

Совершенствуемый электротехнологический способ обеспечивает возможность эффективного сочетания и комплексного использования с другими методами обработки и очистки воды (магнитная обработка и др.).

Анализ стоимости различных способов очистки воды, которые реализуются с использованием дорогостоящих реагентов и расходных материалов, позволяет сделать вывод о том, что электротехнологический способ водоподготовки имеет экономическое преимущество (таблица 2).

Таблица 2 - Экономическая эффективность совершенствуемого способа

| Способ получения воды  | Приблизительная себестоимость воды \$/м <sup>3</sup> * |
|--|--|
| Водопроводная вода   | 0,4 - 2  |
| Бутилированная вода  | до 150   |
| Вода, очищенная при помощи мембран   | до 15  |
| Вода, очищенная при помощи ионообменной технологии                                     | 0,8 - 3,5  |
| Вода, очищенная электрохимическим способом при стоимости электроэнергии 0,03- \$/кВт ч | 0,6-2,5  |

\* - приведены усредненные показатели мировых цен на воду и электрическую энергию

Таким образом, совершенствуемый электротехнологический способ позволяет получать воду с параметрами, соответствующими стандартам на питьевую воду при наименьшей себестоимости в сравнении с традиционными способами очистки и водоподготовки. При этом обеспечивается возможность регулирования параметров получаемой воды с целью ее использования в таких технологических процессах, как поение сельскохозяйственных животных, мойка и дезинфекция оборудования, а также для бытовых целей.

#### Литература

1. Водоснабжение животноводческих комплексов с применением погружных электронасосных агрегатов: монография / В. С. Ивашко [и др.]; под ред. В. К. Пестиса, 2011. - 250 с.
2. Прищепов, М.А. Выбор электротехнологического оборудования для подготовки воды на животноводческой ферме / М.А. Прищепов, Р.Д. Григорьев // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сборник научных статей Международной научно-практической конференции, (Минск, 21-23 ноября 2018 года) - Минск: БГАТУ, 2018. - С. 516-519
3. Григорьев, Р.Д. Исследование электротехнологии подготовки воды на свиноводческом комплексе / Р.Д. Григорьев // Сельское хозяйство - проблемы и перспективы: сборник научных трудов / ГГАУ. - Гродно, 2018. - Т. 41 : Зоотехния. - С. 41-47
4. Прищепов, М.А. Электротехнология водоподготовки в энергетическом балансе фермы / М.А. Прищепов, Р.Д. Григорьев // Актуальные вопросы энергетики в АПК : матер. всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Благовещенск, 27 фев. 2019 г.). – Благовещенск: Изд-во Дальневосточного гос. аграрного ун-та – Благовещенск, 2019. – С. 35-37.

УДК 631.363

#### **УПРАВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗАННЫМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ВАЛЬЦОВЫХ ПЛЮЩИЛОК-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА**

**Прищепова Е.М., Дайнеко В.А., к.т.н., доцент**  
БГАТУ, г. Минск, Республика Беларусь

В структуре себестоимости производства мяса, молока и других продуктов животноводства, корма составляют 60 %. Однако эффективность их использования во многом зависит от подготовки их к скармливанию. Одним из способов, позволяющих полнее использовать питательные вещества зерновых кормов является их плющение при консервировании или измельчение перед скармливанием. Таким образом, разработка высокопроизводитель-

ных энергоэффективных плющилок-измельчителей зерна, обеспечивающих технологические процессы плющения и измельчения зерна, а также повышение эффективности функционирования существующих является одной из актуальнейших задач кормоприготовления.

Указанные процессы приготовления кормов сопровождаются значительными затратами энергии. Совершенно очевидно, что даже незначительное снижение энергозатрат при кормоприготовлении дает огромный народнохозяйственный эффект.

Для того, чтобы вальцовая плющилка-измельчитель выполняла технологические процессы плющения и измельчения зерна и обеспечивала высокую энергоэффективность процессов в ней необходимо использовать взаимосвязанный частотно-регулируемый асинхронный электропривод для каждого из валцов в отдельности [1,2].

