

- кан / Т.К. Карелина, Д.В. Попов, Е.А. Стрельцова, Т.В. Прохоренко // Кролиководство и звероводство. – 2020. – № 6. – С. 30–38.
7. Косовский, Г.Ю. Клеточные и геномные технологии в повышении эффективности животноводства / Г.Ю. Косовский // Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Щелково, 2014. – С. 52.
  8. Соболев, А.Д. Основы вариационной статистики / А.Д. Соболев // Учебное пособие. – М.: ФГОУ ВПО МГПВМиБ, 2006. – С. 110.
  3. Zybajlov, B.L. Genomnaya nestabil'nost' i nekanonicheskie struktury DNK / B.L. Zybajlov, V.I. Glazko // Izvestiya TSKHA. – 2012. – Вып. 5. – С. 108–122.
  4. Il'in, D.A. Aspekty formirovaniya mikroyader v limfocitah / D.A. Il'in // Estestvoznaniye i gumanizm: sb. nauch. rabot. – Tomsk. – 2008. – № 4. – Т. 3. – С. 20–22.
  5. Il'inskih, N.N. Mikroyadernyy analiz i citogeneticheskaya nestabil'nost' / N.N. Il'inskih, I.N. Il'inskih, V.V. Novickij, N.N. Vanchugova // Tomsk: Izd-vo Tomskogo universiteta, 1992. – С. 272.
  6. Karelina, T.K. Ocenka samcov sozdavaemogo vnutripodnogo tipa krolikov porodny belyj velikan / T.K. Karelina, D.V. Popov, E.A. Strel'cova, T.V. Prohorenko // Krolikovodstvo i zverovodstvo. – 2020. – № 6. – С. 30–38.
  7. Kosovskij, G.Yu. Kletochnye i genomnye tekhnologii v povyshenii effektivnosti zhivotnovodstva / G.Yu. Kosovskij // Avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk. – Shchelkovo, 2014. – С. 52.
  8. Sobolev, A.D. Osnovy variacionnoy statistiki / A.D. Sobolev // Uchebnoye posobie. – М.: FGOU VPO MGPVМиБ, 2006. – С. 110.

#### LIST OF SOURCES

1. Glazko, T.T. Chastoty vstrechaemosti citogeneticheskikh anomalij v kletkah krovi krupnogo rogatogo skota / T.T. Glazko, S.E. Dubickij, G.Yu. Kosovskij // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. – 2007. – № 6. – С. 58–63.
2. Glazko, T.T. Genotipicheskie i paratipicheskie faktory, vliyayushchie na rezul'taty mikroyadernogo testa / T.T. Glazko, Yu.A. Stolpovskij, V.I. Glazko // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. – 2010. – № 6. – С. 30–34.

## ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

**П.И. Гриднев, доктор технических наук**

**Т.Т. Гриднева, кандидат технических наук**

*ИМЖ – филиал Федерального агроинженерного центра ВИМ*

*РФ, 108823, г. Москва, поселение Рязановское, пос. Знамя Октября, 31*

E-mail: opkb00@mail.ru

УДК 631.86

DOI: 10.30850/vrsn/2021/4/76-80

### ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА БИОТЕРМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ НАВОЗА

*Увеличение поголовья свиней и изменение их системы содержания привели к росту количества жидкого навоза как в России, так и во всем мире. Наибольшие сложности возникают при утилизации навоза влажностью 92–97 %. Все известные технологии подготовки к использованию жидкого навоза имеют низкие технико-экономические показатели из-за высоких затрат на строительство сооружений, приобретение и эксплуатацию оборудования, низкое качество получаемых органических удобрений. Повысить эффективность утилизации такого навоза возможно, совершенствуя технологию биотермической стабилизации, основанную на регулируемом насыщении его кислородом воздуха. Результаты предварительных испытаний показали, что интенсивность процесса, в значительной мере, определяется гранулометрическим составом исходного материала. Математическая модель процесса биотермической стабилизации навоза представлена в виде системы дифференциальных уравнений и описывает изменение во времени четырех основных параметров (температура обрабатываемого навоза, концентрация субстрата, термофильные микроорганизмы и кислород в обработанном навозе). Установлено, что с увеличением влажности исходного навоза от 90 до 96 % интенсивность распада беззольного вещества уменьшается, максимальная температура снижается с 70 до 51 °С, время экспозиции увеличивается от 8 до 14 дн. Наиболее стабильно процесс распада беззольного вещества протекает при влажности исходного навоза 92 %, максимальная температура в навозе, обработанном на механическом измельчителе и аппарате вихревого слоя, превышает 70 °С и достигается на третьи сутки. Применение для предварительной обработки навоза только механического измельчителя нецелесообразно ввиду незначительного влияния на интенсивность процесса биотермической стабилизации.*

