

**КОНЦЕПЦИЯ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ
БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА****П. А. Смирнов, Е. П. Алексеев, М. П. Смирнов, В. П. Егоров, Т. Н. Вагизов**

Реферат. Анализ способов утилизации побочных продуктов животноводства позволил составить перспективную концепцию ускоренной технологии переработки бесподстилочного навоза (БПН) в составе органоминеральной смеси (ОМС). Основой концепции является разделение жидкой и твердой фракций БПН уже в коровнике и, соответственно, последующей раздельной переработке, обеззараживании и внесении фракций. При этом учитывается стерильность жидкой фракции, поэтому допускается её внесение без обеззараживания и переработки. Твердая фракция проходит последовательно обеззараживание, перемешивание наполнителями, микроэлементами и восстановителями разлагающей ферментной среды, частично разрушенной при обеззараживании (ускорители разложения навоза). Допускается разжижение ОМС жидкой фракцией БПН для улучшения перемещения по коммуникациям машин и распределения в почве. Предварительные исследования показали неравномерность разложения ОМС в серой лесной почве вследствие неоднородности смешивания, исходя из чего, авторы отмечают важность указанной операции. Однако для проектирования и разработки таких многокомпонентных смесителей БПН с наполнителями и другими компонентами недостаточно информации в открытом доступе об исходных физико-механических параметрах составляющих ОМС. Поэтому целью представленного исследования является последовательная разработка концепции утилизации БПН в составе ОМС, методик получения исходных данных компонентов для практической разработки машин для смешивания и внесения различных форм навоза. Таким образом получены основные исходные данные составляющих: - объемной массы (мясокостной муки (МКМ) - 547,2; БПН - 1051; ускорителей разложения «Bionex Anima» - 703; «Утилак для подстилки» - 585 кг/м³); - размеры частиц при летнем кормлении (длина-ширина-толщина) (3...4)-1,0-1,0 мм, при зимнем кормлении - (4...5)-2,1-2,1 мм; - содержание жидкой фракции в МКМ - 4,61%; торфе - 10,10%; твердой фракции БПН - 16,44%; - - угол внутреннего трения МКМ - 38,4°; торфа - 37,18°; - коэффициент трения торф-фанера - 0,969; торф-сталь - 1,09; МКМ - фанера 1,02 и другие.

Ключевые слова: биологизация, диверсификация, бесподстилочный навоз, раздельный сбор навоза, переработка навоза.

Введение. Сегодня производство органической продукции стало признанным мировым трендом аграрной экономики ведущих государств [1]. Если несколько лет назад приоритетом было максимальное получение прибыли с каждого гектара площади, тем самым накормить максимальное количество населения, теперь обратили внимание на экосистемы, здоровье населения и развитие сельских территорий.

Развивая органическое сельское хозяйство, Россия решает те же экологические, социальные и экономические проблемы сельских территорий. По своей сущности органическое сельское хозяйство является производственной системой, поддерживающей здоровье почв, экосистем и людей. Оно не использует невозобновляемые ресурсы в виде минеральных удобрений, пестицидов, а опирается на биоэкологические процессы, агротехнологии, использование только органических удобрений. Органическое сельское хозяйство сочетает в себе исторические традиции, забытые в эпоху интенсивного земледелия, которое привело к постепенному снижению плодородия почвы. Теперь решается задача по его восстановлению и всей окружающей среды в целом [2, 3].

В «Прогнозе научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года» [4] отмечено «снижение естественного

породного и сортового разнообразия ведет к сокращению возможностей долгосрочной диверсификации сельского хозяйства». Неуклонное снижение темпов роста урожайности и продуктивности в сельском хозяйстве требует широкого внедрения новых технологических решений (биотехнологии, точное сельское хозяйство, роботизация, композиционные удобрения, интегрированная биозащита, ресурсоэффективное локальное сельское хозяйство и т.д.). Многие исследователи аграрного сектора диверсификацию связывают, прежде всего, с искусственным интеллектом. Безусловно, искусственный интеллект в современном мире занимает одно из ведущих мест, но это всего лишь программное обеспечение всего автоматизированного технологического процесса. Для него сначала необходимо создать основу, то есть саму технологию, поскольку попытки автоматизировать традиционные технологии, основанные на ручном или полуавтоматическом труде весьма сложно, порой невозможно.

Целью исследований является последовательная разработка концепции утилизации БПН в составе ОМС, методик получения исходных данных для практической разработки машин для смешивания и внесения компонентов ОМС: объемной массы, коэффициентов внутреннего и внешнего трения, размеров частиц твердой фракции навоза, содержания влаги.

Условия, материалы и методы. Объективная реальность такова, что, во-первых, эпоха использования подстилочного навоза для повышения плодородия почвы уже завершается, все передовые хозяйства переходят на бесподстилочное содержание животных. Во-вторых, разработаны и эффективно используются технологии по использованию соломы и половы (потенциальная подстилка), по которой указанные побочные продукты растениеводства сразу измельчается и равномерно разбрасывается по полю. Если вторым аспектом у нас благополучно, то получением,

переработкой и внесением бесподстилочного навоза (БПН) не всё разработано. До недавнего времени большинство хозяйств БПН перерабатывали компостированием или сразу вывозили на поле и распределяли на её поверхности. Такие технологии не соответствуют требованиям санитарной безопасности, загрязняют окружающую среду.

На наш взгляд, рациональной представляется следующая концепция ускоренной переработки БПН, последующего его обеззараживания, составления на его основе ОМС (рис. 1).



Рис.1 – Предлагаемая концепция переработки БПН

В основе предложенной технологии – разделение БПН в коровнике, поскольку мы считаем, что моча животных в первоначальном виде стерильна, и не требует обеззараживания. Поэтому предлагается её сразу её вносить, чтобы не строить большие аккумулирующие емкости [5, 6, 7]. Хранение жидкой фракции возможно только в зимнее время с января, когда закрываются льдом почти все поры на поверхности почвы, по апрель, когда лед в порох тает и они открываются (рис. 1).

