

## ШАРОШЕЧНЫЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ ОТХОДОВ

А.М. Гонопольский<sup>1</sup>, Е.В. Зинякина<sup>2</sup>, Т.В. Денисова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, г. Москва*

<sup>2</sup> *Московский политехнический университет, г. Москва*

Органические отходы относятся к числу биологических отходов, и их обезвреживание является одной из актуальных проблем обеспечения экологической безопасности населения. Использование измельчителей отходов снижает количество поступающих на полигоны для захоронения и на переработку органических отходов путем их непосредственного удаления из мест образования по канализационным сетям. На основании результатов экспериментальных исследований технологии переработки органических отходов в местах их образования, была разработана и исследована новая конструкция измельчителя отходов с шарошечным устройством. Задачей шарошечного измельчителя отходов является повышение производительности устройства путём создания новой конструкции измельчающего механизма, обладающего регулярной шероховатостью на поверхности, позволяющей измельчать более широкий перечень видов перерабатываемых органических отходов и расширение области применения данного измельчителя в таких областях, как сельское хозяйство. В работе было проведено исследование эксплуатационных и прочностных характеристик измельчителей, по результатам которого была определена зависимость крупности фракций дробленых отходов от мощности двигателя измельчителя для различных видов перерабатываемых отходов. Полученные результаты экспериментальных исследований позволяют разработать методику проектирования систем с использованием пульповой переработки органических отходов. Обработка экспериментальных данных методами теории подобия и размерностей позволила получить критериальное соотношение для расчета и проектирования разработанных аппаратов. Анализ влияния действующих факторов при измельчении отходов был проведен путем составления соотношений из безразмерных комплексов на основе методов теории подобия с применением  $\pi$ -теоремы. Погрешность полученных зависимостей по отношению к экспериментальным данным составляет  $\pm 10\%$  во всем диапазоне изменения экспериментальных параметров процесса. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что шарошечный измельчитель отходов позволяет значительно расширить перечень видов перерабатываемых органических отходов по сравнению с серийными аппаратами.

**Ключевые слова:** ТБО, органические отходы, легкая и пищевая промышленность, пульпа, измельчающая шарошка, канализационные сети, настыль, безразмерные комплексы, критериальные соотношения, двухфазное течение.

### Введение

Органические отходы относятся к числу биологических отходов, и их обезвреживание является одной из актуальных проблем обеспечения экологической безопасности населения. В составе твердых коммунальных отходов (ТКО) количество органических отходов колеблется от 21 до 35 % [1] по массе. Соответственно, и затраты на их вывоз и захоронение на полигонах составляют около 1/3 от общих затрат на удаление ТБО [2]. Одним из перспективных способов обращения с органическими отходами является их измельчение в воде до образования пульпы [3, 4] и последующее удаление по канализационным сетям на очистные сооружения для хозяйственно-бытовых стоков. Это позволяет уменьшить и количество отходов, поступающих на полиго-

ны для захоронения [5], и затраты на их транспортировку мусоровозами. Недостатком серийных измельчителей с ножевыми и кулачковыми режущими устройствами [6–8] является: невозможность переработки волокнистых, жировых и пленочных отходов растительного и животного происхождения, крупных костных отходов и т. п., образование настылей в трубопроводах от измельчителя к канализационной сети [9].

**Цель исследования** – получение критериальных соотношений из безразмерных комплексов на основе методов теории подобия для расчета и проектирования шарошечных измельчителей отходов.

### Материалы и методы исследования

Для устранения указанных выше недостатков в работе [10] была предложена новая

## Технологические процессы и оборудование

конструкция измельчителя с шарошечными режущим устройством. В качестве объекта исследования использовали шарошечный измельчитель отходов. Задачей шарошечного измельчителя отходов является повышение производительности устройства путём создания новой конструкции измельчающего механизма, позволяющей измельчать более широкий перечень видов перерабатываемых отходов и расширение области применения данного измельчителя в таких областях как сельское хозяйство.

Шарошечный измельчитель отходов (рис. 1) работает следующим образом. Измельчение осуществляется с подачей воды для всех видов перерабатываемых отходов. Поступающие на измельчение отходы опадают в загрузочный люк 2.