**Ключевые слова:** аппарат вихревого слоя, механическое измельчение, температура и влажность навоза.

**P.I. Gridnev, Grand PhD in Engineering sciences**

**T.T. Gridneva, PhD in Engineering sciences**

*IMJ-filial of the Federal Agroengineering Center VIM*

*RF, 108823, g. Moskva, poselenie Ryazanovskoe, pos. Znamya Oktyabrya, 31*

E-mail: opkb00@mail.ru

### INTENSIFICATION OF BIOMETRIC MANURE STABILIZATION PROCESS

*An increase in pig livestock and their housing system's changing led to the liquid manure amount increasing, both in Russia and around the world. The greatest difficulties arise at disposal manure with moisture content of 92–97 %. All of well-known technologies of liquid*

manure preparation for using have low technical and economic indicators due to high costs for structures construction, purchasing and equipments operating and low quality obtained organic fertilizers. It is possible to increase efficiency of such manure disposal improving by the biothermal stabilization technology improving, based on the liquid manure saturation with oxygen from the air. The results of the pre-tests had showed that process intensity is largely determined by the initial manure's granulometric composition. The mathematical model of a manure biothermal stabilization process is presented in the form of differential equations system and it describes in time four main changing parameters: treated manure's temperature, substrate's concentrations, thermophilic microorganisms and oxygen in treated manure. It was found that with increase in the manure moisture content from 90 to 96% increasing ash-free substance decomposition intensity decreases, the maximum temperature reduces from 70 to 51°C and the exposure time is increased from 8 to 14 days. The most stable a decomposition process of ash-free substance occurs at initial manure humidity of 92 %, when the maximum temperature in the manure processed on a mechanical shredder and apparatus of vortex layer of more than 70°C and it is reached on the third day. Applying only mechanical shredder for manure pretreatment is impractical due to the insignificant of this type of treatments influence on the biothermal stabilization process intensity.

**Key words:** apparatus of vortex layer, mechanical grinding, manure's temperature and humidity.

Известно, что хранение навоза в больших объемах на территориях, прилегающих к свиноводческим объектам, вредит окружающей среде зловонными запахами, загрязнением грунтовых вод, требует больших площадей и затрат на его утилизацию.

Значительно повысить эффективность обеззараживания полужидкого навоза возможно путем совершенствования технологии биотермической стабилизации, основанной на регулируемом его насыщении кислородом воздуха. [2, 4, 7] Сущность процесса биотермической стабилизации навоза заключается в следующем. Под действием микроорганизмов, в присутствии кислорода, происходит биохимическое разложение органических веществ, содержащихся в навозе. Органическое вещество служит субстратом для микроорганизмов. Часть субстрата используется на строительство новых клеток микроорганизмов, другая, путем последовательных реакций, превращается в углекислый газ и воду, причем этот процесс носит экзотермический характер. Навоз при достаточном количестве органического вещества и кислорода может разогреваться до 55...70°C. При этом происходит обеззараживание его от гельминтов, болезнетворных микроорганизмов и патогенной микрофлоры, удобрительные свойства не ухудшаются. [5, 6]

Анализ литературных источников [2, 8, 11] и результаты предварительных испытаний [4, 7] показали, что интенсивность процесса биотермической стабилизации навоза в значительной мере определяется granulometricким составом исходного материала. Как правило, в навозе, особенно крупного рогатого скота, имеются включения размером более 7 мм, а содержание частиц размером от 1 до 2 мм не превышает 9,0 %. Все это значительно усложняет выполнение технологических требований по равномерному насыщению навоза кислородом воздуха, резко снижает поверхность окисления, а следовательно, и интенсивность распада беззольного вещества.

