

Булаев Е.А., Сырбаков А.П., Матяш С.П., Речкин С.В.
Экспериментальные исследования применения рекуперативной энергии при разделении жидкого
навоза на фракции

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

УДК 631.22.018

Экспериментальные исследования применения рекуперативной энергии при разделении жидкого навоза на фракции

Булаев Е.А., Сырбаков А.П., Матяш С.П., Речкин С.В.

Новосибирский ГАУ

Аннотация

Статья посвящена обоснованию использования рекуперативной энергии при разделении свиного жидкого навоза на фракции. Одним из важных аспектов статьи является рассмотрение энергоемких процессов переработки навозных стоков, которые занимают значительную долю затрат в животноводстве. На основе теоретических и экспериментальных исследований выявлено, что использование энергии напора навозных стоков позволяет разделить их на густую фракцию и фильтрат, обеспечивая влажность получаемой густой фракции 83,3 - 83,5%, а фильтрата - 99,2 - 99,5%, степень разделения навозных стоков составляет около 56%, что позволяет снизить энергоемкость процесса и упростить технологию путем использования напора для выполнения дробления и фильтрования навоза. Анализ теоретических исследований показал, что устройства с активным рабочим органом, которые снимают осадок с фильтрующего элемента и транспортируют его, наиболее перспективны для этих целей. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают возможность разделения навоза на фракции с использованием шнека, работающего как гидравлическая турбина. Энергия навоза, перемещаемого по трубопроводам, используется для вращения активного рабочего органа - шнека, обеспечивающего эффективное удаление осадка и его дальнейшую транспортировку. Рассмотрено уравнение, описывающее баланс мощности в предложенном устройстве, соблюдая ряд условий позволяет шнеку установки функционировать без дополнительного энергопотребления, что достигается за счет использования энергии внутреннего давления навоза. Испытания макета устройства подтвердили теоретические предположения, показав эффективное разделение навозных стоков. В статье подчеркивается значимость разработки оборудования для переработки навоза с использованием собственных энергетических ресурсов, особенно для крупных свиноводческих и животноводческих комплексов, так и для мелких фермерских хозяйств с гидравлическим смывом навоза, что демонстрирует перспективы оптимизации

Булаев Е.А., Сырбаков А.П., Матяш С.П., Речкин С.В.

Экспериментальные исследования применения рекуперативной энергии при разделении жидкого навоза на фракции

.....
**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**
=====

переработки навозных стоков путем использования рекуперативной энергии, и способствует снижению затрат и упрощению технологических процессов в животноводстве.

Ключевые слова: СТОКИ, РАЗДЕЛЕНИЕ, СУСПЕНЗИЯ, ФИЛЬТРОВАНИЕ, ГУСТАЯ ФРАКЦИЯ, ФИЛЬТРАТ, ПРОНИЦАЕМОСТЬ

Введение

Переработка жидкого навоза и навозных стоков, является одним из наиболее энергоемких процессов в животноводстве. Это обусловлено наличием в технологических линиях повторяющихся операций, при выполнении которых большая часть энергии идет на увеличение внутренней энергии самого навоза (например, многократное перекачивание стоков по трубопроводам). После завершения переработки жидких навозных стоков, энергия безвозвратно рассеивается в окружающую среду [1].

Установлено, что за счет использования энергии напора навозных стоков, перекачиваемых по трубопроводам с влажностью 98,8 - 99,0%, обеспечивается их разделение на густую фракцию и фильтрат. При этом влажность получаемой густой фракции равна 83,3 - 83,5%, фильтрата - 99,2 - 99,5%. Степень разделения - 56%. Использование энергии напора навозной массы при неоднократном перекачивании - это одно из перспективах направлений энерго-ресурсосбережения при переработке стоков.

Экспериментальные исследования подтвердили возможность разделения жидкого навоза на фракции за счет его напора и показали, что в предлагаемой конструкции разделителя шнек совмещает функции первичного двигателя для привода самого себя как транспортирующего органа и приводится в движение за счет напора навоза без подвода энергии извне [2].

В процессе разделения навоза в фильтровальной перегородке по обеим ее сторонам создается разное давление, вследствие чего через поры фильтровальной перегородки проходит жидкая фракция (фильтрат), а твердые частицы задерживаются за этой перегородкой.

На начальной стадии фильтрования всегда наблюдается мутный фильтрат, это объясняется прохождением твердых частиц через фильтровальную перегородку. Когда перегородка приобретает достаточно задерживающую способность, фильтрат становится

прозрачным. Это процесс достигается за счет уменьшения эффективного сечения пор (фильтрование с закупориванием пор), либо вследствие образования сводиков над входами в поры (фильтрование с образованием осадка).

На практике чаще встречается процесс фильтрования с образованием осадка, чем фильтрование с закупориванием пор и вероятнее всего является постоянным в предлагаемом устройстве.

Цель работы: разработка и исследование устройства для разделения навоза, работающего без подвода энергии извне.

