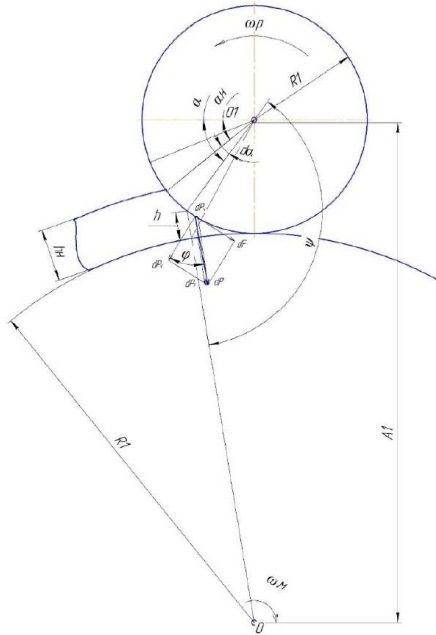


Рис. 2 Схема сжатия материалов роликами (Внутренняя матрица)

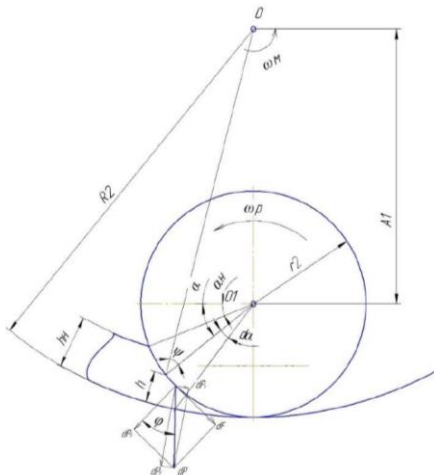


Рис. 3 Схема сжатия материалов роликами (Внешняя матрица)

Таким образом, мы получим две зоны: сжатие и восстановление.

В результате проведенного анализа предложена новая конструкция двухматричного пресс-гранулятора. Основной особенностью предлагается:

1. снижение металлоемкости оборудования и повышение производительности технологического процесса пеллетирования отходов строительной продукции путем размещения двух матриц на одной опорной плите, таким образом, чтобы рабочая зона пеллетирования находилась между ними, а прессовальные ролики равномерно поочередно запрессовывали сырье в отверстия фильеры обеих матриц.

2. исследовано что энергетические затраты на технологический процесс пеллетирования сырья (цементной пыли) находятся в таких же пределах, как у существующих пресс-грануляторов с кольцевой матрицей соответствующей производительностью, а геометрические размеры значительно меньше.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Братишко В. В. механико-технологические основы приготовления полнорационных комбикормов винтовыми грануляторами: дис. д-ра техн. наук: 05.05.11. Глевах: 2017. 322 с.

2. Двухматричный пресс-гранулятор: пат. 120457 Украина: МПК (2006), A01D 89/00, A01F 17/00, B02C 18/08 (2006.01), B29C 48/32 (2019.01), B30B 9/20 (2006.01), Заявл. 19.12.2017, Опубли. 10.12.2019, бюл. № 23

3. Клименко В. В., Кравченко В. И., Боков В. М., Гуцал В. И. технологические основы изготовления биотоплива из растительных отходов и их композитов: монография. ЧП "ЭКСКЛЮЗИВ-Систем". 2017.162 С.

4. Назаренко И., Дедов О., Берник И., Роговский И., Бондаренко А., Запривода А., Титова Л. Исследование стабильности режимов и параметров движения вибрационных машин технологического назначения. Восточноевропейский журнал корпоративных технологий. 2020. Том 6 (7-108). С. 71-79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.

5. Орехова Т.Н., Раков А.М., Качаев А.Е., Аналитические исследования процесса сепарации частиц в дизинтеграторе. Энергоресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях. Материалы международной научно-практической конференции. Белгород, 2022. С. 148-156.

*Ханина Е.Г.*

*Научный руководитель: Богданов В.С., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ СМЕШИВАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СОСТОЯНИЕ СМЕСИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЛОПАСТНОМ СМЕСИТЕЛЕ**

Лопастные горизонтальные смесители используются на различных промышленных производствах для приготовления двух и многокомпонентных смесей в пластическом и сухом состояниях. Выбор этих машин для применения в технологических комплексах основывается на конструктивной простоте, возможности реализовывать автоматизированный, достаточно качественный процесс смешивания с высокой производительностью [1]. Постоянно повышающиеся требования к степени однородности смесей, связанные с конъюнктурой рынка, обуславливают необходимость эволюционного совершенствования смесителей. Их конструктивной и технологической модернизации уделяется много внимания и количество различных технических предложений характеризует ее возможности улучшения характеристик машин.