Математическая модель процесса биотермической стабилизации навоза может быть представлена в виде системы дифференциальных уравнений, описывающих изменение во времени четырех основных параметров: T – температуры обрабатываемого навоза; S – концентрации субстрата в обработанном навозе; X – концентрации термофильных микроорганизмов в обработанном навозе; O<sub>2</sub> – концентрации кислорода. [4, 11]

$$\left. \begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= \frac{Q}{V}(S_0 - S) - \frac{dS'}{dt} \\ \frac{dX}{dt} &= \frac{Q}{V}(X_0 - X) + \frac{dx'}{dt} - K_d X \\ \frac{dT}{dt} + \alpha T + \frac{\Delta H_u H(T_{in}) \rho_a Q_a}{\rho_w C_w V} &= \frac{\Delta H_r dS'}{\rho_w C_w dt} + \alpha T_{in} + \\ &+ \frac{\Delta H_u H(T_{in}) \rho_a Q_a}{\rho_w C_w V} + \frac{Q \Delta T}{V} \\ \frac{dO_2}{dt} &= \frac{(\rho O_2) T_{eff} Q_a}{V} - \left( \frac{adS'}{dt} + bx \right) \end{aligned} \right\} (1)$$

где S и S<sub>0</sub> – концентрация субстрата соответственно в обработанном и исходном навозе, кг/м<sup>3</sup>;

$\frac{dS'}{dt}$  – количество субстрата, разлагаемого в системе за единицу времени, кг/(м<sup>3</sup> ч);

Q – поток навоза, м<sup>3</sup>/ч;

V – полезный объем танка для биотермической стабилизации навоза, м<sup>3</sup>;

X и X<sub>0</sub> – концентрация термофильных микроорганизмов в обработанном и исходном навозе соответственно, кг/м<sup>3</sup>;

$\frac{dx'}{dt}$  – скорость роста термофильных микроорганизмов в системе переработки навоза, кг/(м<sup>3</sup> ч);

K<sub>d</sub> – константа эндогенного дыхания, ед./ч;

T и T<sub>in</sub> – температура перерабатываемого навоза в танке и окружающей среды соответственно, °C;

$\Delta H_u$  – удельная теплота парообразования, КДж/кг;

H(T<sub>in</sub>) – абсолютная влажность выходящего из танка воздуха, кг/кг;

$\rho_a$  и  $\rho_w$  – плотность воздуха и навоза соответственно, кг/м<sup>3</sup>;

Q<sub>a</sub> – расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

C<sub>w</sub> – теплоемкость навоза, КДж/кг °C;

O<sub>2</sub> – концентрация кислорода, кг/м<sup>3</sup>;

a – количество кислорода, необходимое для окисления единицы субстрата, кг;

b – количество кислорода, требуемое для эндогенного дыхания микроорганизмов, кг;

$\rho O_2$  – плотность кислорода, кг/м<sup>3</sup>;

T<sub>eff</sub> – коэффициент переноса (использования) кислорода.

Для решения системы (1) необходимо знать зависимость скорости от времени разложения субстрата и роста температуры перерабатываемого

**Изменение фракционного состава навоза крупного рогатого скота при обработке на измельчителе органических включений**

Влажность исходного навоза	Производительность, т/ч	Фракционный состав, %						
		более 10 мм	7...10 мм	5...7 мм	3...5 мм	2...3 мм	1...2 мм	0,5...1 мм
91,5	0	0,1	0,4	1,1	2,7	4,2	7,4	84,1
91,5	5	–	–	0,7	2,1	2,0	6,4	88,8
91,5	10	–	–	0,8	2,4	3,1	8,4	85,3
91,5	15	–	–	0,8	3,0	4,0	8,1	84,1
94,0	0	0,1	0,1	0,3	2,8	3,4	5,8	87,5
94,0	10	–	–	–	1,7	1,7	5,1	91,5
94,0	15	–	–	–	1,5	1,1	5,3	92,1
94,0	20	–	–	–	1,9	1,8	5,3	90,9
96,0	0	0,1	0,3	0,4	2,9	4,1	6,7	85,5
96,0	15	–	–	–	2,8	3,6	6,0	87,6
96,0	30	–	–	–	1,4	3,0	6,7	88,9
96,0	40	–	–	–	2,0	2,0	4,2	91,7
96,0	50	–	0,1	0,1	1,8	4,1	6,3	87,6
98,0	0	0,1	0,2	0,8	2,4	5,1	6,3	85,1
98,0	20	–	–	0,9	2,8	3,8	6,1	86,4
98,0	30	–	–	0,7	2,1	3,4	6,9	89,6
98,0	40	–	–	0,5	1,5	4,1	6,2	87,7
98,0	50	–	0,1	0,3	0,8	4,0	6,3	88,5
98,0	60	–	0,1	0,3	2,4	5,0	6,7	85,5