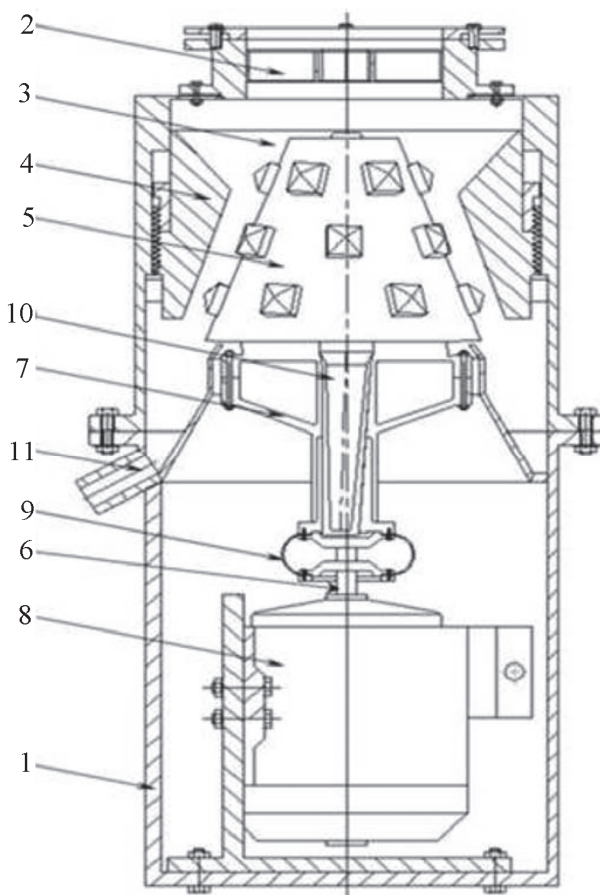


Рис 1. Шарошечный измельчитель отходов (обозначения в тексте)

Далее отходы поступают в рабочую камеру 3, где измельчаются в зазоре (пространстве) между неподвижной наклонной дробящей поверхностью расположенной в её верхней части и выполненной в виде полого конуса 4 и под-

вижной измельчающей шарошки 5, установленной на валу 6 и прикрепленной к неподвижному основанию чаши 7. Шарошка 5 приводится в движение с помощью электродвигателя 8, работающего от электросети (220 В). Кроме того, в устройстве установлен дебаланс 10, выполненный с возможностью саморегулирования угла наклона подвижной измельчающей шарошки 5. На поверхности измельчающего конуса закреплены пирамидальные штифты [10] (рис. 1), улучшающие измельчение поступающих отходов. В результате механического воздействия органические отходы, попадающие в зазор между полым конусом 4 и подвижной измельчающей шарошкой 5, измельчаются до состояния пульпы. Под действием силы тяжести и потока жидкости они выводятся из устройства через разгрузочное отверстие 11 и удаляются из места образования отходов путём сброса в канализацию. Таким образом, предложенная конструкция измельчителя отходов позволяет его использовать не только в быту, но и в других областях, например, в сфере общепита, лёгкой и пищевой промышленности и сельском хозяйстве, выбрав соответствующий типоразмер измельчителя.

Исследования эксплуатационных характеристик измельчителей проводились сериями из 10 опытов с образцами различных отходов массой по 3 кг каждого вида. Были исследованы процессы измельчения для следующих видов отходов: кости крупного рогатого скота с максимальным размером 100–150 мм и размером 50–70 мм, кости мелкого рогатого скота размером 50–70 мм, рыбные кости размером 50–70 мм, шкуро-жировые пленочные отходы, отходы сыроваренной, а также растительных, волокнистых отходов, овощных и фруктовых косточковых отходов.

### Результаты и их обсуждение

Усредненные по 10 опытам результаты экспериментов приведены на рис. 2–8.

Полученные результаты экспериментальных исследований позволяют разработать методику проектирования систем с использованием пульповой переработки органических отходов. При разработке и выборе соответствующего оборудования исходными данными являются физико-механические характеристики органических отходов, их фракционный состав, содержание в них загрязняющих примесей, требования, предъявляемые к качеству сбросов [11] и производительность по готовому продукту. Кроме этих