Большая группа технических решений относится к конструктивным изменениям рабочих органов. Геометрическое исполнение лопастей соответствующим образом обеспечивает формирование в смешиваемой среде групп частиц, ориентирует их перемещение по определенным траекториям. Автором работы [2] установлено, что перемещающаяся в смешиваемой среде лопасть образует перед собой уплотнение частиц, сечение которого похоже на часть эллипса (Рис. 1). Причем, образование уплотнения начинается при превышении значения угла установки лопасти к плоскости, перпендикулярной к продольным осям валов,  $\beta=25^\circ$  и при увеличении этого угла происходит ее увеличение. Находящиеся в этой уплотненной области частицы имеют меньшие значения скоростей, чем взаимодействующие с ней частицы смешиваемой среды. Вращательное движение лопастей обеспечивает вдавливание уплотняемых областей частиц в смешиваемую среду.

Авторы работы [3] предлагают конструктивное исполнение рабочих органов смесителя в виде лопастей с дистанционно расположенными перед их поверхностями, взаимодействующими со



смешиваемой средой, стержневыми элементами, продольные оси которых параллельны указанным поверхностям (Рис. 2).

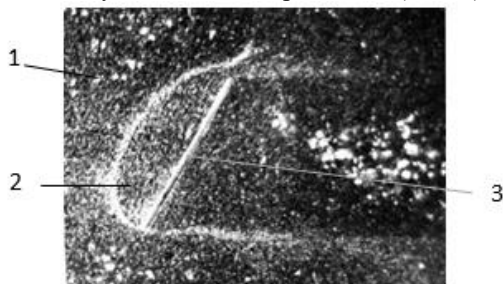


Рис. 1 Фотография смешиваемой среды с лопастью и уплотненной областью частиц: 1 – смешиваемая среда, 2 - уплотненная область частиц, 3 – лопасть

Удаление стержневых элементов от поверхности лопасти зависит от максимальных размеров частиц смешиваемых материалов. По мнению авторов на смешиваемую среду осуществляется комплексное воздействие лопастью и расположенными перед ней стержневыми элементами.

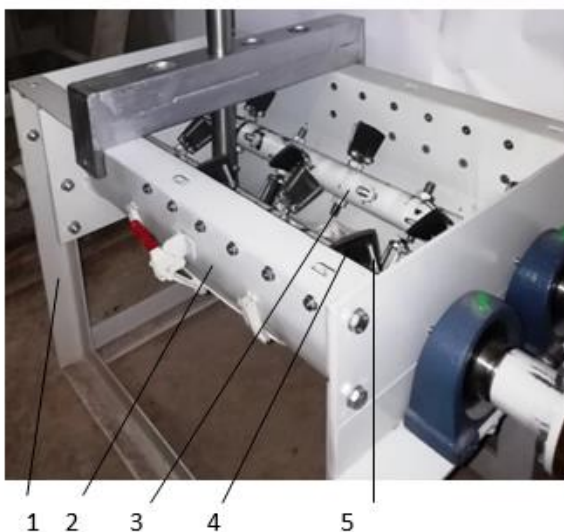


Рис. 2 Смеситель со стержневыми элементами перед лопастями: 1 – рама, 2 – корпус, 3 – вал, 4 – лопасть, 5 – стержневой элемент

Происходят деформирование уплотненной области частиц и ее разрыхление, приводящие к изменению относительных скоростей частиц, разделение уплотненной области на перемещающиеся друг относительно друга части.

Авторы работы [4] для изменения воздействия на расположенные перед лопастями уплотненные области частиц предлагают выполнение в лопастях щелевых сквозных отверстий. Эти отверстия располагаются на концентрических окружностях, эквидистантных продольным осям лопастных валов, на которых они расположены (Рис. 3).