навоза при различных режимах работы. В результате предварительных исследований установлено, что интенсифицировать процесс биотермической стабилизации навоза возможно путем предварительной обработки исходного материала на механическом измельчителе органических включений и в аппаратах вихревого слоя. При этом в несколько раз возрастает содержание в навозе частиц размером менее 1 мм и увеличивается поверхность окисления. Воздействие магнитного поля при обработке исходного навоза в аппаратах вихревого слоя способствует интенсификации процесса биохимического окисления. [1-3, 8-10]

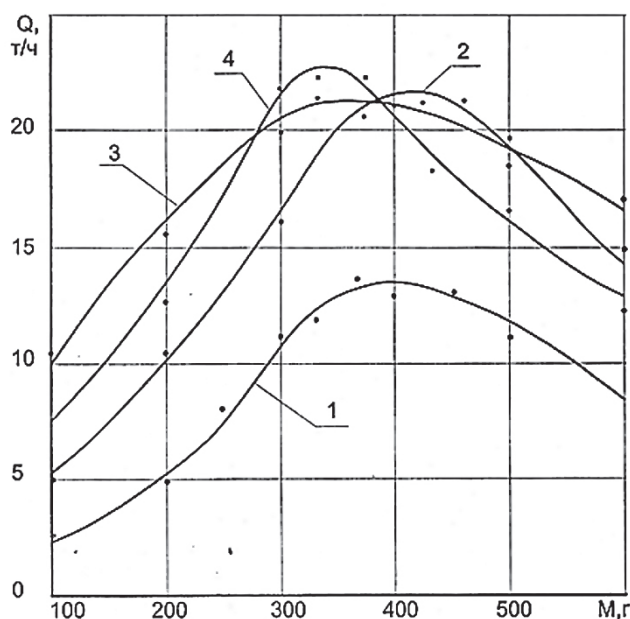
на предельная производительность, при которой в обработанном навозе не будут содержаться частицы размером более 5 мм. Во всех исследованных режимах содержание частиц размером менее 1 мм повышается. Максимального значения данный показатель достигает при обработке навоза влажностью 94 %, производительность 15 т/ч. С повышением влажности производительность установки для механического измельчения органических включений возрастает, однако содержание частиц размером менее 1 мм в обработанном навозе несколько снижается: с 92,1 % при влажности 94 % до 87,7 % при 98 %. Объясняется это увеличением скорости дви-

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Объект исследования – навоз крупного рогатого скота влажностью 91,5 ... 98 %. Перед биотермической стабилизацией навоз обрабатывали на механическом измельчителе органических включений и аппарате вихревого слоя АВС-150 с диаметром рабочей камеры 136 мм, внутренним радиусом расточки индуктора 150 мм. Производительность обработки рассчитывали по времени выгрузки требуемого объема из мерного резервуара. Определяли влажность навоза по ГОСТ 26713-85, потребляемую мощность электроприводами – ГОСТ 9999-94 (МЭК 258-68), гранулометрический состав навоза – ситовым методом ГОСТ 12536-79, температуру навоза в камере стабилизации измеряли жидкостным стеклянным термометром расширения. Обрабатывали экспериментальные данные методом дисперсионного и регрессионного анализа.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Наиболее эффективно процесс диспергирования органических включений при обработке на механическом измельчителе происходит при влажности исходного навоза более 94 % (см. таблицу). Для каждого значения влажности может быть определе-



**Рис. 1.** Влияние массы ферромагнитных элементов на производительность обработки навоза в аппаратах вихревого слоя (диаметр ферромагнитных элементов 1,6 мм, влажность навоза W = 96 %) 1 – l/d = 12; 2 – l/d = 14; 3 – l/d = 16; 4 – l/d = 18.

жения обрабатываемого навоза через рабочую зону измельчителя.