Часть жидкой фракции частично обеззараживается и вносится или направляется на разжижение полностью подготовленной ОМС (рис. 1).

Твердая фракция БПН перемещается в помещение рядом коровником, где она обеззараживается и выдерживается в течение 5-7 суток. Далее в БПН добавляется наполнители (торф, сапрпель, мясокостная мука и др.), компоненты (микроэлементы) и ускорители разложения навоза, в частности «Bionex Anima» и «Утилак для подстилки». После этого подготовленная ОМС направляется на внесение или смешивается с жидкой фракцией для улучшения перемещения ОМС по коммуникациям машин.

Свод правил (СП) по строительству животноводческих помещений не предполагает разделение навоза в коровнике, и использование современных материалов, особенно пластмасс для этого [8]. Именно с использованием пластмасс возможно существенное снижение металлоемкости, увеличение ресурса

оборудования и в целом, себестоимости утилизации побочных продуктов животноводства. Одновременно решается проблема коррозии металлических узлов и деталей оборудования, и как следствие – их преждевременный отказ. В частности, отдельный сбор твердой и жидкой фракций навоза в коровнике мы видим преимущественно с использованием материала пола (стойла), разделенных каналов жидкой и твердой фракций, деталей уборочного транспортера из пластмасс. Считаем, что заражение жидкой фракции и перенос по всему коровнику происходит, в том числе, через колонии патогенов в слое ржавчины, образованной на металлических деталях навозного транспортера.

Наши работы по составлению ОМС на базе как жидкой, так и твердой фракции БПН для каждой культуры отдельно его потребностям по микроэлементам полностью согласуются с аналогичными работами по обогащению твердой фракции навоза за рубежом [9, 10]. Отечественные разработки в настоящий момент времени, в основном, направлены на составление ОМС на базе жидких форм навоза.

Кроме традиционного компостирования, в стране не развиты технологии ускоренной переработки БПН в перегной. Например, на рынке присутствуют различные ускорители разложения как жидких, полужидких и твердых форм навоза. Соответственно, существуют ускорители разложения подстилочного и бесподстилочного навоза [11, 12, 13]. Но нами не установлено их широкое использование

на производстве.

Мы считаем, что процесс искусственного обеззараживания влечет уничтожение не только вредных патогенных организмов, но и полезной микрофлоры. Также в лучшем случае затормаживает интенсивность работы ферментов, в худшем – разрушает непосредственно участвующих в разложении свежего БПН. К сожалению, детальное изучение этого важного фактора нами не обнаружено как в зарубежной, так и в отечественной литературе. Таким образом, после обеззараживания любого навоза и для разложения придется восстанавливать полезную микрофлору [14].

В качестве наполнителя и для восстановления после процесса обеззараживания БПН ферментной и питательной среды мы предлагаем ввести в состав ОМС мясокостную (МКМ), рыбную муку или их производных продуктов. Во-первых, при изготовлении МКМ происходит полное высокотемпературное обеззараживание, рыбная мука в сущности не располагает вредными патогенами. Во-вторых, в составе указанных продуктов содержатся жиры и белки – основные энергетические средства для микрофлоры. В ходе полевых поэлементных исследований МКМ и рыбная мука были наиболее привлекательными для беспозвоночных природных разлагателей навоза – дождевых червей: увеличение количества особей на пробу до 23%. В третьих, в своем составе МКМ содержит от 12 до 17%, рыбной муке – до 4% фосфора, что качественно улучшает ОМС. Учитывая указанное содержание, производится перерасчет дозы

компонента в ОМС.

Исследования проведены на территории ЗАО «Прогресс» Чебоксарского муниципального округа (МО) Чувашской Республики и расположенных рядом сельских поселениях (ЛПХ). Основной тип почв указанного района – светло-серые лесные. По механическому составу эти почвы тяжело-, средне-, легкосуглинистые. Объемная масса пахотного слоя в среднем составляет $1,21 \pm 0,5$ г/см³, к границе подпахотного слоя увеличивается до $1,45$ г/см³. Удельная масса равна $2,41-2,54$ г/см³. Общая скважность пахотного слоя составляет 48-52%, уменьшаясь к подпахотному горизонту до 39-44%. Водопроницаемость светло-серых лесных почв составляет в среднем 0,7 мм/мин. Данные агрохимических показателей свидетельствуют о том, что в пахотном слое содержится: гумуса – 2,3...2,5%; поглощенных оснований – 30,6...39,8 мг-экв. на 100 г почвы; подвижных фосфатов – 24,1...42,0 мг; обменного калия – 14,8 мг на 100 г почвы. Реакция среды – слабокислая. По сравнению с 2005 годом установлено снижение на 0,2-0,4% гумуса, а реакция почвы с нейтральной трансформировалась в слабокислую.

В ходе предварительных исследований по внесению ОМС в твердой форме и визуальной оценке её разложения выявлена неравномерность в трансформации органического вещества. На почвенных разрезах было обнаружено очаговое присутствие неразложившихся крупных частиц ОМС (рис. 2), на основании чего мы резюмируем важность однородного смешивания.