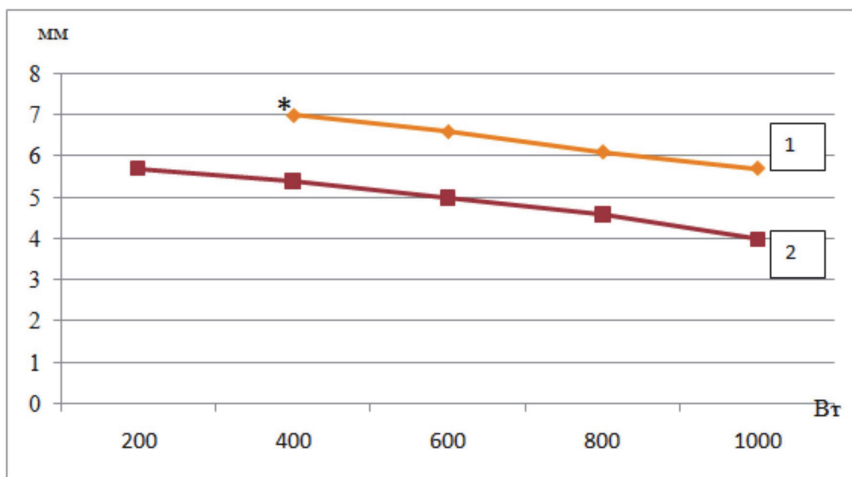


Рис. 2. Зависимость крупности фракций отходов от мощности привода серийного (1) и шарошечного (2) измельчителей для костей крупного рогатого скота с максимальным размером 100–150 мм; \*– невозможно произвести измельчение из-за заклинивания аппарата

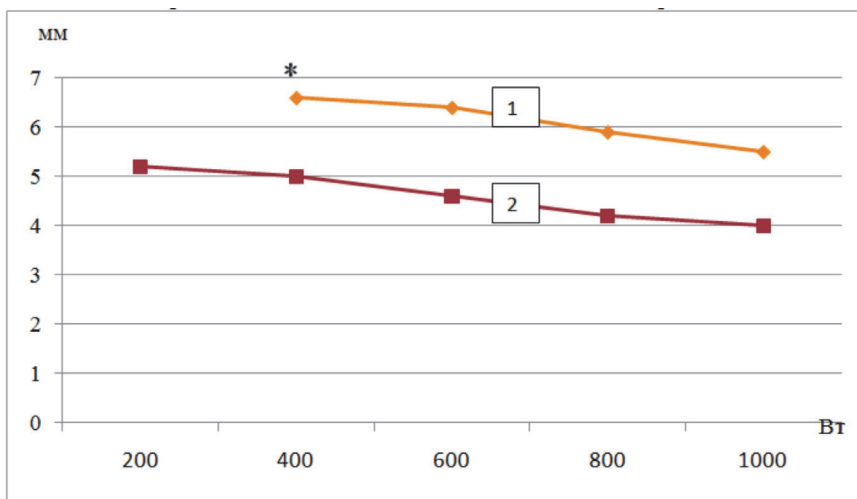


Рис. 3. Зависимость крупности фракций отходов от мощности привода диспозера для костей мелкого рогатого скота размером 50–70 мм серийного (1) и шарошечного (2) измельчителей; \*– невозможно произвести измельчение из-за заклинивания аппарата

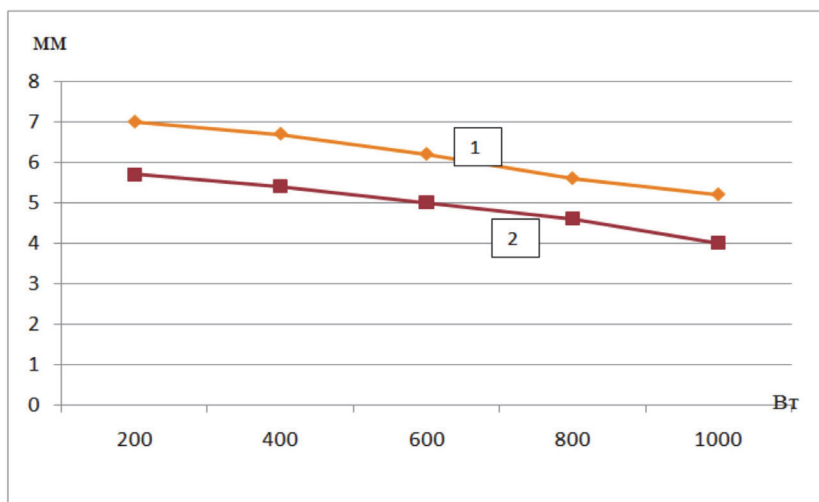


Рис. 4. Зависимость крупности фракций отходов от мощности привода серийного (1) и шарошечного (2) измельчителей для рыбных костей размером 50–70 мм

