

УДК 631.171

**АНАЛИЗ СПОСОБОВ СЕПАРАЦИИ ЖИДКИХ СРЕД***А. А. Лаврентьев, И. Ю. Кузнецов, Р. В. Шинкарёв*

Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Рассматривается проблема переработки жидких сред, а именно задача сепарации. Анализ решений задачи сепарации актуален тем, что существующие решения позволяют использовать только 30% навоза как удобрения. Целью работы явилось выявление рационального метода сепарации. Рассмотрены основные существующие сепараторы жидких сред. Проведён сравнительный анализ сепараторов по следующим параметрам: потребление электроэнергии, стоимость капиталовложений, производительность, качество сепарации, а также экспертный параметр «сложность эксплуатации». Описаны оптимальные решения задач сепарации по заявленным параметрам.

**Ключевые слова:** сепаратор жидкой среды, переработка навоза, жидкая фаза, шнековый сепаратор, циклонный сепаратор, вибрационный сепаратор.

UDC 631.171

**ANALYSIS OF LIQUID SEPARATION METHODS***A. A. Lavrentyev, I. Yu. Kuznetsov, R. V. Shinkarev*

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

The article considers the problem of liquid products processing, namely the separation problem. The analysis of solutions to the separation problem is relevant, because of the fact that existing solutions allow only 30% of manure to be used as fertilizer. The objective of this work is to identify a rational separation method. The main existing variations of liquid separators are considered. A comparative analysis of separators was carried out according to the following parameters: electricity consumption, cost of investment capital, productivity, separation quality, as well as the expert parameter “operation complexity”. The optimal solutions of separation problems according to the declared parameters are revealed.

**Keywords:** liquid separator, manure processing, liquid phase, screw separator, cyclone separator, vibration separator.

**Введение.** На сегодняшний день на предприятиях животноводства в качестве удобрений используется около 30% навоза [1, 2]. Неиспользованные остатки загрязняют окружающую среду. Если этот материал правильно не утилизировать, то в процессе естественного разложения он будет выделять огромный объем углекислого газа, а для его хранения потребуется очень много места. Одной из операций переработки отходов животноводства является отделение жидкой фазы. Данная операция является началом процесса переработки.

Целью данной работы являлась выработка рекомендаций по рационализации процесса переработки отходов. Качество процесса переработки зависит от совокупности различных параметров сепарации. Необходимо выбрать метод сепарации с наилучшими показателями.

**Материалы и методы.** Анализ библиографических источников показал, что основными методами, используемыми в процессе сепарации жидких сред, являются центробежный, испарительный, гравитационный, вибрационный, электромагнитный и шнековый [3–8]. Однако, ввиду специфики проблемы, электромагнитный и испарительный сепараторы не подходят, так как,

используя электромагнитный сепаратор, возможно отделение от жидкой среды только электропроницаемых объектов [9], а полученный на выходе продукт так и останется смешанным. Кроме того, эффект испарения удалит жидкую фазу [10] и необходимый растениям азот [11]. Сепаратор на эффекте силы тяжести существует только в виде патента для сепарации отходов животноводства и на практике не применяется, в данном рассмотрении не участвует. Основными параметрами сепараторов являются: удельная энергоёмкость, сложность эксплуатации, рыночная стоимость, производительность в виде пропускной способности. Для определения сложности эксплуатации использована система ранжирования, основанная на экспертном анализе [12–15]. Использована открытая информация о капиталовложениях за одинаковый временной интервал [16].

Параметры, по которым проводился сравнительный анализ, имеют корреляционную зависимость друга от друга, влажности навоза и конструктивных особенностей конкретной модели рассматриваемого сепаратора. Для чистоты сравнительного анализа методов сепарации анализ проводился на сепараторах, характеристики которых оптимальны для использования на молочных фермах и откормочниках (размер ячеек сита, при его наличии, 0,75–1,00 мм; плотность жидкой фазы 3,2–6,5 г/дм<sup>3</sup> и не превышает 70 %), а также производительность которых находится в приемлемом для реальных производств диапазоне.

Возможны комбинированные сепараторы: центробежно-гидравлический, электромагнитно-шнековый, вибрационно-шнековый и другие. Применение таких сепараторов является более дорогостоящим, по сравнению с теми, действие которых основано на одном методе. Они сложнее в эксплуатации и являются более узкоспециализированными. Комбинированные сепараторы не рассматриваются в данной работе, так как методы их построения аналогичны сепараторам, построенным на одном из методов.