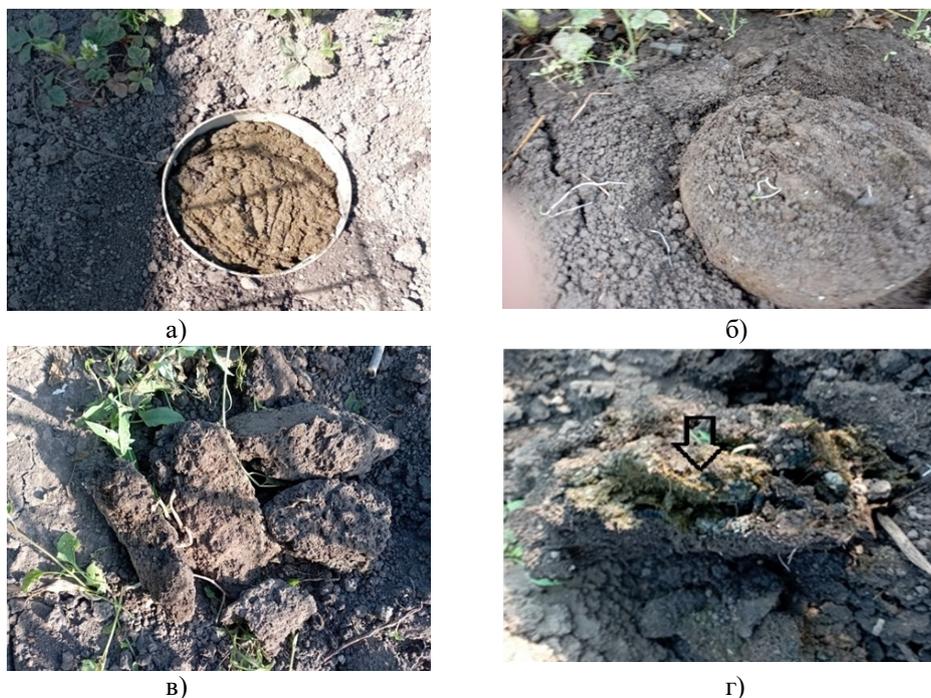


Рис. 2 – Результаты повторных опытов по ускоренному разложению смеси 85%БПН+15%МКМ (по содержанию общего фосфора): а) закладка 29.05.24 г.; б) выемка 14.07.24 г.; в) и г) разрезы образцов, смешанного миксером (полностью разложившийся), и смешанного вручную с очагом не разложившейся смеси (стрелка)

Кроме подготовки (смешивания) ОМС вручную, нами также был проведен замес компонентов ОМС машинным способом – электрической дрелью с насадкой для смешивания цементного раствора в виде винтовой спирали и бытовым кухонным миксером. Наилучшее смешивание показало применение кухонного миксера, худшее – вручную лопаткой. В связи с этим, были выделены три группы рабочих органов смесителей:

1) смешивание грубым рабочим органом (лопаткой) с основной задачей разделения вносимого компонента (МКМ) на крупные части и разнесения их по объему основного компонента (БПН);

2) смешивание посредством дрели со спиральной насадкой разделяет крупные части МКМ на более мелкие; при продолжительном смешивании достигается среднее состояние однородности смеси; метод пригоден для смешивания БПН в малых объемах (например, при ежедневной переработке БПН на личном подсобном или фермерском хозяйстве);

3) смешивание кухонным миксером позволяет быстро достичь состояния однородной смеси, но этот инструмент пригоден только для лабораторных испытаний; при больших объемах переработки равномерное распределение МКМ по объему основного компонента (БПН) трудно обеспечить.

В основе наших исследований лежит предположение, что ОМС многокомпонентная смесь, и её качество существенно зависит от конструкции смесителя и внутренних факторов её компонентов. Важной характеристикой компонентов ОМС является их объемная масса. Для ее определения были использованы электронные весы Kitfort КТ-803-6 и тарированные стеклянные стаканы (рис. 3).

Технические характеристики электронных весов Kitfort КТ-803-6:

- минимальная измеряемая масса – 1,0 г;
- максимальная измеряемая масса – 5,0 кг;
- единица шкалы измерения (погрешность) – 1,0 г.



а)



б)

Рис. 3 – Приборы для определения объемной массы компонентов ОМС: тарированный стеклянный стакан и электронные весы Kitfort КТ-803-6

Известно, что на качество смешивания различных компонентов существенное влияние оказывают их форма, а также размеры дисперсных частиц. Данное утверждение справедливо, в том числе и в отношении БПН различных домашних животных. Например, согласно исследованиям Douglas W. Hamilton [15], размеры твердых частиц свиного навоза находятся в прямой зависимости от размеров тонкости размолла концентрированного корма: крупные частицы концентрированного корма (прежде всего, размолотого зерна) недостаточно перерабатываются желудочно-кишечным трактом свиней. Аналогично выявлено наличие преимущественно крупных частиц размолотых зерен кукурузы, которые преобладают в

концентрированном корме откормочного животноводства западных стран. Размеры таких частиц ограничиваются 3380 мкм, в среднем составляют 2000 мкм. El-Nagar D. и Mohamed R. [16] с целью установления состава просеивали навоз крупного рогатого скота на три фракции 4,76-2,0 мм (СМ1), 2,0-0,8 мм (СМ2), 0,8-0,4 мм (СМ3). По Скорбу И. И. [17] в свином навозе при концентратном типе кормления и в навозе КРС находится более 50% частиц размером до 0,5 мм. Автор предполагает, что это связано с тем, что приготовление корма осуществлялось одним и тем же измельчителем. В то же время для обоих рассмотренных случаев выявлено около 30% частиц размером от 3,0 до 10,0 мм. Исследованиям

Дурдыбаева С. Д. и соавторов [18] показали наличие в навозе КРС до 45% частиц размером более 0,25 мм, а в свином навозе частиц размером более 1,0 мм – около 42%. Отметим, что форма и размеры частиц БПН определены авторами размытием его чистой водой с последующей фильтрацией на сите. Приведенные параметры частиц являются исходным критерием для простого разделения жидкой и твердой фракций навоза, например, на сите. Лабораторные исследования показали, что

смешивание одинаковых по размеру и объемной массе компонентов ОМС достигается лучшей однородностью смеси, следовательно, ускоренное разложение ОМС.

Влажность исходных компонентов имеет существенное значение при смешивании твердом виде, так как изменяются адгезионные свойства БПН и его компонентов. В практических исследованиях нами был использован прибор для определения относительной влажности ОНАУС MB-25 (рис. 4).



Рис. 4 – Общий вид прибора для определения относительной влажности ОНАУС MB-25

Технические характеристики ОНАУС MB-25:

- дисплей: показание динамики сушки и отражение содержания влаги и сухого вещества в процентах;
- режим эксплуатации – только в помещении;
- диапазон рабочих температур: от +5 до +40°C;
- относительная влажность воздуха: от 15 до 80% при 30°C;
- время прогрева не менее 15 мин после подключения прибора к сети;
- параметры электрического питания 200-240 В, 3,0 А, 50/60 Гц.