Задачи, решаемые в рамках данной работы:

1. Исследовать закономерности вращения шнека в зависимости от давления суспензии, расхода, размера отверстий фильтрующей перегородки.
2. Исследовать закономерности изменения давления внутри разделителя в зависимости от параметров шнека и фильтрующей перегородки.

Теоретическая часть

Скорость фильтрования через перегородку [3] определяется разностью давления на поверхности фильтровальной перегородки, общим сопротивлением осадка, вязкостью фильтрата и общим сопротивлением осадка:

$$W = \frac{\Delta P}{\mu(r_0 \cdot h_{oc} + R_{фл})} , \quad (1)$$

где ΔP – разность давления на поверхности фильтровальной перегородки, соприкасающейся с воздухом, и поверхности осадка, Па;

μ – вязкость фильтра, $H \cdot c \cdot m^{-2}$;

r_0 – удельное объемное сопротивление осадка, m^{-2} ;

h_{oc} – толщина слоя осадки, м;

$R_{фл}$ – сопротивление фильтровальной перегородки, m^{-1}

$$\Delta R = P_{oc} + P_{фл} , \quad (2)$$

где P_{oc} – сопротивление слоя осадка, m^{-1} ;

$P_{\text{фл}}$ – сопротивление фильтровальной перегородки, м^{-1} .

$$N_1 + N_2 \rangle N_3 + N_4, \quad (3)$$

где N_1 - мощность турбины;

N_2 - мощность шнека, работающего в режиме турбины;

N_3 - мощность на преодоление трения в подшипниках шнека;

N_4 - мощность на перемещение слоя густой фракции навоза, осаждающейся на фильтрующей перегородке.

Мощность гидротурбины определяется по следующей зависимости [3],

$$N_1 = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{102} \cdot \eta, \text{ кВт} \quad (4)$$

где γ - расход жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q - плотность стоков, $\text{кг}/\text{м}^3$;

H - рабочий напор, Па;

η - КПД турбины.

Для определения мощности шнека определим крутящий момент на его валу от давления навозной массы. Рассмотрим силы, действующие на винтовую поверхность шнека. Известно, что на бесконечно малую поверхность dF винтовой поверхности (рис. 2), ограниченную в плане бесконечно близкими радиусами ρ_u ($\rho + d\rho$) и бесконечно малым центральным углом $d\varphi$, находящуюся под давлением H , действует элементарная сила $dP = H \cdot dF$.

Эта сила направлена по нормали к площадке dF . Если разложить эту силу на осевую, радиальную и тангенциальную составляющие, то станет ясно, что крутящий момент создается только тангенциальной составляющей dP_t , равной произведению давления H на проекцию элементарной площадки dF в тангенциальном направлении:

$dP_t = H \cdot dF_t$. Крутящий момент: $dM = \rho \cdot dP_t = \rho \cdot H \cdot dF_t$. Так как отношение $\frac{dF_t}{dF_z}$ равно

тангенсу угла подъема винтовой поверхности шнека, который равен в свою очередь

$$\text{tg} \gamma = \frac{h}{2\pi\rho} \quad (\text{где } h \text{ – шаг винта}), \text{ то } dF_t = \frac{h}{2\pi\rho} \cdot dF_z.$$

Тогда $dM = \frac{h}{2\pi} \cdot P_z$. Интегрируя это выражение, получим: $M = \frac{h}{2\pi} \cdot P_z$. Поскольку $dP_z = H \cdot dF_z$, то $P_z = H \cdot F_z$, где F_z - площадь проекции винтовой поверхности в осевом направлении

$$F_z = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot \frac{L}{h}, \quad (5)$$

где D - наружный диаметр шнека, м;

d - диаметр вала шнека, м;

L - длина шнека.