При этом в работе [3] показано, что минимум удельных приведенных затрат при высокой загрузке плющилки-измельчителя будет обеспечиваться минимизацией удельных энергозатрат процессов плющения и измельчения зерна, т.е.

$$q = \frac{P}{Q} \rightarrow \min. \quad (1)$$

Учитывая, что мощность потребляемая электроприводом плющилки-измельчителя  $P$  и производительность плющилки-измельчителя  $Q$  напрямую зависят от скорости валцов, то задача алгоритма управления будет сводиться к поиску скорости валцов при которой удельные энергозатраты будут минимальным.

Для технической реализации такого алгоритма управления электроприводом при плющении зерна необходимо за определенный промежуток времени определять среднеинтегральную потребляемую из сети мощность электропривода и среднеинтегральную производительность плющилки-измельчителя зерна при изменении скорости валцов. Если измерение среднеинтегральной потребляемой из сети мощности электропривода не вызывает технических сложностей, то измерение среднеинтегральной производительности вальцовой плющилки-измельчителя весьма проблематично. Это обусловлено отсутствием высокоточных серийно выпускаемых поточных расходомеров зерна, ввиду того, что на точность их измерений существенное влияние оказывают влажность, температура, плотность зернового потока и вид культуры.

Наиболее просто и с достаточной для практической реализации точностью измерение производительности плющилки-измельчителя можно осуществить путем измерения времени плющения дозированной объемной порции зерна, находящегося в вертикальной шахте загрузки плющилки-измельчителя между нижней и верхней заслонками.

Таким образом, техническая реализация способа управления возможна через нахождение такой скорости валцов, при которой дозированная объемная порция зерна будет обработана за минимальное время.

При реализации процесса измельчения зерна в балансе мощности затрачиваемой электроприводом на измельчение, необходимо дополнительно учитывать мощность, затрачиваемую на сдвиг зерновки и мощность проскальзывания валцов по зерновке при сдвиге, т.е. мощность, затрачиваемая на сдвиг зерна также должна быть определенной, она будет определяться модулем упругости и размером зерна, межвальцовым зазором и геометрическими размерами валцов, а мощность проскальзывания валцов по зерновке при сдвиге будет определяться также модулем упругости и размером зерна, межвальцовым зазором и геометрическими размерами валцов, и кроме того, соотношением разности скоростей валцов. Следовательно, регулируя соотношение разности скоростей валцов можно влиять на величину этой составляющей и соответственно на общий баланс мощности.

Таким образом, после того, как найден оптимальный скоростной режим плющения зерна необходимо увеличивать скорость на одном из валцов, до тех пор, пока будет расти ток рекуперации в шине постоянного напряжения преобразователя частоты. Если при увеличении скорости одного из валцов прекратится увеличение тока рекуперации, то это значит что начинает расти бесполезная составляющая баланса мощности и оптимальный режим измельчения зерна уже был найден ранее [4].

Для пояснения вышесказанного на рисунке 1 приведена блок-схема алгоритма управления взаимосвязанными электроприводами вальцовых плющилок-измельчителей зерна с рекуперацией электрической энергии, где в блоке 1 оговорено исходное состояние заслонок вертикальной шахты загрузки зерна.