Следует отметить, что для определения конструктивных параметров смесителя для приготовления ОМС необходимы реальные коэффициенты внешнего и внутреннего трения ее твердых компонентов. В связи с этим, нами были построены

экспериментальные установки для определения коэффициента внешнего трения (рис. 5а) и коэффициента внутреннего трения (рис. 5 б). Установка для определения коэффициента внешнего трения «материал-поверхность трения» (рис. 5а) представляет собой стол 1 с наклонной доской 2, смонтированной на шарнире 3 с возможностью изменения угол подъема φ до 90°. На наклонной доске 2 крепится поверхность трения в виде листа 4, по которому скользит испытуемый материал 9. Угол подъема φ характеризуется параметрами b – на горизонтальной линейке 5, а также a – на вертикальной линейке 7 угольника 6. Строго горизонтальное положение стола 1 на опорной поверхности 11 задается регулируемыми винтовыми механизмами на ножках стола 8 и строительным уровнем 12. Измерением с помощью угольника 6 на столе получаем вертикальный параметр a .

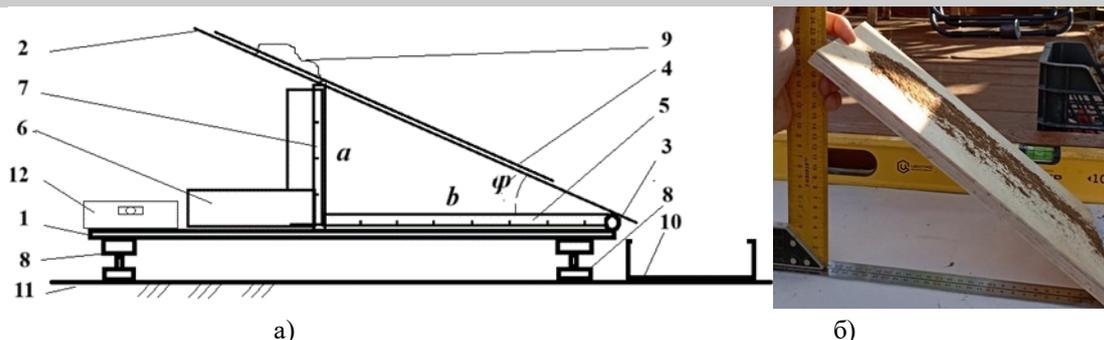


Рис. 5 – Определение коэффициента внешнего трения: а) схема установки; б) положение скольжения МКМ на наклонной доске и измерение его параметров; 1 – стол; 2 – наклонная доска с регулируемым углом наклона; 3 – шарнир; 4 – материал для измерения коэффициента трения; 5 – горизонтальная измерительная линейка; 6 – угольник с вертикальной измерительной линейкой 7; 8 – регулировочные винты стола; 9 – измеряемый материал (МКМ); 10 – сосуд для сбора материала; 11 – опорная поверхность; 12 – уровень

Определяемый материал 9 укладывается на наклонную доску 2 с листом 4. Доска 2 медленно поднимается до начала движения материала 9 по листу 4 вниз в емкость 10. При этом фиксируется показание a и b , и вычисляется минимальный угол φ и нижний предел коэффициента внешнего трения f по формулам:

$$f = \operatorname{tg} \varphi = \frac{a}{b} \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{a}{b} \quad (1)$$

Аналогично фиксируется максимальный угол трения и верхний предел коэффициента трения. По полученным данным определяются средние значения исследуемых параметров. Все операции расчетов по статистической

обработке выполняются в программе «Microsoft Excel-2007».

Экспериментальная установка для определения внутреннего трения (рис. 6а) состоит из внутреннего стола 1, устанавливаемого горизонтально по уровню 2. На столе 1 располагается двойной угольник 3 с горизонтальными шкалами x , y и вертикальной шкалой z . Также на столе 1 устанавливается короб для испытуемого материала 4 на ножках 5. На дне короба 4 по центру имеется отверстие 6 с заслонкой 7. Следует отметить, что отверстие 6 по вертикальной оси совпадает с вертикальной линейкой z . При открытии заслонки 7 испытуемый материал из короба 4 высыпается на стол 1 в виде конуса (рис. 6б).

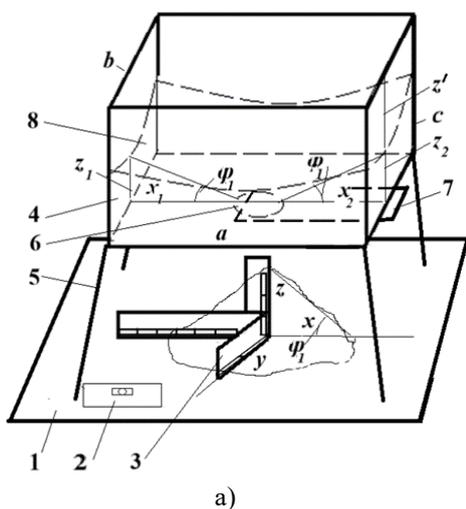


Рис. 6 – Определение коэффициента внутреннего трения: а) общий схема установки; б) конус МКМ и измерение его параметров при снятом коробе; 1 – стол; 2 – уровень; 3 – угольники с горизонтальной и вертикальной измерительными линейками; 4 – короб для материала; 5 – стойки; 6 – отверстие в центре дна с задвижкой 7; 8 – уровень материала в коробе

По шкалам x , y и z двойного угольника 3 фиксируются значения конуса и определяются средние углы φ_1 и коэффициент внутреннего трения: f_1

$$f_{1x} = \operatorname{tg} \varphi_{1x} = \frac{z}{x} \quad \varphi_{1x} = \operatorname{arctg} \frac{z}{x}$$

$$f_{1y} = \operatorname{tg} \varphi_{1y} = \frac{z}{y} \quad \varphi_{1y} = \operatorname{arctg} \frac{z}{y} \quad (2)$$

$$\bar{f}_1 = \frac{f_{1x} + f_{1y}}{2} \quad \bar{\varphi} = \frac{\varphi_{1x} + \varphi_{1y}}{2}$$

Очевидно, что адгезионные свойства компонентов ОМС к материалам поверхности смесителя имеют существенное значение. Считаем, что данные, полученные с помощью представленных экспериментальных установок для определения коэффициентов и углов трения (рис. 5 и 6), учитывают действие сил адгезии и когезии. Однако следует заметить, что значение угла внутреннего трения, определенный по параметрам внутреннего конуса в коробе 4 (рис. 6) в опытах всегда больше, чем значение угла трения, определенный по конусу осыпания (рис. 6 б). По нашему мнению, эта разница и есть результат сил когезии, удерживающих частицы материала в коробе.