Следовательно
$$M = \frac{H \cdot L(D^2 - d^2)}{8} \quad (6)$$

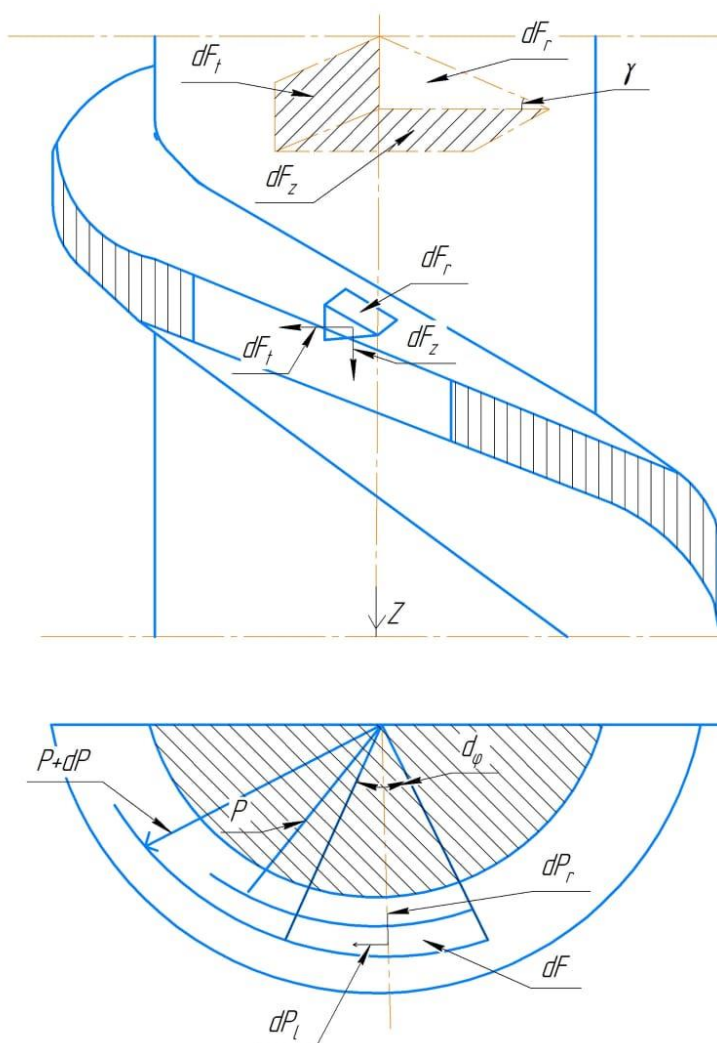


Рис. 1. Силы, действующие на винтовую поверхность шнека

Мощность на валу шнека за счет давления навозной массы определится следующей зависимостью:

$$N_2 = \frac{H \cdot L \cdot \omega (D^2 - d^2)}{8}, \quad (7)$$

где ω - угловая скорость шнека, с^{-1} .

Мощность на перемещение густой фракции навоза:

$$N_3 = c_0 \frac{Q \cdot L}{(I + I/x_0) \cdot 360}, \quad (8)$$

где c_0 - коэффициент сопротивления, определяемый эмпирическим путем, $x_0 = c_0 \frac{V_{oc}}{V}$;

где V_{oc} - объем осадка, м^3 ;

V - объем фильтра, м^3 .

Ввиду незначительных затрат энергии на преодоление трения в подшипниках их величиной пренебрегаем.

Окончательное уравнение баланса мощности будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{102} \cdot \eta + \frac{H \cdot L \cdot \omega \cdot (D^2 - d^2)}{8} \cdot c_0 \frac{Q \cdot L}{(I + I/x_0) \cdot 360}. \quad (9)$$

За счет соблюдения баланса мощности будет обеспечено вращение шнека, очищение поверхности фильтрующей перегородки и транспортируется осадок к выходу из установки [3].

Данную энергию можно использовать на выполнение наиболее энергоемкой операции разделения его на фракции. Как показывают проведенные исследования, можно не только снизить энергоемкость процесса, но и упростить технологию переработки жидкого навоза. Закономерности развития устройств для разделения навоза на фракции за счет его напора показали, что наиболее перспективны устройства с активным рабочим органом для съема осадка с внутренней поверхности фильтрующего элемента и транспортирования его к выходу. Испытание предложенного устройства в производственных условиях подтвердили выдвинутую гипотезу и показали принципиальную возможность разделения навозных стоков.

Крайне неблагоприятная ситуация с использованием навоза, складывающаяся в настоящее время в Российской Федерации, помимо общеизвестных факторов зависит и от

Булаев Е.А., Сырбаков А.П., Матяш С.П., Речкин С.В.

Экспериментальные исследования применения рекуперативной энергии при разделении жидкого навоза на фракции

.....
**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**
=====

несовершенства применяемых технологий и оборудования. В связи с этим актуальным и необходимым является разработка оборудования с использованием на привод его рабочих органов "попутной" энергии с одновременным упрощением технологии. Особенно это важно для животноводческих комплексов, в частности свиноводческих, в связи с большими выходами с них стоков высокой влажности [4].

Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования проводились на установке для съема осадка, выполненной в виде шнека-турбины постоянного диаметра (рис. 2).



Рис.2. Шнек-турбина с постоянным диаметром

В связи с этим после проведения первого этапа были скорректирована программа исследования, осуществлена доработка экспериментальной установки [5].

Исследованиями установлена [6] крайне низкая эффективность разделения стоков на установке со шнеком-турбиной постоянного диаметра (рис. 3). Исследования проводились при подаче навозных стоков 25-65 м³/ч на фильтрующий элементами в виде решет, с размерами ячеистой формы 1x20 мм и с диаметрами отверстий 1,5 и 3,5 мм. Зазоры принимались равными 2,6,10 мм и устанавливались копирующей лентой регулирующей

диаметр шнека-турбины между внутренней поверхностью фильтрующего элемента. (табл. 1).