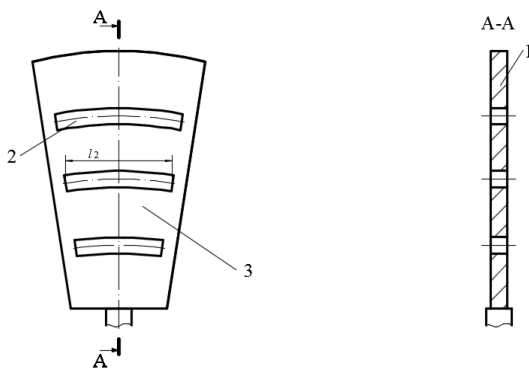


Рис. 3 Схема лопасти:

1 – лопасть; 2 – щелевое отверстие; 3 – промежутки между отверстиями

Отверстия разделяют уплотненную область частиц на части, которые располагаются на промежутках лопасти, находящихся между отверстиями. Частицы уплотненной области, расположенные перед щелевыми отверстиями, при вращательном движении лопасти перемещаются через эти отверстия. Это повышает эффективность процесса смешивания.

Рассмотренные особенности воздействия смешивающих элементов на смешиваемую среду в зависимости от их конструктивного исполнения свидетельствуют о возможности совершенствования процесса смешивания.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дёмин О. В. Интенсификация смешивания сыпучих материалов в лопастном смесителе / О. В. Дёмин, В. Ф. Першин, Д. О. Смолин // Химия и химическая технология. 2012. №8. С. 108–111.

2. Пулин В. П. Повышение энергетической эффективности бетоносмесителей цикличного принудительного действия: дис... канд. техн. наук: 05.02.16 / Пулин Вениамин Павлович. – Днепропетровск, 1984. – 174 с.

3. Ханин С. И. Исследование изменения концентрации ключевого компонента сухой смеси в горизонтальном лопастном смесителе с цилиндрическими стержнями / С. И. Ханин, В. П. Воронов, Н. О. Кикин, О. С. Мордовская. // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2022. №. 2. С. 94–101. Doi.org/10.34031/2071-7318-2021-7-2-94-101

4. Пат. 210799, Российская Федерация, МПК В28С 5/14. Лопастной смеситель материалов / С. И. Ханин, О. С. Мордовская, В. С. Богданов, Е. Г. Ханина; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «БГТУ им. В.Г. Шухова». №2021137973, заявл. 21.12.2021; опубл.05.05.2022, Бюл. № 13

## УДК 621.8

*Чекушкин Д.Г.*

*Научный руководитель Юдин К.А., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## УКЛАДКА И РАЗБОР МАТЕРИАЛА В РАДИАЛЬНОМ СТАКЕР-РЕКЛАЙМЕРЕ

Широкий спектр задач по складированию материалов предполагает оптимизацию работы усреднительных складов.

Эффективным агрегатом для решения этой проблемы является стакер-реклаймер (stacker-reclaimer). Комбинация двух функционалов стакера и реклаймера для хранения, транспортировки и гомогенизации материалов дает большие преимущества. Поэтому локализация и применимость их – на заводах промышленности строительных материалов и химической индустрии, в тепловых и угольных электростанциях, коксогазовых заводах, металлургии и портовых терминалах.

На данный момент активно применяют следующие разновидности стакер-реклаймеров: продольные, роторные и радиальные.

В процессе производства цемента стало стандартной практикой хранение различных комковатых сырьевых материалов (например, известняк) в одно- или многокомпонентных усреднительных складах. Круговые усреднительные склады обеспечивают рациональное

размещение материала по отношению к производственной площади. Эффективность применения стакера-реклаймера радиального типа для таких складов повышается при размещении в крытом сооружении (саркофаг). Схема такого радиального стакера-реклаймера представлена на рис. 1.

Функцией реклаймера является забор и смешивание (усреднение) материала из многослойного штабеля, сформированного укладчиком (стакером) и его подача на складской конвейер.



Рис. 1 Схема радиального стакера-реклаймера

Среди технических параметров радиальных стакера-реклаймеров можно выделить: производительность (от 50 т/ч до 2000 т/ч); диаметр круглого склада (от 50м до 150м); скорость хода реклаймера – от 0.004 до 0.04м/мин; скорость передвижения ходовой телеги–10.5м/мин; скорость подъема материала скребком –0.5м/с; скорость захвата материала – 10м/мин.