Для жидких фракций БПН и компонентов важен коэффициент динамической вязкости. С этой целью в ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ разработана методика определения

коэффициента динамической вязкости методом подобия, а также изготовлен лабораторный прибор для его определения, в основе которого лежит соотношение:

$$\mu_n = \mu_v \frac{Q_v^4}{Q_n^4} \quad (3)$$

где μ_v – коэффициент динамической вязкости воды; Q_v и Q_n – секундные расходы воды и определяемого раствора компонента (суспензии) [19].

Для этого определяются секундные расходы воды и определяемой суспензии на одном и том же трубопроводе непосредственно в полевых условиях, после чего производится перерасчет по формуле (3).

Результаты и обсуждение. В таблице 1 представлены фрагменты результатов измерения и определения объемной массы компонентов ОМС.

Таблица 1 – Объемная масса МКМ в свободном, уплотненном состоянии и свежего БПН

№	Масса общая, г	Масса стакана, г	Масса МКМ, г	$m_i - \frac{m}{m_i}$	$(m_i - \frac{m}{m_i})^2$
1	98	44	54	0,7	0,49
2	100	44	56	-1,3	1,69
3	101	44	57	-2,3	5,29
4	98	44	54	0,7	0,49
5	97	44	53	1,7	2,89
6	98	44	54	0,7	0,49
7	99	44	55	-0,3	0,09
8	101	44	57	-2,3	5,29
9	97	44	53	1,7	2,89
10	98	44	54	0,7	0,49
Ср. зн-е, г	71,35	44	54,7	0	2,23
Объемная масса МКМ δ , кг/м ³					547,2
Ср. квадратическое отклонение, г					1,494
Коэффициент вариации, %					2,73
Ср. зн-е, г	61,2				
Объемная масса уплотненного МКМ δ , кг/м ³					612
Ср. квадратическое отклонение, г					1,304
Коэффициент вариации, %					2,13
Ср. зн-е, г	105,1				
Объемная масса свежего БПН δ , кг/м ³					1051
Ср. квадратическое отклонение, г					1,9112
Коэффициент вариации, %					1,82

Примечание*: данные измерений по уплотненному МКМ и свежему БПН не показаны.

Аналогично определены объемные массы ускорителей навоза, используемые в экспериментальных исследованиях:

- «Віonex Anima» порошок белого цвета – 0,703 кг/дм³ (703 кг/м³);
- «Утилак для подстилки» порошок светло-коричневого цвета – 0,585 кг/дм³ (585 кг/м³).

Поскольку указанные материалы в заводском герметичном (пакеты) исполнении представлены в виде порошков тонкого размола

к ним не использовались методы статистической обработки данных.

Результаты повторных исследований (2024 год) размыванием в чистой воде БПН при летнем пастбищном кормлении крупного рогатого скота (КРС) получены следующие размерные характеристики частиц растительного корма:

- длина преимущественно до $a = 3 \dots 4$ мм, $a_{max} = 8,0$ мм;
- ширина и толщина достигают

приблизительно $b = c = 1,0$ мм.

При зимнем стойловом кормлении сухими грубыми кормами КРС получены следующие характеристики:

- длина преимущественно до $a = 4...5$ мм, $a_{max} = 9,8$ мм;
- ширина и толщина до $b = c = 2,1$ мм.

Размерные параметры МКМ и ускорителя разложения БПН «Bionex Animal WT» получены сухим просеиванием соответственно: до $a = b = c = 0,5$ мм и $a = b = c = 0,1$ мм. По рекомендации производителя ускоритель разложения навоза вносится в растворенном виде.

Нами изучены температурные параметры компонентов ОМС и среды, исходя их условия, что в средней полосе России смешивание может производиться при низких температурах. Например, реальная температура в хозяйственном пристрое к коровнику, где находился смеситель и смешивался БПН с другими компонентами, снижалась до $t = 4,5^{\circ}\text{C}$ [13].

Очевидно, что в летний период обеспечивается приблизительное равенство температур компонентов и среды: $t_1=t_2=...=t_n=t$, при этом фактически соблюдается условие $t_{opt} = 18^{\circ}\text{C}$. Однако в рекомендациях к использованию рассматриваемых ускорителей разложения навоза указан диапазон рабочих температур от 10 до 40°C . При смешивании внутри животноводческого помещения (измерения проведены в коровнике) можно уложиться в пределах нижней границы рекомендованных температур в зимний период. Для исключения отказа смесителя вследствие замерзания мы не рассматриваем его работу при отрицательных температурах в помещении.