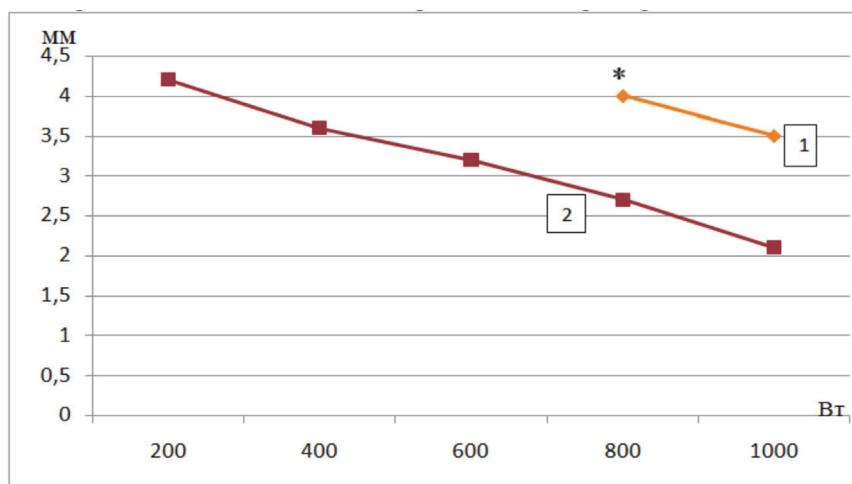


Рис. 5. Зависимость крупности фракций отходов от мощности привода серийного (1) и шарошечного (2) измельчителей для шкуро-жировые компоненты; \* – налипание жира на рабочие части аппарата и остановка двигателя привода

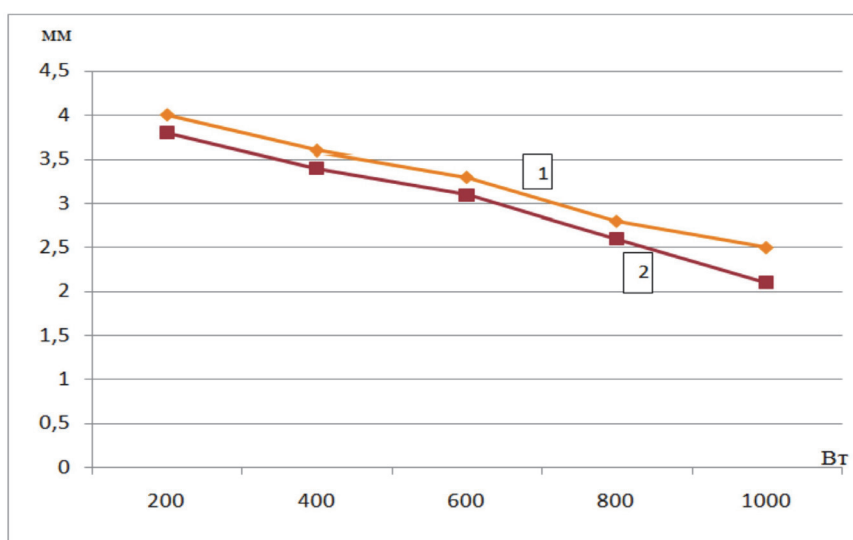


Рис. 6. Зависимость крупности фракций отходов от мощности серийного (1) и шарошечного (2) измельчителей для отходов сыроваренной продукции