Анализ литературных источников показал, что эффективность процесса диспергирования навоза при обработке в аппаратах вихревого слоя в значительной мере зависит от массы ферромагнитных элементов, загруженных в рабочую камеру аппарата, их геометрических размеров, соотношения диаметров и длины. [8-10] Если соблюдены требования по степени диспергирования, наибольшая производительность при обработке навоза КРС влажностью 96 % достигается при соотношении  $l/d$  равном 18, диаметре ферромагнитных элементов 1,6 мм, массе ферромагнитных элементов, загруженных в рабочую камеру 340...350 г (рис. 1).

Эффективность диспергирования навоза в аппаратах вихревого слоя достигается при соотношении  $l/d$  равном 18 и зависит от выбранного диаметра элементов и влажности навоза (рис. 2). Максимальное диспергирование навоза (содержание частиц размером менее 1 мм) отмечается при влажности 94 % и диаметре элементов 1,5 мм. С изменением влажности исходного навоза от 92 до 96 % требуемый диаметр ферромагнитных элементов изменяется с 1,5 до 1,7 мм. Для определения эффективности диспергирования навоза в зависимости от диаметра использованных ферромагнитных элементов предложены эмпирические зависимости при влажности исходного навоза:

$$W_1 = 92 \% \\ E_1 = -149,065d^5 + 1293,18d^4 - 4389,21d^3 + 7195,68d^2 - 5620,35d + 1722,75; \quad (2)$$

$$W_2 = 94 \% \\ E_2 = -279,115d^5 + 2203,55d^4 - 6756,72d^3 + 9944d^2 + 6920,41d + 1870,67; \quad (3)$$

$$W_3 = 96 \% \\ E_3 = -495,005d^6 + 4739,66d^5 - 18599,5d^4 + 38247,4d^3 - 43464,8d^2 + 25924,2d - 6276,9. \quad (4)$$

С целью обоснования параметров процесса биотермической стабилизации навоза провели исследования по определению влияния влажности исходного навоза и характера предварительной его обработки на температуру в камере стабилизации (рис. 3, 4).

Наиболее интенсивно процесс проходил у навоза влажностью 92 %, максимальная температура разогрева на восьмые сутки – 70°C. При уменьшении влажности навоза на 2 % максимальная температура разогрева снижалась на 5°C, но была достигнута уже на четвертый день. Увеличение влажности навоза до 94 и 96 % приводит к дальнейшему снижению максимальной температуры разогрева соответственно до 61 и 51°C на десятый и четырнадцатый день.

Установлено, что с помощью измельчителя органических включений и аппарата вихревого слоя можно добиться температуры 70°C на третий день. При использовании только измельчителя температура 70°C достигается на шестой день, а при отсутствии предварительной обработки – на восьмой.

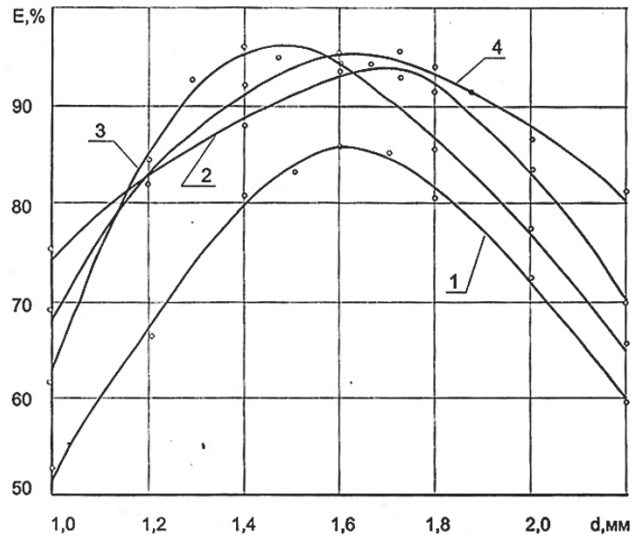


Рис. 2. Влияние диаметра ферромагнитных элементов на эффективность диспергирования навоза (соотношение  $l/d = 18$ , масса ферромагнитных элементов 350 г) 1 – W = 90 %; 2 – W = 92 %; 3 – W = 94 %; 4 – W = 96 %; E – содержание частиц размером менее 1,0 мм.