Основным параметром для оценки эффективности процесса усреднения сырья реклаймером является коэффициент его усреднения. Под коэффициентом усреднения подразумевается отношение среднеквадратических отклонений показателей качества сырья до и после его гомогенизации реклаймером.

Наиболее высокий коэффициент усреднения сырья достигается при использовании мостового скребкового реклаймера.

После формирования стакером штабеля начинается процесс его разбора. Разбор с усреднением осуществляется с торца штабеля либо по его продольной плоскости специальным заборщиком (реклаймером). В зависимости от вида и свойств сырья реклаймер может быть мостовым

либо порталным, с продольной или поперечной стрелой (стрелами), скребковым или ковшовым, с цепным конвейером или роторным колесом, с конвейерной скребковой системой.

Предпочтительно формирование шевронной укладки (Chevron). Шевронный метод приводит к сегрегации материала, когда мелкие частицы находятся в центральной части штабеля, а крупные на поверхности – и в нижней части кучи. Для обеспечения лучшего смешивания необходимо разбирать штабель с лицевой стороны по всему поперечному сечению.

Так как забор такие реклаймеры осуществляют только в самой нижней части склада (по так называемой «подошве»), на их мосту всегда устанавливается подвижная тележка с установленными на ней активными боронами (рис.2), осуществляющими равномерное обрушение всего среза штабеля вниз, к непрерывно движущимся скребкам.



Рис. 2 Активная (сгребающая) борона

В консольных цепных реклаймерах используется стропильная система, которая соединяется с футеровкой, а затем с цепью. Эта цепь привинчивается к желобу подъема и прикрепляется к реклаймеру. Затем угол этой стрелы устанавливается с помощью тросовой лебедки и поддерживается с помощью тросовой системы. С тросом стрелу можно немного опустить во время каждого цикла разгрузки. Эта цепная система создает эффект выталкивания и вытягивания, который позволяет собирать любой сыпучий материал и перемещать его к краю утилизированной кучи. После сбора сыпучий материал поднимают и перемещают для дальнейшей обработки.

Возможно варьировать конструкцией бороны (рис.3). Например, предлагается несколько вариантов раскладки зубьев. Кроме того, предлагается изменять длину зубьев в зависимости от особенностей сформированного шеврона.

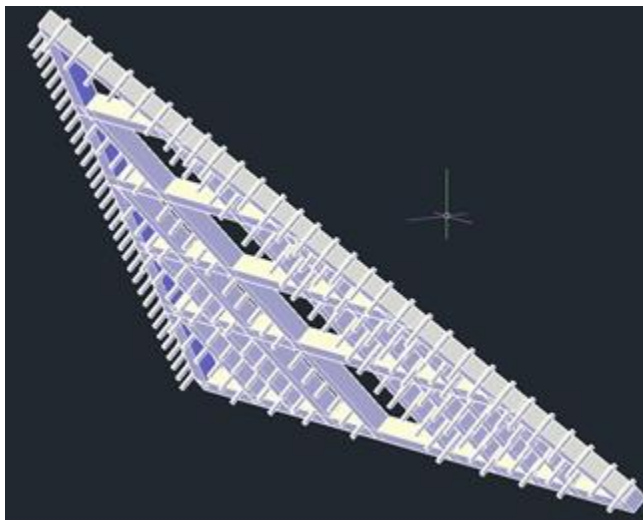


Рис. 3 Вариант бороны

Комбинированное оборудование для отсыпки в отвал и обратной транспортировки позволяет осуществлять различные виды работ и эффективно использовать складские площадки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В.С., Шарапов Р.Р., Фадин Ю.М., Семикопенко И.А., Несмеянов Н.П., Герасименко В.Б.: Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий: учебник. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 680 с.
2. Юдин К.А., Чекушкин Д.Г. Усреднение материалов в радиальном стакер-реклаймере// XVI Международная научно-практическая конференция «Молодежь и научно-технический прогресс» направление: Современные технологии строительства и производства строительных материалов, изделий и конструкций, Губкин, апрель 2023 С.294-297.
3. Юдин К.А. Костин А.С. Радиальный стакер-реклаймер как основное оборудование для усреднения сыпучих материалов.

Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст./под ред. В.С. Богданова. - Белгород, 2018. С.422-426.

4. <http://cement-plants.ru/1-4-3-bridge-reclaimer.html>
5. [www.proakonit.ru](http://www.proakonit.ru)