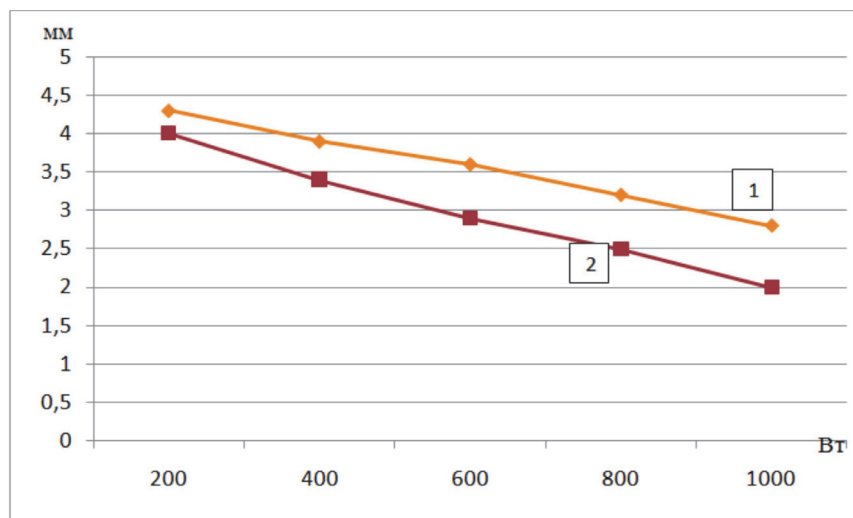


Рис. 7. Зависимость крупности фракций отходов от мощности привода серийного (1) и шарошечного (2) измельчителей для овощных и фруктовых косточковых отходов

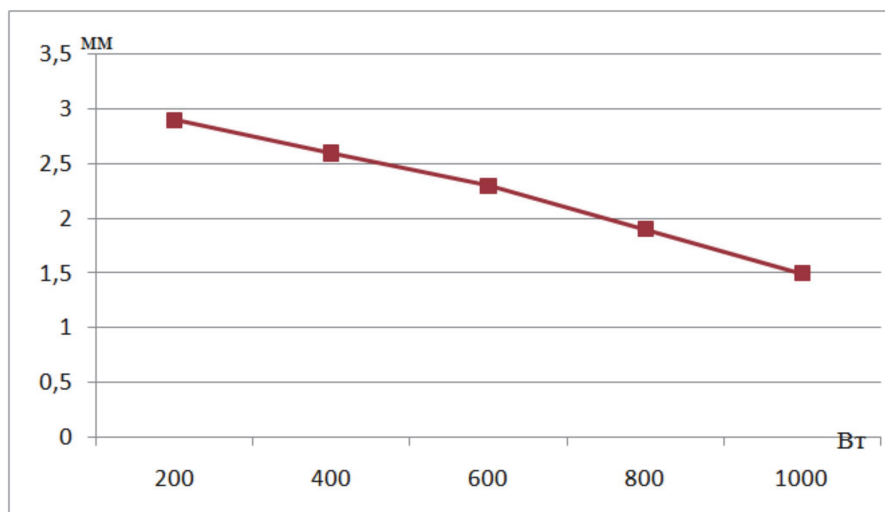


Рис. 8. Зависимость крупности фракций отходов от мощности двигателя измельчителя для плечных отходов. В серийном измельчителе отходов в рассмотренном диапазоне мощностей происходит наматывание материала на рабочие части аппарата и выход его из строя

требований могут быть заданы дополнительные условия, связанные с конкретными особенностями создаваемой модели. В частности, если разрабатываемая технологическая линия привязывается к основному производству, т. е. к действующему предприятию, например, по переработке мясной продукции, создавая, тем самым, безотходные или малоотходные производство за счет включения отходов основного производства в технологический цикл предприятия, то для проектируемой линии предпочтителен выбор оборудования с большими мощностями и скоростью переработки отходов производства.

Анализ влияния действующих факторов при измельчении отходов проведем путем составления соотношений из безразмерных комплексов на основе методов теории подобия с применением  $\pi$ -теоремы [12]. Учитывая сложность получения критериальных соотношений, в данной работе методы теории подобия и размерностей были дополнены методами регрессионного анализа, так как это было предложено в работах [13, 14]. Программная обработка экспериментальных данных позволила получить набор значимых безразмерных параметров, сконструированных из числа измеряемых величин, табличных и литературных данных:

$$\Pi_1 = \frac{\Delta C}{C_H}$$
 – эффективность дробления отходов, где  $C_H$  – измеряемый средний линей-

ный размер частиц перед дроблением,  $\Delta C$  – измеряемая разница между начальным и конечным средним линейным размером частиц перед дроблением и после него  $C_K$ ;

$$\Pi_2 = \frac{\rho \cdot \omega^2}{\Delta P}$$
 – критерий Эйлера  $Eu$ , пока-

зывает отношение сил давления в потоке воды к силам инерции;

$$\Pi_3 = \frac{\rho \cdot \omega \cdot D}{\mu}$$
 – критерий Рейнольдса

$Re_w$ , показывает отношение сил инерции к силам трения потока воды;  $D$  – средний диаметр рабочей камеры шарошечной дробилки;

$$\Pi_4 = \frac{\rho \cdot \omega \cdot d}{\mu}$$
 – критерий Рейнольдса  $Re_p$ ,