Практическими исследованиями прибором ОНАУС МВ-25 для определения относительной влажности непосредственно перед смешиванием получены следующие исходные параметры компонентов, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание жидкой и твердой фракций в компонентах ОМС

№	Компонент	Твердая фракция, %	Жидкая фракция, %
1	БПН	83,56	16,44
2	МКМ	95,39	4,61
3	Торф	89,90	10,10
4	Перегной	88,02	11,98

Таблица 3 – Результаты определения углов и коэффициентов внешнего трения компонентов ОМС

Торф – дерево (фанера)						
№ опыта	min a, см	max a, см	min b, см	max b, см	Ср. значение	
1	19,0	24,0	27,5	24,0		
2	18,0	23,5	28,0	23,0		
3	18,5	23,5	28,0	23,5		
4	18,5	24,0	27,5	23,0		
5	18,5	26,5	28,0	23,5		
Ср. значение	18,5	24,7	27,8	23,4		
Ср. квадр. отклонение	0,3536	2,1389	0,2739	0,4183		
Коэффициент вариации, %	1,91	8,66	0,985	1,79		
f	0,749	-	1,188	-	0,9685	
φ , град.	36,83	-	49,91	-	43,37	
Торф – оцинкованная сталь						
Ср. значение	18,8	23,3	23,2	18,5		
Ср. квадр. отклонение	0,5701	0,2739	0,2739	0,3535		
Коэффициент вариации, %	3,03	1,18	1,18	1,91		
f	0,81	-	1,259	-		1,0345
φ , град.	39,02	-	51,55	-		45,285
Торф – черная сталь						
Ср. значение	19,6	23,7	22,2	18,4		
Ср. квадр. отклонение	0,2236	0,2739	0,5701	0,2236		
Коэффициент вариации, %	1,14	1,16	2,57	1,22		
f	0,883	-	1,288	-		1,0855
φ , град.	41,44	-	52,18	-		46,810
МКМ – дерево (фанера)						
Ср. значение	21,4	25,7	25,7	21,4		
Ср. квадр. отклонение	0,4183	0,4472	0,2739	0,5477		
Коэффициент вариации, %	1,95	1,74	1,06	2,55		
f	0,837	-	1,2	-		1,0185
φ , град.	39,92	-	50,22	-		45,070

Примечание: 1. Опытные данные показаны только для материалов торф-дерево (фанера), по остальным – результаты расчетов.

2. Фанера предусмотрена для бункеров-накопителей смесителя как инертный материал для микроэлементов и ускорителей разложения навоза.

Таблица 4 – Результаты определения углов внутреннего трения компонентов ОМС

МКМ					
№ опыта	z, см	x, см	y, см	$R_{cp} = \frac{x+y}{2}$, см	φ_1 , град.
1	7,5	9,25	10,00	9,625	37,928
2	8,5	10,10	10,75	10,425	39,19
3	9,5	11,50	12,70	12,10	38,136
Ср. значение					38,418
торф					
№ опыта	z, см	x, см	y, см	$R_{cp} = \frac{x+y}{2}$, см	φ_1 , град.
1	5,5	7,5	8,5	8,00	34,51
2	6,2	7,75	9,0	8,375	36,51
3	7,5	8,15	9,4	8,775	40,52
Ср. значение					37,18

Результаты экспериментов по определению коэффициента динамической вязкости суспензии навоза с содержанием 0,5, 1,0, 1,5% твердой фракции показали сходство с результатами, определенными по методу Пуазейля и других. Таким образом, были определены коэффициенты динамической вязкости – $\mu_{0,5} = 0,00135$ Па·с; $\mu_{1,0} = 0,00205$ Па·с; $\mu_{1,5} = 0,0025$ Па·с.

Полученные данные являются основой расчетов по проектированию смесителя и машин для внесения ОМС.

Выводы. Разработанные методики и приборы для определения физико-механических параметров компонентов ОМС позволили получить основные исходные данные всех составляющих:

- объемной массы (МКМ - 547,2;

БПН – 1051; «Bionex Anima» - 703; «Утилак для подстилки» - 585 кг/м³);

- размеры частиц при летнем кормлении (длина-ширина-толщина) (3...4)-1,0-1,0 мм, при зимнем кормлении – (4...5)-2,1-2,1 мм;

- содержание жидкой фракции в МКМ – 4,61%; торфе – 10,10%; твердой фракции БПН – 16,44%.

- угол внутреннего трения МКМ – 38,4°; торфа – 37,18°;

- коэффициент трения торф-фанера – 0,969; торф-сталь – 1,09; МКМ – фанера 1,02 и другие.

Результаты, полученные в ходе исследования, использованы для расчетов параметров смесителя и машин для внесения БПН в составе ОМС непосредственно в почву.

Литература

1. Полухин А. А., Зубарева К. Ю. Развитие органического земледелия в Российской Федерации и рентабельность производства органической сои // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 6. С. 44-49.
2. «IFOAM–OrganicsInternational»: официальный сайт. URL: https://www.ifoam.bio/sites/default/files/2020-05/roa_russian_web.pdf / (дата обращения: 19.12.2023).
3. Когнитивное моделирование в управлении развитием сельских территорий / А. Н. Тарасов, Н. И. Антонова, А. С. Тарасов [и др.] // Азов: ООО "АзовПринт". 2019. 128 с. – ISBN 978-5-6043029-5-8.
4. Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года / Минсельхоз России; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». Москва: НИУ ВШЭ, 2017. 140 с. URL: https://issek.hse.ru/data/2017/05/03/1171421726/Prognoz_APK_2030.pdf (дата обращения: 24.03.2024)
5. Прокопьева Е. В. Увеличение регенеративной способности трав в зависимости от высоты среза при поукосном внесении жидкой фракции навоза // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1(8). С. 112-119. DOI 10.17022/nm16-0s35.
6. Патент №217154 U1 Российская Федерация, МПК А01В 49/06 (2023.03), А01С 21/00 (2023.03), Рабочий орган для внесения жидких органических удобрений : № 2022132280 : заявлено 09.12.2022; опубликовано 21.03.2023/Смирнов П.А., Смирнов М.П., Пушкаренко Н.Н., Алексеев Е.П., Егоров В.П.; патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Чувашский государственный аграрный университет" Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова". 7 с. : схема
7. Энергосберегающая подготовка почвы под посадку хмеля / П. А. Смирнов, А. Г. Терентьев, Н. Н. Пушкаренко [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 4(64). С. 68-74. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-68-74.
8. Свод правил СП 106.13330.2012. Животноводческие, птицеводческие и звероводческие здания и помещения (актуализированная редакция СНиП 2.10.03-84). М., Минрегионразвития РФ, 2012. 19 с.
9. Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: current technological trends and prospects / Y. Bouhia,

M. Hafidi, Y. Ouhdouch, et al. // *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2022. P. 426-446. URL: https://www.researchgate.net/publication/360501536_Conversion_of_waste_into_organomineral_fertilizers_current_technological_trends_and_prospects (дата обращения: 21.06.2024).