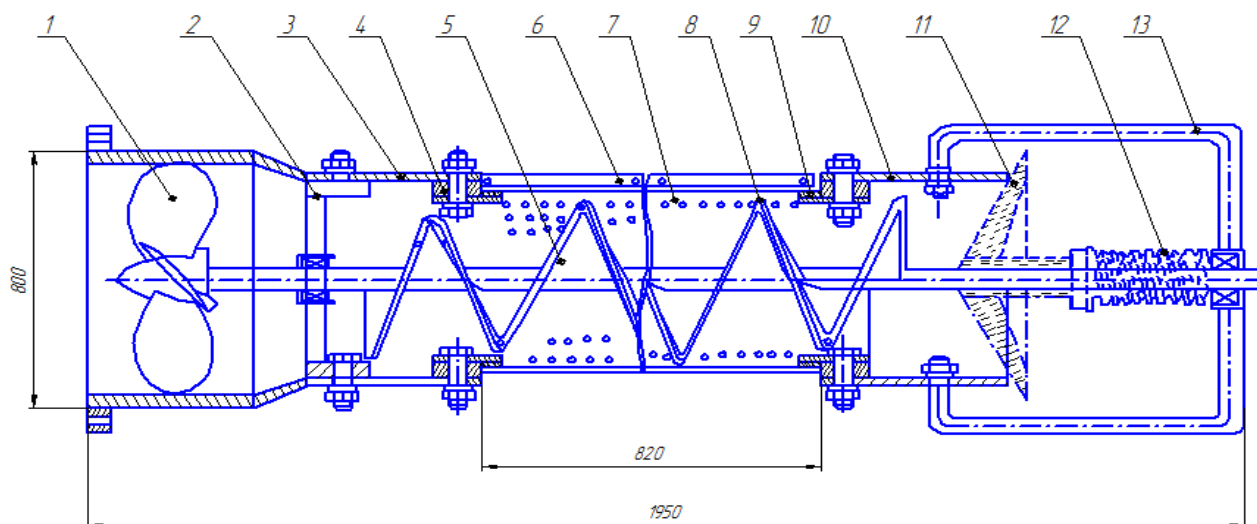


Рис. 3. Устройства для разделения навозных стоков со шнеком-турбиной постоянного диаметра для съема и транспортирования осадка

Примечание: 1-осевая турбина; 2-крестовина с подшипником; 3-впускной трубопровод; 4-труба; 5-шнек; 6-уголок крепежный; 7-фильтрующий элемент; 8-копирующая лента регулирования диаметра шнека; 9- регулировочная прокладка; 10-выпускной трубопровод; 11-конус; 12-пружина; 13-крестовина для крепления запорного конуса.

Таблица 1. Параметры исходных стоков, густой фракции и фильтрата в зависимости от параметров и режимов работы установки

Размер ячеек фильтрующей поверхности	Зазор между витками шнека турбины с фильтрующим элементом, мм	Влажность исходного навоза	Влажность густой фракций	Влажность фильтрата
Диаметром 1,5 мм	10	98,8	закупоривание отверстий фильтрующего элемента	
	6	98,8	закупоривание отверстий фильтрующего элемента	
	2	98,8	закупоривание отверстий фильтрующего элемента	
Диаметром 3,5 мм	10	98,3	92,0	99,6
	6	98,3	89,5	99,7
	2	98,3	85,0	98,6
Ячеистые 1 x 20	10	98,6	закупоривание отверстий фильтрующего элемента	
	6	98,6	закупоривание отверстий фильтрующего элемента	
	2	98,6	закупоривание отверстий фильтрующего элемента	
Ячеистые 2 x 20	10	98,3	97,20	99,15
	6	98,3	97,0	99,3
	2	98,3	89,0	99,2

Основная причина низкой эффективности работы устройства для разделения навозных стоков со шнеком-турбиной постоянного диаметра для съема и транспортирования осадка - неравномерность давления по длине фильтрующего элемента: пониженное - на входе (вследствие фильтрации), повышенное - на выходе. По этой причине происходила дестабилизация процесса разделения, выражающаяся в смешивании полученной густой фракции с исходной массой, кроме того, из-за переменного давления массы по длине фильтрующего элемента и фильтрующим элементом. При этом с увеличением расхода происходит линейный рост частоты вращения, достигая 330 об/мин при расходе 80 м³/ч (рис. 4).

При использовании фильтрующих элементов с ячейками 2 x 20 мм частота вращения ниже, чем на решетках с диаметром отверстий 1 мм и ячеек 1 x 20 мм. Объясняется это снижением давления в фильтрующей перегородке за счет выделения фильтрата. В этом случае имеется разница в частоте вращения в зависимости от зазора между витками шнека-турбины и внутренней поверхностью фильтрующей перегородки (рис. 5).