показывает отношение сил инерции к силам трения для средней по размерам частицы, диаметром  $d$ , в камере измельчителя;

$$\Pi_5 = \frac{\Delta \rho \cdot g \cdot d}{v^2 \rho}$$
 – критерий Ричардсона  $Ri$ ,

показывает отношение потенциальной энергии частиц отходов, погружённых в воду к их кинетической энергии в камере измельчения; где  $\rho$  – усредненная плотность частиц отходов;  $\Delta \rho$  – разность плотностей частиц и воды;  $g$  – ускорение свободного падения;  $d$  – характерный средний размер частицы в камере измельчения;  $v$  – характерная скорость частиц в камере измельчения. Как известно, для значений  $Ri$ , меньших 1, сила Архимеда не играет

существенной роли для двухфазного течения, а при  $Ri$ , больших 1, сила плавучести доминирует, в том смысле, что конвективного расщепления среды не происходит.

Порогом значимости любого комплекса была выбрана величина  $10^{-3}$ , т. е.  $P_i > 10^{-3}$  считались значимыми членами линейного регрессионного уравнения.

Обработка экспериментальных данных, в форме безразмерных комплексов, по описанной методике, использованной для аналогичных задач в работах [13, 14], дала соотношение:

$$\Phi = 0,352 \cdot Eu^{0,17} \cdot Ri^{0,33} \cdot Re_p^{0,25} \cdot Re_w^{0,25}, \quad (1)$$

где  $\Phi = (C_H - C_K)/C_H \equiv P_1$ .

Диапазоны изменения безразмерных комплексов составляли:

$\Phi$  = от 0,7 до 0,97;  $Eu$  = от 0,004 до 4,15;  
 $Re_w$  = от  $1,6 \cdot 10^{-6}$  до  $9,7 \cdot 10^{-5}$ ;  $Re_p$  = от  $1,6 \cdot 10^{-6}$  до  $9,7 \cdot 10^{-5}$ ;  $Ri$  = от 0,1 до 2,06.

Погрешность соотношения (1) по отношению к экспериментальным данным, изложенным выше, составляет  $\pm 10\%$  во всем диапазоне изменения экспериментальных параметров процесса.

### Заключение

Из результатов экспериментальных исследований шарошечного измельчителя отходов в местах их образования и свойств, получаемой в процессе измельчения различных видов отходов пульпы следует, что шарошечный измельчитель отходов позволяет значительно расширить перечень видов перерабатываемых органических отходов, по сравнению с серийными аппаратами. Полученные результаты были отмечены Фондом Содействия Инновациям в финале программы «Умник» [15].

### Литература

1. Экология Москвы и устойчивое развитие: метод. пособие для учителя / Г.А. Ягодин, М.В. Аргунова, Д.В. Моргун, Т.А. Плюснина. – М.: Школьная книга, 2008. – 96 с.

2. Бычковский И.В. Методические рекомендации по формированию тарифов на услуги по уничтожению, утилизации и захоронению твердых бытовых отходов / И.В. Бычковский, И.Г. Минц, Н.П. Киркоровая. – М.: ГосИздат, 2003. – 43 с.

3. Marashlian, N. Effect of food waste disposers on municipal solid waste and wastewater management / N. Marashlian, E.F. Mutasem //

Waste Management & Research – 2005. – № 23 (1). – P. 20–31.

4. Bolzonella, D. The under sink garbage grinder: a friendly technology for the environment / D. Bolzonella, P. Pavan, P. Battistoni, F. Cecchi // Environmental Technology. – 2003. – № 24 (3). – P. 349–359.

5. Application of food waste disposers and alternate cycles process in small decentralised towns: a case study / D. Bolzonella, P. Battistoni, F. Fatone, D. Passacantando // Water Research. – 2007. – № 41 (4). – P. 893–903.

6. Food waste disposer shredder assembly: pat. 7360729 United States: Scott W Anderson, Steven P Hanson, Joseph G Farmerie, James R Patterson; заявитель и патентообладатель Emerson Electric Co. Appl. No.: 10/908,056; заявл. 26 04 2005; опублик. 22 04 2008. – 12 p.