10. *Advances in the Use of Organic and Organomineral Fertilizers in Sustainable Agricultural Production* / M. Abdulraheem, J. Hu, S. Ahmed, et al. // *IntechOpen*. 2023. P. 1-20. URL: https://www.researchgate.net/publication/370325761_Advances_in_the_Use_of_Organic_and_Organomineral_Fertilizers_in_Sustainable_Agricultural_Production (дата обращения: 04.07.2024).

11. «Экобактер»: официальный сайт. URL: https://ecobakter.ru/svinovodstvo?utm_source=yandex&utm_medium=sps&utm_campaign=86288550&utm_content=16157319978&utm_term=---autotargeting&yclid=10027243289146294271/ (дата обращения: 11.04.2024).

12. «Благодатное земледелие» – товары для переработки навоза: официальный сайт. URL: <https://blagodatmir.ru/catalog/udobreniya/udobreniya1/18330/#desc> (дата обращения: 11.04.2024).

13. «Агросервер.ру» – биопрепараты. Биокомпостер коровьего навоза: официальный сайт. URL: <https://agroservers.ru/b/biokomposter-korovego-krs-navoza-264574.htm> (дата обращения: 11.04.2024).

14. *Role of Decomposers in Agricultural Waste Management* / N. Iqbal, A. Agrawal, S. Dubey et al. // *IntechOpen*. 2020. 20 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/344900173_Role_of_Decomposers_in_Agricultural_Waste_Management (дата обращения: 20.12.2023).

15. *The Environmental Sustainability of Anaerobic Digestion as a Biomass Valorization Technology* / S. Meester, J. Demeyera, F. Velgheb, et al. // *Bioresource Technology*. 2012. Vol. 121. P. 396-403 URL: https://www.researchgate.net/publication/230619254_The_environmental_sustainability_of_anaerobic_digestion_as_a_biomass_valorization_technology (дата обращения: 10.08.2024).

16. D. El-Nagar and R. Mohammed. *Characterization and Impact of Cattle Manure Particle Size on Physical Properties of Sandy Soils* // *Journal of Geosciences and Environmental Protection*. 2019. Vol. 7. P. 180-194. URL: https://www.researchgate.net/publication/335323144_Characterization_and_Impact_of_Cattle_Manure_Particle_Size_on_Physical_Properties_of_Sandy_Soils (дата обращения: 20.02.2024).

17. Скорб И. И. Анализ физико-механических свойств жидкого навоза // *Передовые технологии и техническое обеспечение сельскохозяйственного производства*: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 30-31 марта 2017. Минск: БГАТУ. 2017. С. 205-207.

18. Дурдыбаев С. Д. *Утилизация отходов животноводства и птицеводства: Обзор* // Москва: Агропромиздат, 1989. 56 с.

19. Смирнов П. А. Определение коэффициента динамической вязкости и дозы внесения жидких фракций навоза // *Вестник Чувашского государственного аграрного университета*. 2022. № 3(22). С. 119-125. DOI 10.48612/vch/r8k1-3bmh-1bvu.

Сведения об авторах:

Смирнов Петр Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, e-mail: smirnov_p_a@mail.ru

Алексеев Евгений Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, e-mail: zhenia_alex@mail.ru

Смирнов Михаил Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, e-mail: stmo@yandex.ru

Егоров Виталий Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, e-mail: evr121@mail.ru

Чувашский государственный аграрный университет, г. Чебоксары, Россия

Вагизов Тагир Наилевич - кандидат технических наук, доцент кафедры инженерных дисциплин, e-mail: vagizov_tagir@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

CONCEPT OF MODERN TECHNOLOGY FOR PROCESSING LITTERLESS MANURE

P. A. Smirnov, E. P. Alekseev, M. P. Smirnov, V. P. Egorov, T. N. Vagizov

Abstract. Analysis of methods for utilizing by-products of livestock farming allowed us to develop a promising concept of accelerated technology for processing litterless manure as part of an organomineral mixture. The basis of the concept is the separation of liquid and solid fractions of litterless manure already in the barn and, accordingly, subsequent separate processing, disinfection and introduction of fractions. In this case, the sterility of the liquid fraction is taken into account, therefore, its introduction is allowed without disinfection and processing. The solid fraction undergoes successive disinfection, mixing with fillers, microelements and reducers of the decomposing enzyme medium, partially destroyed during disinfection (manure decomposition accelerators). Dilution of organomineral mixture with the liquid fraction of the litterless manure is allowed to improve movement along the communications of machines and distribution in the soil. Preliminary studies have shown unevenness of organomineral mixture decomposition in gray forest soil due to the heterogeneity of mixing, based on which the authors note the importance of this operation. However, for the design and development of such multi-component litterless manure mixers with fillers and other components, there is insufficient openly available information on the initial physical and mechanical parameters of organomineral mixture components. Therefore, the objective of the presented study is the consistent development of the concept of litterless manure utilization as part of organomineral mixture, methods for obtaining the initial data on the components for the practical development of machines for mixing and introducing various forms of manure. Thus, the main initial data of the components were obtained: - bulk density (meat and bone meal (MBM) - 547.2; litterless manure - 1051; "Bionex Anima" decomposition accelerators - 703; "Utilak for bedding" - 585 kg/m³); - particle sizes for summer feeding (length-width-thickness) (3 ... 4) - 1.0-1.0 mm, for winter feeding - (4 ... 5) - 2.1-2.1 mm; - content of liquid fraction in MBM - 4.61%; in peat - 10.10%; in solid fraction

of litterless manure - 16.44%; - - angle of internal friction of MBM - 38.4°; peat - 37.18°; - friction coefficient peat-plywood - 0.969; peat-steel - 1.09; MBM - plywood 1.02 and others.