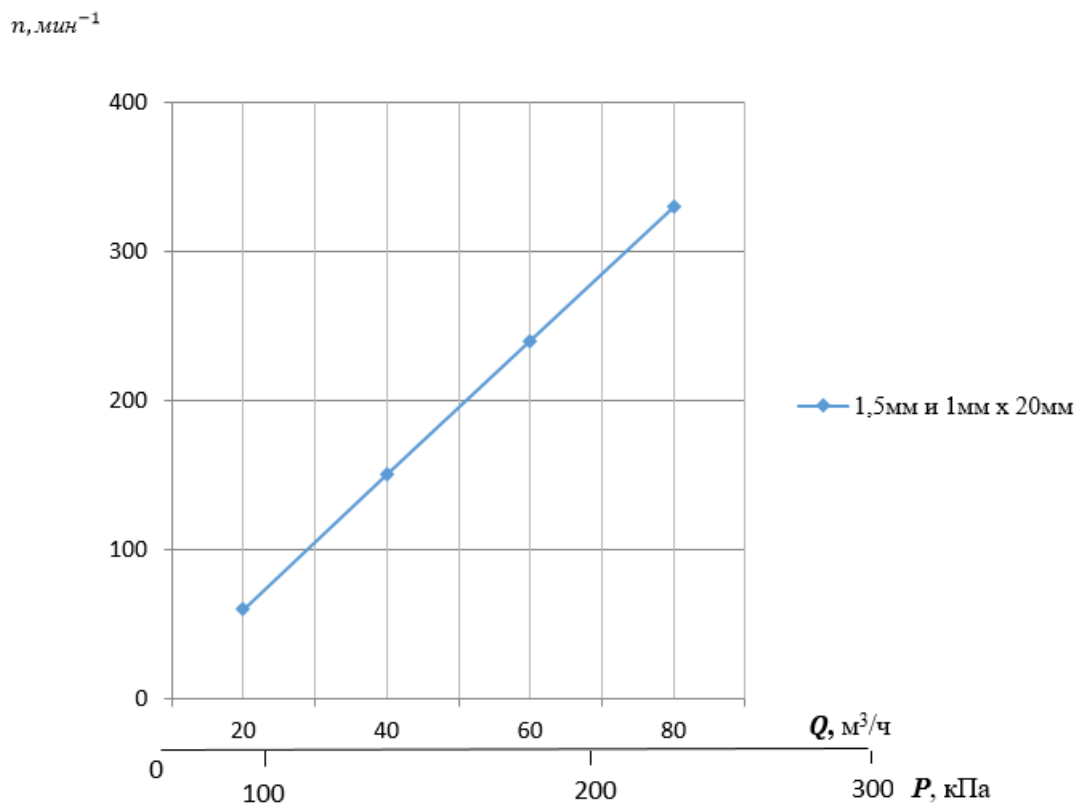


Рис. 4. Зависимость частоты вращения шнека-турбины от производительности и давления на фильтрующих элементах с размером ячеек диаметром 1,5 мм и 1 мм x 20 мм

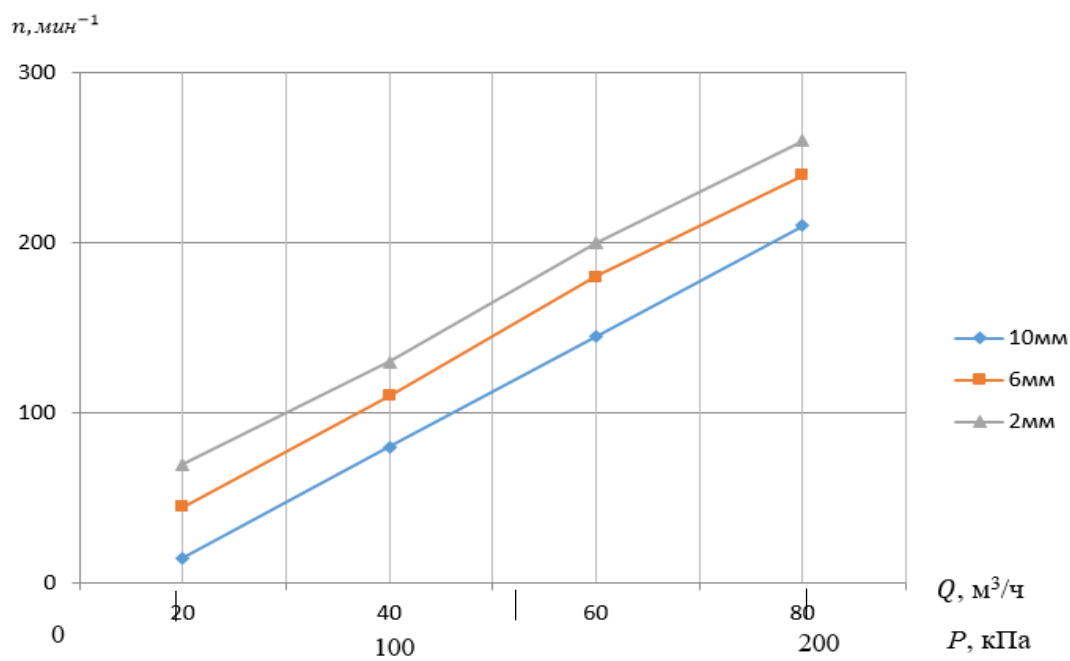


Рис. 5. Зависимость частоты вращения шнека-турбины от производительности и давления на фильтрующем элементе с размером ячеек 2x20 мм при зазорах: -10 мм; -6 мм; -2 мм

Булаев Е.А., Сырбаков А.П., Матяш С.П., Речкин С.В.