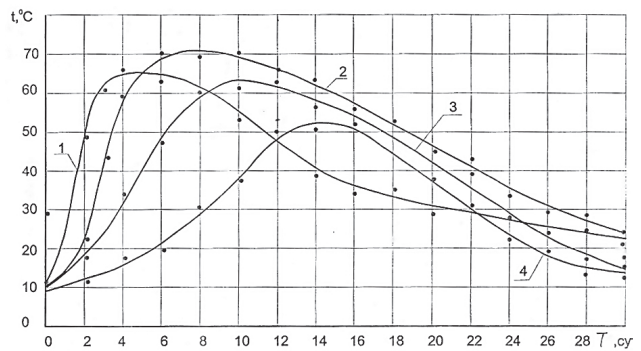


Рис. 3. Влияние продолжительности биотермической стабилизации на температуру обрабатываемого навоза 1 – W = 90 %; 2 – W = 92 %; 3 – W = 94 %; 4 – W = 96 %.

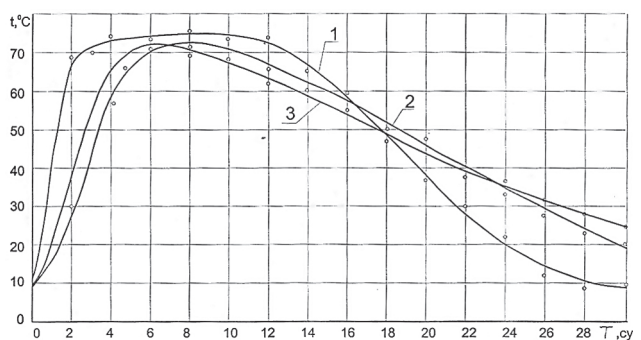


Рис. 4. Влияние продолжительности биотермической стабилизации на температуру обрабатываемого навоза (при различных способах предварительной обработки исходного навоза влажностью 92 %) 1 – измельчитель органических включений и аппарат вихревого слоя; 2 – без предварительной обработки; 3 – измельчитель органических включений.

**Выводы.** С увеличением влажности исходного навоза от 90 до 96 % интенсивность распада беззольного вещества (скорость изменения температуры в камере стабилизации) при равной относи-

тельной подаче воздуха (0,5 л/(мин/кг с.в.)) уменьшается.

Наиболее стабильно распад беззольного вещества протекает при влажности исходного навоза – 92 %, при этом создаются оптимальные условия для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов, максимальная температура в обрабатываемом навозе превышает 70°C.

Предварительное диспергирование исходного навоза влажностью 92 % на механическом измельчителе и аппарате вихревого слоя позволяет интенсифицировать процесс распада беззольного вещества.

Применение для предварительной обработки навоза только механического измельчителя нецелесообразно ввиду незначительного влияния на интенсивность биотермической стабилизации.

Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований используются при проектировании линии биотермической стабилизации навоза и обосновании конструктивных параметров технологического оборудования.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Адошев, А.И. Ферровихревой аппарат для обеззараживания жидкого свиного навоза: автореф. дис. ... канд. тех. наук / А.И. Адошев. – Ставрополь, 2011. – 19 с.
2. Вершинин, Н.П. Проблемы нейтрализации негативного воздействия человека на природу Земли / Н.П. Вершинин, И.Н. Вершинин // Технологии и промышленные аппараты с нетрадиционным энергетическим обеспечением. Вопросы теории и практики. – Сальск-Москва, 2012. – 445 с.
3. Войтович, В.А. Эффективность применения аппаратов вихревого слоя в процессах измельчения порошковых материалов / В.А. Войтович, Р.Р. Шварев, Е.А. Захарычев и др. // Новые огнеупоры. – 2017. – № 10. – С. 48–53.
4. Гриднев, П.И. Теоретические основы процесса биотермической стабилизации навоза / П.И. Гриднев, Ю.В. Черняев // Совершенствование механизированных технологий уборки и переработки навоза. Сборник научных трудов ВНИИМЖ. – Подольск, 1993. – Т. 2. – С. 31–51.
5. Гриднев, П.И. Ресурсосберегающие экологически безопасные системы утилизации навоза / П.И. Гриднев, Т.Т. Гриднева, Ю.Ю. Спотару // LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 97 с.
6. Ковалёв, Н.Г. Научное обеспечение развития экологически безопасных систем утилизации навоза / Н.Г. Ковалёв, П.И. Гриднев, Т.Т. Гриднева // Аграрная наука Евро-северо-востока. – 2016. – № 1. – С. 62–69.
7. Лер, Р. Переработка и использование сельскохозяйственных отходов / Р. Лер. – М.: Колос, 1979. – 414 с.
8. Логвиненко, Д.Д. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем / Д.Д. Логвиненко, О.П. Шеляков. – Киев: Техника, 1976. – 142 с.
9. Логвиненко, Д.Д. Интенсификация процессов получения мелкодисперсных суспензий в аппаратах с вихревым слоем / Д.Д. Логвиненко, О.П. Шеляков. – М.: ЦИНТИ Химнефтемаш, 1974. – 144 с.
10. Мищенко, М.В. Активация технологических процессов обработки материалов в аппаратах с вращающимся электромагнитным полем / М.В. Мищенко, М.М. Боков, М.Е. Гришаев // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–16. – С. 3508–3512; URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37809> (дата обращения: 17.03.2021).
11. Романюк, В. Обработка навоза методом анаэробной и аэробной ферментации / В. Романюк // Научно-технический прогресс в инженерно-технической сфере АПК России. Мат. науч.-практ. конф. – М.: ГОСНИТИ, 1996. – 203 с.