7. Water recycling food waste disposer system: pat. US7963469 United States: Steven P. Hanson; заявитель и патентообладатель Emerson Electric Co. Appl. No.: US 12/028,855; заявл. 13 02 2007; опублик. 21 06 2011. – 15 p.

8. Grinding disk for food waste disposer: pat. US20130277475 A1 United States: Huaxun Ma, Lei Sun; заявитель и патентообладатель Zhang Zhou Sunwise Environmental Protection Co. Appl. No.: US 13/880,165; заявл. 4 11 2011; опублик. 24 10 2013, – 6 p.

9. Гонопольский, А.М. Исследование конструктивных параметров шарошечного измельчителя пищевых отходов / А.М. Гонопольский, Е.В. Зинякина // Вестник РАЕН – 2016. – № 1. – С. 71–75.

10. Бытовой измельчитель пищевых отходов: заявка пат. 2015138407 Рос. Федерация: МПК ВО2С/00 / А.М. Гонопольский, Е.В. Зинякина; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Московский политехнический университет». – № 2015138407/13; заявл. 09.09.2015

11. Наладка и эксплуатация очистных сооружений городской канализации / М.А. Эль и др. – М.: Стройиздат, 1977. – 232 с.

12. Гухман, А.А. Введение в теорию подобия / А.А. Гухман. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1973. – 296 с.

13. Елин, Е.Н. Принцип подобия сельскохозяйственных предприятий экологическим системам природы / Е.Н. Елин // Достижения науки и техники АПК. – 2002. – № 5. – С. 24–29.

14. Ладыгин, К.В. Технология ультразвуковой очистки обратноосмотических мембран при обезвреживании фильтрата полиго-

нов твердых бытовых отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / К.В. Ладыгин. – М., 2016. – 23 с.

15. Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. – М., 2012–2016. – <http://umnik.fasie.ru/>. (Дата обращения: 27.11.2016).

**Гонопольский Адам Михайлович.** Доктор технических наук, профессор кафедры промышленной экологии, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, (г. Москва).

**Зинякина Екатерина Викторовна.** Аспирант кафедры техники переработки отходов и техносферной безопасности, Московский политехнический университет (г. Москва), [katekog-13@mail.ru](mailto:katekog-13@mail.ru)

**Денисова Татьяна Вячеславовна.** Магистр кафедры «Процессы и аппараты химической технологии», Московский политехнический университет (г. Москва).

*Поступила в редакцию 29 августа 2016 г.*

DOI: 10.14529/food170106

## ROLLER CONE WASTE DISPOSER

**A.M. Gonopolskiy<sup>1</sup>, E.V. Zinyakina<sup>2</sup>, T.V. Denisova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russian Federation*

<sup>2</sup> *Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation*

Organic wastes are among biological waste, and their neutralization is one of topical problems in ensuring ecological safety of the population. The use of waste disposers reduces amount of organic waste arriving on disposal sites for their burial and processing by the direct removal from sites of generation in sewer networks. On the basis of experimental research results on technology of organic waste processing in the sites of their generation, a new design of waste disposer with a roller cone device is developed and investigated. When developing the design, the idea about application of regular roughness on working surfaces of waste disposer crushing mechanism is put forward. The purpose of a roller cone waste disposer is to increase productivity of the device by creating a new design of the crushing mechanism, which possesses repeated rib roughness on the surface and allows for crushing a wider range of processed organic waste, and expansion of the sphere of application for this disposer in such areas as agriculture. In this article, a research on operational and strength characteristics of waste disposers is carried out. Based on the research results, a dependence of fineness of waste fractions on the disposer engine capacity for different types of waste is determined. The obtained experimental research results allow for developing a technique for systems design with the use of pumpable processing of organic waste. Experimental data processing based on the methods of Theory of similarity and dimensions allows receiving a criteria ratio for calculation and design of the developed devices. Analysis of the influence, that operating factors have while crushing food waste, is carried out by deriving ratios of dimensionless groups based on the methods of the Similarity theory with the use of  $\pi$ - theorems. The error of the received dependencies in relation to experimental data amounts  $\pm 10\%$  in all range of variation in experimental parameters of the process. On the basis of the obtained results, it is possible to conclude that a roller cone waste disposer allows expanding considerably the list of the processed organic waste types compared to production devices.

**Keywords:** SMW, organic waste, the light and food industry, pulp, crushing roller cone, sewer networks, crust, dimensionless groups, criteria ratios, two-phase current.