Экспериментальные исследования применения рекуперативной энергии при разделении жидкого навоза на фракции

.....

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

=====

На решетках с диаметром отверстий 3,5 мм частота вращения шнека наименьшая (рис. 6), что объясняется снижением давления вследствие фильтрации. Зависимость частоты вращения шнека-турбины от зазора в этом случае более значительна.

Основной конечной целью проведения исследований был выбор параметров фильтрующей перегородки и режимов работы разделителя. В связи с этим качественные показатели процесса определялись при разных подачах исходных стоков и зазоре между витками шнека-турбины и внутренней поверхностью фильтрующей перегородки. Степень поджатия запорного конуса при этом выбиралась экспериментально, исходя из давления внутри фильтрующей перегородки. Как показали эксперименты наилучшие результаты разделения достигаются при давлении 80-150 кПа. Установлено (рис. 6, 7), что наилучшие результаты по качественным показателям получаются при использовании фильтрующего элемента с отверстиями диаметром 3,5 мм с зазором 2 мм. В этом случае при производительности 30 м³/ч влажность густой фракции составляла 85%, при 65 м³/ч - 94%. При производительности 30 м³/ч на фильтрующем элементе с отверстиями 3,5 мм и зазоре 6 мм влажность густой фракции составляет 89,5%, с дальнейшим увеличением подачи до 65 м³/ч растёт ее влажность. При дальнейшем повышении расхода вся масса уходит через фильтрующий элемент и запорный конус.

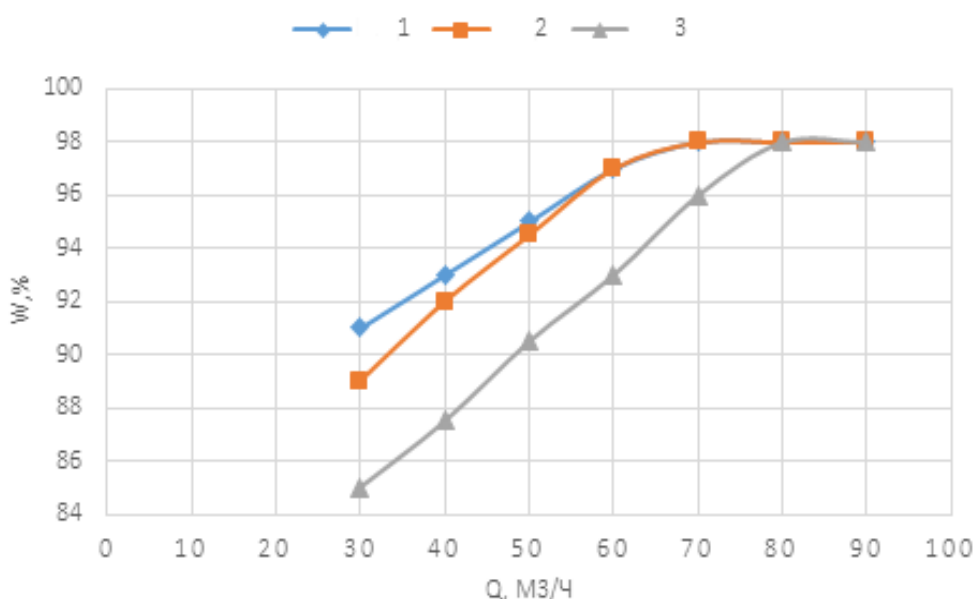


Рис. 6. Изменение влажности густой фракции от производительности разделителя на фильтрующих элементах с размером ячеек диаметром 3,5 мм при соответствующих зазорах между витками шнека и внутренней поверхностью фильтрующей перегородки: 1—при зазоре 10 мм; 2—при зазоре 6 мм; 3 – при зазоре 2 мм