**Результаты исследования.** Результаты сравнительного анализа сепараторов, работающих на разных методах и используемых для жидких сред приведены в таблице 1 [17, 18].

Таблица 1

Сравнительный анализ сепараторов, используемых различными методами

Метод	Производительность	Удельная энергоёмкость	Сложность эксплуатации	Стоимость	Влажность твердой фазы на выходе
	м <sup>3</sup> /ч	кВт·ч	Ранг	Руб.	%
Шнековый	60–80	7,2	2	280 000	30–40
Центробежный	40–60	4,5	1	175 000	50–70
Вибрационный	120	9,5	3	342 000	50–60

Сравнительный анализ методов сепарации жидкой среды показал, что сепаратор, использующий центробежную силу, имеет ряд преимуществ: прост в эксплуатации и имеет низкую стоимость (рис. 1). Недостатком является высокий процент влажности твердой фазы на выходе, что снижает качество выходного продукта.



Рис. 1. Вид центробежного сепаратора

Преимущества шнекового сепаратора в низкой удельной энергоёмкости и низкой влажности твердой фазы на выходе (рис. 2). Минусом является низкая пропускная способность.



Рис. 2. Вид шнекового сепаратора

Сепаратор, использующий вибрационный метод разделения на фракции, выгоден по параметру пропускной способности. К недостаткам относятся высокая стоимость, сложность обслуживания, высокая удельная энергоёмкость (рис. 3).



Рис. 3. Вид вибрационного сепаратора

**Заключение.** Переработка отходов животноводства рационализируется внедрением комбинированных сепараторов. Если такой возможности нет, то решение выбирается исходя из конкретных потребностей производства. Если предприятие имеет небольшой объём отходов производства, а начальные капиталовложения ограничены, то рациональным выбором является центробежный сепаратор с максимальной пропускной способностью  $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ . С финансовой точки зрения такое решение оптимально в связи со сниженным расходом на электропитание.

Для производства с объёмом отходов до  $120 \text{ м}^3/\text{ч}$  подойдёт вибрационный сепаратор.

Для производства, объём отходов которого находится в диапазоне  $60\text{--}80 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а требования к влажности твердой фазы на выходе высоки (до 30%), рациональным решением является шнековый сепаратор.

#### Библиографический список.

1. Лимаренко, Н. В. Определение закона распределения плотности вероятностей удельной электрической энергоёмкости при обеззараживании стоков агропромышленного комплекса / Н. В. Лимаренко // Известия ВУЗов. Пищевая технология. — 2017. — № 2. — С. 118–121.
2. Van Horn Н.Н. Agricultural and Environmental Issues in the Management of Cattle Manure. Н. Н. Van Horn and М. В. Hall. Department of Dairy and Poultry Sciences, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, P.O. Box 110920, Gainesville, FL 32611-0920. Agricultural Uses of By-Products and Wastes. Chapter 7, pp 91–109. DOI: 10.1021/bk-1997-0668.ch007. ACS Symposium Series, Vol. 668. ISBN13: 9
3. Карлссон, К., Боргстрем, Л., Хэггмарк, К, Моберг, Х., Ског, Я. Способ и устройство для разделения жидкой среды путём центробежной сепарации и испарения : патент 2442633 Рос. Федерация :, МПК В01D17/038(2006.01), № 2009120671/05 ; заявл. 01.11.2007 : опубл. 20.02.2012. — 8 с.
4. Лимаренко, Н. В. Создание математической модели технологического процесса обеззараживания стоков животноводства / Н. В. Лимаренко // Известия ВУЗов. Пищевая технология. — 2017. — № 3. — С. 108–112.
5. Лимаренко, Н. В. Создание экологически безопасной технологии утилизации стоков животноводства / Н. В. Лимаренко, В. П. Жаров, Б. Г. Шаповал // Инновационные технологии в науке и образовании. ИТНО–2017 : мат-лы V междунар. науч.-практ. конф. — Ростов на-Дону; Зерноград; Дивноморское, 11–15 сентября, 2017. — С. 175–179.
6. Лимаренко, Н. В. Анализ видов стоков животноводства / Н. В. Лимаренко // Инновационные технологии в науке и образовании. ИТНО-2017: мат-лы V междунар. науч.-практ.

конф. — Ростов на-Дону; Зерноград; Дивноморское, 11–15 сентября, 2017. — С. 172–175.