### References

1. Yagodin G.A., Argunova M.V., Morgun D.V., Plusnina T.A. *Ekologiya Moskvyi i ustoychivoe razvitiye* [Ecology of Moscow and sustainable development]. Moscow, 2008. 96 p.
2. Bychkovsky I.V., Mintz I. G., Kirkorovaya N.P. *Metodicheskie rekomendatsii po formirovaniyu tarifov na uslugi po unichtozheniyu, utilizatsii i zahoroneniyu tverdyih byitovyih othodov* [Methodical recommendations about formation of tariffs for services in destruction, utilization and burial of municipal solid waste], Moscow, 2003, 43 p.
3. Marashlian N., Mutasem E.F. Effect of food waste disposers on municipal solid waste and wastewater management. *Waste Management & Research*, 2005, no. 23 (1), pp. 20–31.
4. Bolzonella D., Pavan P., Battistoni P., Cecchi F. The under sink garbage grinder: a friendly technology for the environment. *Environmental Technology*, 2003, no. 24 (3), pp. 349–359.
5. Bolzonella D., Battistoni P., Fatone F., Passacantando D. Application of food waste disposers and alternate cycles process in small decentralized towns: case study. *Water Research*. 2007, no. 41 (4), pp. 893–903.
6. Scott W.A., Steven P.H., Joseph G.F., James R.P. *Food waste disposer shredder assembly*: Patent US, no. 7360729, 2008.
7. Steven P.H. *Water recycling food waste disposer system*: Patent US7963469, 2011.
8. Huaxun Ma, Lei Sun. *Grinding disk for food waste disposer*: Patent US 20130277475, 2013.
9. Gonopolsky A.M., Zinyakina E.V. [Research of design data of a sharoshechny grinder of food waste]. *The Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2016, no. 1, pp. 71–75. (in Russ.)
10. Gonopolsky A.M., Zinyakina E.V. *Byitovoy izmelchitel pischevyih othodov*. [Household grinder of food waste]: Patent RF, no. 2015138407/13, 2006.
11. Ale M. et al. *Naladka i ekspluatatsiya ochistnyih sooruzheniy gorodskoy kanalizatsii* [Adjustment and operation of treatment facilities of the city sewerage]. Moscow, Sroyizdat Publ., 1977. 232 p.
12. Gukhman A.A. *Vvedenie v teoriyu podobiya* [Introduction to the theory of similarity]. 2nd ed. Moscow, 1973. 296 p.
13. Elin E.N. [Printsip of similarity of the agricultural enterprises to ecological systems of the nature]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of agrarian and industrial complex], 2002, no. 5, pp. 24–29. (in Russ.)
14. Ladygin K.V. *Tekhnologiya ultrazvukovoy ochistki obratnoosmoticheskikh membran pri obezvrezhivanii filtrata poligonov tverdyih byitovyih othodov*. Dokt, Diss [Tekhnologiya of ultrasonic cleaning the obratnoosmoticheskikh of membranes at neutralization of a filtrate of solid waste landfills. Dokt, Diss ]. Moscow, 2016. 23 p.
15. *Fond sodeystviya razvitiyu malyyh form predpriyatiy v nauchno-tehnicheskoy sfere* [Fund of assistance to development of small forms of the enterprises in the scientific and technical sphere]. Available at: <http://umnik.fasie.ru/> (accessed 27 November 2016).

**Adam M. Gonopolskiy**. Doctor of Technical Science, Professor of the Department of Industrial Ecology, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow.

**Ekaterina V. Zinyakina**. Graduate student of the Department of Waste recycling Technology and Technosphere Safety, Moscow Polytechnic University, Moscow, [katekor-13@mail.ru](mailto:katekor-13@mail.ru)

**Tatyana V. Denisova**. Master's degree student of the Department of Processes and Equipment of Chemical Technology, Moscow Polytechnic University, Moscow.

*Received 29 August 2016*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Гонопольский, А.М. Шарошечный измельчитель отходов / А.М. Гонопольский, Е.В. Зинякина, Т.В. Денисова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2017. – Т. 5, № 1. – С. 45–52. DOI: 10.14529/food170106

### FOR CITATION

Gonopolskiy A.M., Zinyakina E.V., Denisova T.V. Roller Cone Waste Disposer. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2017, vol. 5, no. 1, pp. 45–52. (in Russ.) DOI: 10.14529/food170106