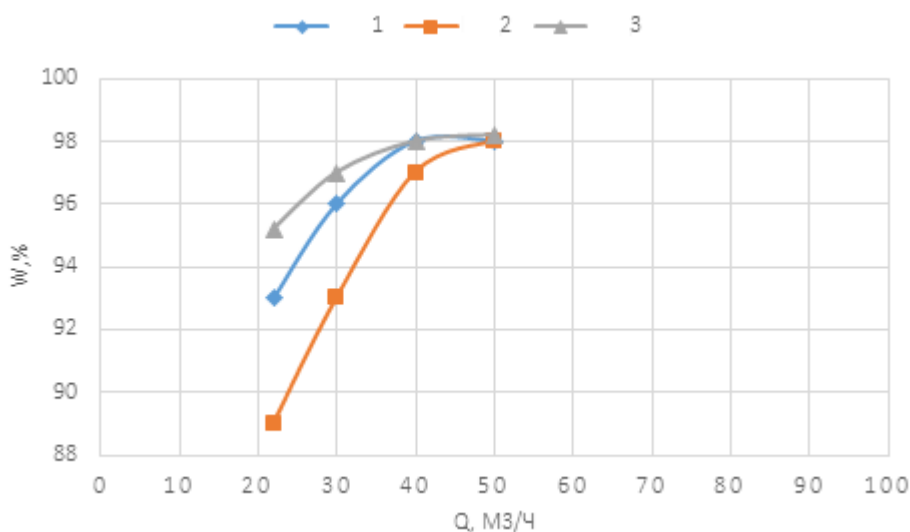


Рис. 7. Изменение влажности густой фракции от производительности разделителя на фильтрующих элементах с размером ячеек 2×20 мм при соответствующих зазорах между витками шнека и внутренней поверхностью фильтрующей перегородки:

1—при зазоре 6 мм; 2—при зазоре 2 мм; 3 – при зазоре 10 мм

При зазоре в 10 мм на фильтрующем элементе с отверстиями 3,5 мм и при производительности 30 м³/ч влажность густой фракции составляет 92%. При увеличении производительности до 65 м³/ч влажность повышается до исходной массы.

На фильтрующем элементе с ячеистыми отверстиями 2 х 20 мм при зазоре 2 мм влажность густой фракции составляет 89% при производительности 23 м³/ч (рис. 7), при дальнейшем повышении расхода до 50 м³/ч влажность густой фракции растет, приближаясь к влажности исходных стоков.

При зазоре 6 и 10 мм и производительности 23 м³/ч фильтрование через пористую перегородку практически не происходит и вся масса влажностью 97% уходит через запорный конус.

На фильтрующем элементе с отверстиями ячеистой формы размером 1х 20 мм и с круглыми отверстиями диаметром 1,5 мм фильтрование через пористую перегородку так же не происходит, вся масса уходит через конус в выпускной трубопровод.

Предложения по возможному использованию полученных результатов в производстве

Полученные результаты экспериментальных исследований и итоги производственной проверки свидетельствуют о возможности встраивания

разрабатываемого устройства в трубопровод подачи стоков непосредственно с комплекса (рис. 8).