7. Мамыкин, А. Д. Воздействие электромагнитных сил на двухфазную среду / А. Д. Мамыкин, Г. Л. Лосев // Вестник пермского университета. Физика. — 2018. — №1(39). — С. 36–53.

8. Лехо, Р. Р., Брадт, К. Б. Устройство для сепарации твердых частиц текучей среды и способ обработки биомассы, включающий сепарацию твердых частиц текучей среды : патент № 2603650 Российская Федерация, МПК В01D25/00 (2006.01), № 2013123644/05 : заявл. 09.11.2011: опубл. 27.11.2016. — 31 с.

9. Буторин, В. А. Электромагнитный сепаратор умс-4м: от математической модели до конструкции / В. А. Буторин, В. И. Чарыков, А. А. Евдокимов // АПК России. — 2017. — №1. — С. 43–48.

10. Лимаренко, Н. В. Моделирование технологического процесса утилизации стоков животноводства / Н. В. Лимаренко // Современные проблемы математического моделирования, обработки изображений и параллельных вычислений 2017 : сб. трудов междунар. науч. конф. — Дивноморское, 4–11 сентября, 2017. — С. 158–166.

11. Кузнецова, М. Е. Анализ способов утилизации отходов крупного рогатого скота / М. Е. Кузнецова, А. Е. Хаджиди // Устойчивое развитие науки и образования. — 2019. — № 2. — С. 241–247.

12. Мачихин, С. А. Требования функциональной пригодности оборудования для пищевой промышленности / С. А. Мачихи, А. Н. Стрелюхина, А. М. Васильев // Пищевая промышленность. — 2015. — 3. — С. 39–40.

13. Лимаренко, Н. В. Определение закона распределения плотности вероятностей числа колониеобразующих единиц в технологическом процессе обеззараживания стоков животноводческих ферм / Н. В. Лимаренко, В. П. Жаров // Вестник Донского государственного технического университета — 2017. — Т.16, № 2. — С. 136–140.

14. Особенности эксплуатации машинно-тракторного парка крестьянско-фермерских хозяйств в АПК Иркутской области / А. И. Аносова, В. А. Беломестных, М. К. Бураев [и др.] // Вестник ИРГСХА. — 2016. — 77. — С. 153–158.

15. Месхи, Б. Ч. Создание математической модели для оценки энергоёмкости процесса обеззараживания стоков животноводства / Б. Ч. Месхи, Н. В. Лимаренко, В. П. Жаров // Вестник Донского государственного технического университета. — 2017. — Т.18, № 4. — С. 129–135.

16. Оборудование для животноводства [Электронный ресурс] / Агросервер.ru. — URL : <https://agrosver.ru/b/>\_(дата обращения: 30.11.2019).

17. Комплексная утилизация жидкой фракции навоза крупного рогатого скота дождеванием / М. Е. Кузнецова, А. Е. Хаджиди, Е. В. Кузнецов, Я. А. Полторак // Научный журнал российского НИИ проблем мелиорации. — 2018. — №4(32). — С. 77–88.

18. Переработка отходов животноводческих предприятий / Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди, М. Е. Кузнецова, Н. К. Звонков // Научные труды КубГТУ. — 2019. — №3. — С. 864–873.

*Об авторах:*

**Лаврентьев Анатолий Александрович**, заведующий кафедрой «Электротехника и электроника» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат физико-математических наук, профессор, [Alavrentyev52@mail.ru](mailto:Alavrentyev52@mail.ru)

**Кузнецов Иван Юрьевич**, магистрант Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ReVole1@yandex.ru](mailto:ReVole1@yandex.ru)



**Шинкарев Роман Витальевич**, магистрант Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ydokad@gmail.com](mailto:ydokad@gmail.com)

*Authors:*

**Lavrentyev Anatoliy Aleksandrovich**, Head of the Department of Electrical Engineering and Electronics, Don State Technical University (344000, Russian Federation, Rostov-on-Don, Gagarin square 1), Candidate of physical and mathematical sciences, Professor, [Alavrentyev52@mail.ru](mailto:Alavrentyev52@mail.ru)

**Kuznetsov Ivan Yuryevich**, Master's degree student, Don State Technical University (344000, Russian Federation, Rostov-on-Don, Gagarin square 1), [ReVole1@yandex.ru](mailto:ReVole1@yandex.ru)

**Shinkarev Roman Vitalyevich**, Master's degree student, Don State Technical University (344000, Russian Federation, Rostov-on-Don, Gagarin square 1), [ydokad@gmail.com](mailto:ydokad@gmail.com)