Key words: biologization, diversification, litterless manure, separate collection of manure, manure processing.

References

1. Polukhin AA, Zubareva KYu. [Development of organic farming in the Russian Federation and profitability of organic soybean production]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2023; Vol.37. 6. 44-49 p.
2. "IFOAM-OrganicsInternational": official website. [cited 2023, December 19]. Available from: https://www.ifoam.bio/sites/default/files/2020-05/poa_russian_web.pdf/.
3. Tarasov AN, Antonova NI, Tarasov AS. *Kognitivnoe modelirovanie v upravlenii razvitiem selskikh territoriy*. [Cognitive modeling in rural development management]. Azov: OOO "AzovPrint". 2019; 128 p. – ISBN 978-5-6043029-5-8.
4. Forecast of scientific and technological development of agro-industrial complex of the Russian Federation for the period up to 2030. [Internet]. Ministry of Agriculture of the Russian Federation; National Research University Higher School of Economics. Moscow: NIU VShE. 2017; 140 p. [cited 2024, March 24]. Available from: https://issek.hse.ru/data/2017/05/03/1171421726/Prognoz_APK_2030.pdf
5. Prokopenko EV. [Increasing the regenerative capacity of grasses depending on the cutting height during post-cut application of the liquid fraction of manure]. *Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2019; 1(8). 112-119 p. DOI 10.17022/nm16-0s35.
6. Smirnov PA, Smirnov MP, Pushkarenko NN, Alekseev EP, Egorov VP. *Rabochiy organ dlya vnesheniya zhidkikh organicheskikh udobreniy*. [Working unit for applying liquid organic fertilizers]. Patent No. 217154 U1 Rossiiskaya Federatsiya, MPK A01B 49/06 (2023.03), A01C 21/00 (2023.03), № 2022132280: declared 09.12.2022: published 21.03.2023. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Chuvash State Agrarian University", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov". 7 p. scheme.
7. Smirnov PA, Terentev AG, Pushkarenko NN. [Energy-saving soil preparation for planting hops]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; Vol.16. 4(64). 68-74 p. – doi:10.12737/2073-0462-2022-68-74.
8. Svod pravil SP 106.13330.2012. *Zhivotnovodcheskie, pitsevodcheskie i zverovodcheskie zdaniya i pomeshcheniya (aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.10.03-84)*. [Code of practice SP 106.13330.2012. Livestock, poultry and fur farming buildings and premises (updated version of SNiP 2.10.03-84)]. Moscow: Minregionrazvitiya RF. 2012; 19 p.
9. Bouhria Y, Hafidi M, Ouhdouch Y. Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: current technological trends and prospects. [Internet]. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2022; 426-446 p. [cited 2024, June 21]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/360501536_Conversion_of_waste_into_organomineral_fertilizers_current_technological_trends_and_prospects.
10. Abdulraheem M, Hu J, Ahmed S. Advances in the use of organic and organomineral fertilizers in sustainable agricultural production. [Internet]. *IntechOpen*. 2023; 1-20 p. [cited 2024, July 04]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/370325761_Advances_in_the_Use_of_Organic_and_Organomineral_Fertilizers_in_Sustainable_Agricultural_Production.
11. "Ecobakter": official website. [cited 2024, April 04]. Available from: https://ecobakter.ru/svinovodstvo?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=86288550&utm_content=16157319978&utm_term=autotargeting&yclid=10027243289146294271/.
12. "Blessed agriculture" - products for processing manure: official website. [cited 2024, April 04]. Available from: <https://blagodatmir.ru/catalog/udobreniya/udobreniya1/18330/#desc>.
13. "Agroserver.ru" - biopreparations. Biocomposter of cow manure: official website. [cited 2024, April 04]. Available from: <https://agroserver.ru/b/biokomposter-korovego-krs-navoza-264574.htm>.
14. Iqbal N, Agrawal A, Dubey S. Role of decomposers in agricultural waste management. [Internet]. *IntechOpen*. 2020; 20 p. [cited 2023, December 20]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/344900173_Role_of_Decomposers_in_Agricultural_Waste_Management.
15. Meester S, Demeyera J, Velgheb F. The environmental sustainability of anaerobic digestion as a biomass valorization technology. [Internet]. *Bioresource Technology*. 2012; Vol.121. 396-403 p. [cited 2024, August 10].
16. El-Nagar D and Mohammed R. Characterization and impact of cattle manure particle size on physical properties of sandy soils. [Internet]. *Journal of Geosciences and Environmental Protection*. 2019; Vol.7. 180-194 p. [cited 2024, February 20]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/335323144_Characterization_and_Impact_of_Cattle_Manure_Particle_Size_on_Physical_Properties_of_Sandy_Soils.
17. Skorb II. [Analysis of physical and mechanical properties of liquid manure. Advanced technologies and technical support of agricultural production]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Minsk, 30-31 marta 2017*. Minsk: BGATU. 2017; 205-207 p.
18. Durdybaev SD. *Utilizatsiya otkhodov zhivotnovodstva i pitsevodstva: obzor*. [Utilization of livestock and poultry waste: review]. Moscow: Agropromizdat. 1989; 56 p.
19. Smirnov PA. [Determination of the coefficient of dynamic viscosity and the application rate of liquid fractions of manure]. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; 3(22). 119-125 p. DOI 10.48612/vch/r8k1-3bmh-1bv.

Authors:

Smirnov Petr Alekseevich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Transport and Technological Machines and Complexes Department, e-mail: smirnov_p_a@mail.ru

Alekseev Evgeniy Petrovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Transport and Technological Machines and Complexes Department, e-mail: zhenia_alex@mail.ru

Smirnov Mikhail Petrovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Transport and Technological Machines and Complexes Department, e-mail: stmo@yandex.ru

Egorov Vitaliy Petrovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Transport and Technological Machines and Complexes Department, e-mail: evp121@mail.ru

Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia

Vagizov Tagir Nailevich - Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Department of General Engineering Disciplines, e-mail: vagizov_tagir@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.