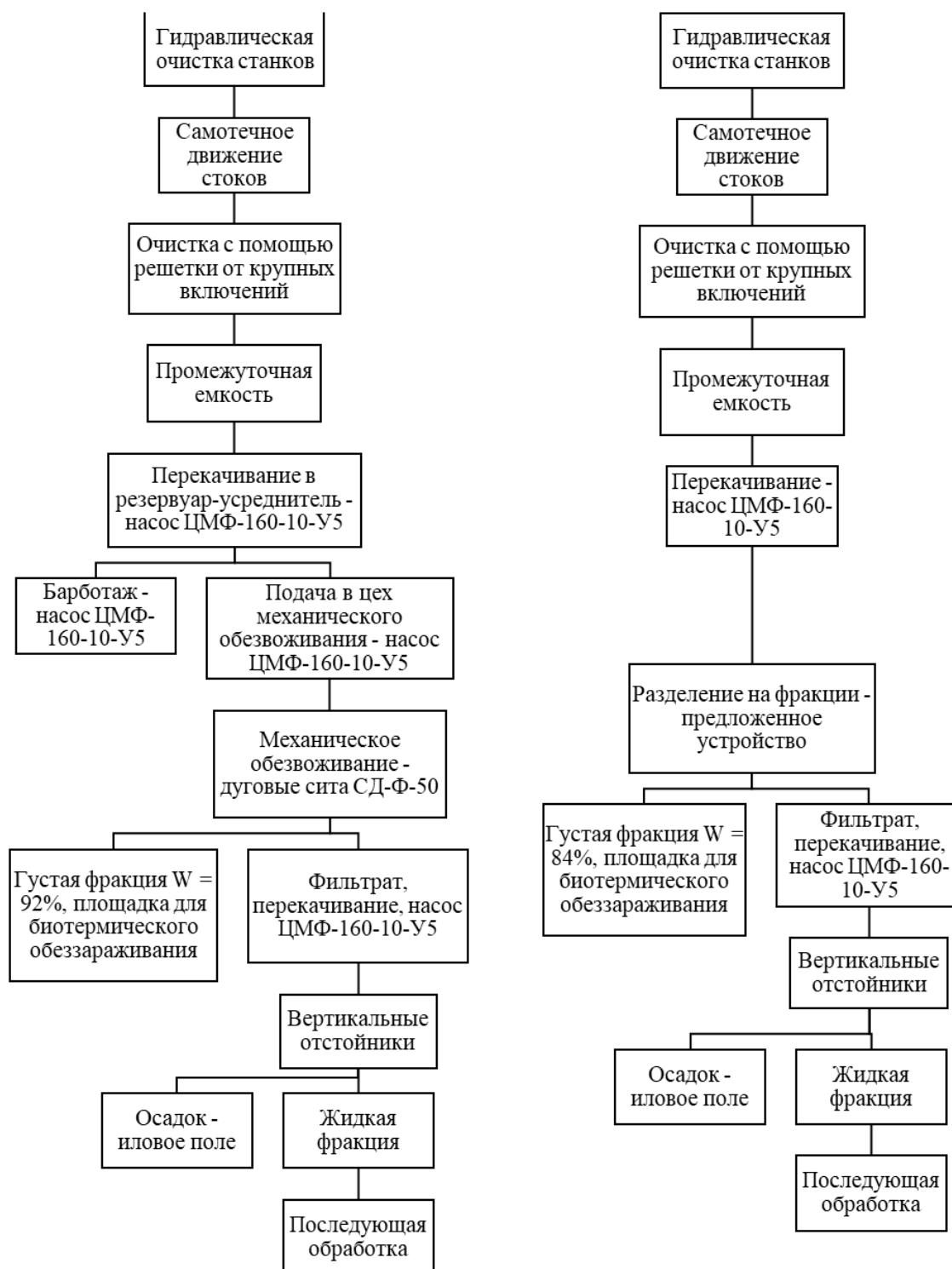


Рис. 8. Техническая схема механического обезвоживания навозных стоков:
 а – существующая; б - предлагаемая

Фильтрат в этом случае целесообразно подавать в вертикальные отстойники с последующей его обработкой по существующей технологии. Такая схема позволяет исключить из технологической цепи две насосные станции, цех по механическому обезвоживанию навоза, резервуар-усреднитель, сократить длину трубопроводных сетей [7-10].

Выводы

1. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность разделения жидких навозных стоков влажностью 99% с помощью разрабатываемого устройства, встроенного в навозопровод, при этом привод шнека-турбины можно осуществлять за счет напора навозной массы.

2. Экспериментальными исследованиями установлено, что предлагаемое устройство более чем вдвое повышает эффективность разделения навоза на фракции, по сравнению с существующими аналогичными устройствами. Влажность густой фракции на фильтрующем элементе с диаметром 3,5 мм составляет 85%, фильтрата - 99,4%.

3. Применение предложенного устройства на очистных сооружениях крупных и мелких свиноводческих и животноводческих комплексов с гидравлической системой удаления жидкого навоза позволит отказаться от излишнего многократного перекачивания стоков с одновременным уменьшением протяженности трубопроводных систем.

4. Результаты экспериментальных исследований подтверждены производственной проверкой макетного образца.

Список использованных источников:

1. Скорб, И. И. Совершенствование процесса уборки навоза при использовании гидравлических систем. – Минск: БГАТУ, 2002. – 128 с.: ил. – ISBN 978-985-25-0047-0.

2. Булаев Е.А., Речкин С.В., Сырбаков А.П. Теоретическое обоснование использования рекуперативной гидравлической энергии при разделении навоза на фракции // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК: материалы IX Национальной научно-практической конференции с международным участием «Чтения И.П. Терских»/ редкол.: Н.Н. Дмитриев [и др.] - Молодежный: Иркутск ГАУ, 2021. - 180 с.

3. Жужиков В.А. Фильтрация: теория и практика разделения суспензий. - 4-ое изд.

перераб. и доп.-М.: Химия, 1980. - 40 с.

4. Строгий, Б.Н. Теоретические исследования процесса разделения навоза многофункциональной установкой Текст. / А.М. Бондаренко, В.Ф. Яламов, Б.Н. Строгий // Вестник аграрной науки Дона. 2008. - № 3. - С. 4-7.

5. Патент 2086117 Российская Федерация. Устройство для разделения навоза на фракции при транспортировании / Ожигав В.П., Булаев Е.А. - Опубл. в Бюл. № 22, 1997.

6. Ожигав В.П., Булаев Е.А. Обоснование параметров рекуперативного разделителя навоза // Техника в сельском хозяйстве, 1997. № 1. - С. 12-15.

7. Булаев Е.А., Сырбаков А.П., Речкин С.В., Матяш С.П. Совершенствование устройств для разделения навоза на фракции. // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК: материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием «Чтения И.П. Терских»/ редкол.: Н.Н. Дмитриев [и др.] - Молодежный: Иркутск ГАУ, 2022. – С. 157-163.

8. A.s. 694149 USSR. Device for transporting manure / V.K. Parshin – Published. in B.I. No. 40, 1979.

9. A.S. 1117026 USSR. Device for separating manure into fractions during transportation / V.N. Dolmatov, Yu.N. Vasiliev, N.G. Fateev, V.A. Isaev – Published. in B.I. No. 37, 1984.

10. A.s. 1561862 USSR. Device for separating manure into fractions / V.A. Grebtsov, V.E. Troinin, N.V. Konopkin, P.A. Tsykav – Published. in B.I. No. 17, 1990.

=====

Цитирование:

Булаев Е.А., Сырбаков А.П., Матяш С.П., Речкин С.В. Экспериментальные исследования применения рекуперативной энергии при разделении жидкого навоза на фракции [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/1/st_114.pdf