#### LIST OF SOURCES

1. Adoshev, A.I. Ferrovihrevoj apparat dlya obezzarazhivaniya zhidkogo svinogo navoza: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / A.I. Adoshev. – Stavropol', 2011. – 19 s.
2. Vershinin, N.P. Problemy nejtralizacii negativnogo vozdejstviya cheloveka na prirodu Zemli / N.P. Vershinin, I.N. Vershinin // Tekhnologii i promyshlennye apparaty s netradicionnym energeticheskim obespecheniem. Voprosy teorii i praktiki. – Sal'sk-Moskva, 2012. – 445 s.
3. Vojtovich, V.A. Effektivnost' primeneniya apparatov vihreвого sloya v processah izmel'cheniya poroshkovykh materialov / V.A. Vojtovich, R.R. Shvarev, E.A. Zaharychev i dr. // Novye ognepory. – 2017. – № 10. – С. 48–53.
4. Gridnev, P.I. Teoreticheskie osnovy processa biotermicheskoj stabilizacii navoza / P.I. Gridnev, Yu.V. Chernyaev // Sovershenstvovanie mekhanizirovannykh tekhnologij uborki i pererabotki navoza. Sbornik nauchnykh trudov VNIIMZH. – Podol'sk, 1993. – Т. 2. – С. 31–51.
5. Gridnev, P.I. Resursosberegayushchie ekologicheski bezopasnye sistemy utilizacii navoza / P.I. Gridnev, T.T. Gridneva, Yu.Yu. Spotaru // LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 97 s.
6. Kovalyov, N.G. Nauchnoe obespechenie razvitiya ekologicheski bezopasnykh sistem utilizacii navoza / N.G. Kovalyov, P.I. Gridnev, T.T. Gridneva // Agrarnaya nauka Euro-severo-vostoka. – 2016. – № 1. – С. 62–69.
7. Ler, R. Pererabotka i ispol'zovanie sel'skohozyajstvennykh othodov / R. Ler. – М.: Kolos, 1979. – 414 s.
8. Logvinenko, D.D. Intensifikaciya tekhnologicheskikh processov v apparatah s vihrevym sloem / D.D. Logvinenko, O.P. Shelyakov. – Kiev: Tekhnika, 1976. – 142 s.
9. Logvinenko, D.D. Intensifikaciya processov polucheniya melkodispersnykh suspenzij v apparatah s vihrevym sloem / D.D. Logvinenko, O.P. Shelyakov. – М.: CINTI Himneftemash, 1974. – 144 s.
10. Mishchenko, M.V. Aktivaciya tekhnologicheskikh processov obrabotki materialov v apparatah s vrashchayushchimsya elektromagnitnym polem / M.V. Mishchenko, M.M. Bokov, M.E. Grishaev // Fundamental'nye issledovaniya. – 2015. – № 2–16. – С. 3508–3512; URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37809> (data obrashcheniya: 17.03.2021).
11. Romanyuk, V. Obrabotka navoza metodom anaerobnoj i aerobnoj fermentacii / V. Romanyuk // Nauchno-tekhnicheskij progress v inzhenerno-tekhnicheskoy sfere APK Rossii. Mat. nauch.-prakt. konf. – М.: GOSNITI, 1996. – 203 s.