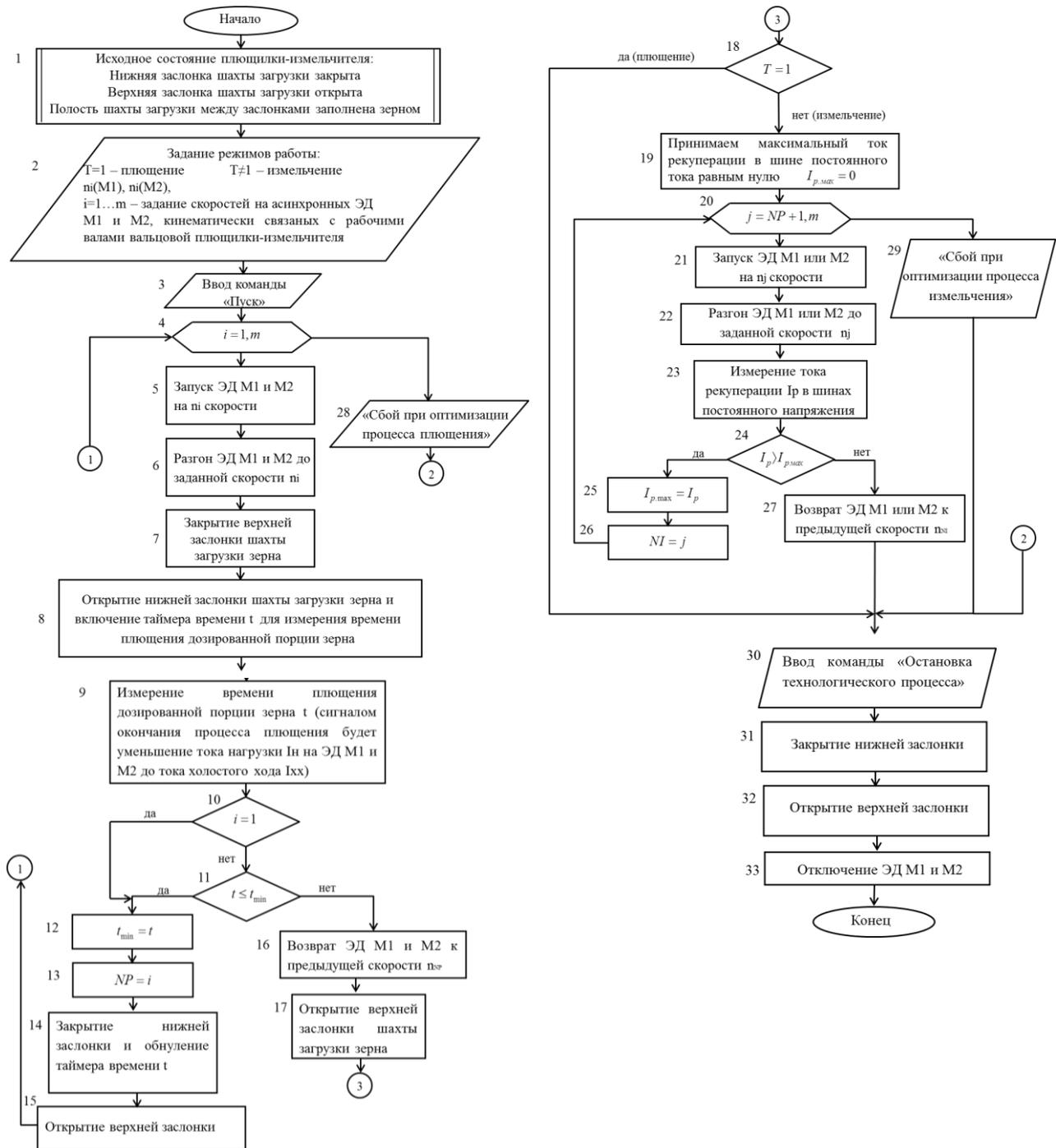


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма управления взаимосвязанными электроприводами вальцов плющилки-измельчителя зерна с рекуперацией электрической энергии

В основу алгоритма управления заложено изменение скорости валцов ступенчато (m ступеней) от меньшей к большей. В блок-схеме алгоритма скорости валцов и технологический режим работы плющилки-измельчителя задаются в блоке 2. При этом на каждой ступени производят плющение дозированной порции зерна, находящейся между верхней и нижней заслонками вертикальной загрузочной шахты, и измерение времени за которое эта порция будет отработана. Эту процедуру проводят от меньшей скорости к большей до тех пор пока не будет определена скорость, при которой плющение порции будет происходить за

минимальное время. В блок-схеме алгоритма управления электроприводом эта процедура будет реализовываться в блоках 3-17.

Если по технологическому процессу требуется режим измельчения зерна (блок 18), то далее происходит увеличение скорости одного из валцов уже от оптимальной скорости плющения. Увеличение скорости происходит до тех пор, пока будет расти ток рекуперации  $I_p$  в шине постоянного напряжения. Это процедура будет реализовываться в блок-схеме алгоритма в блоках 19-27. В блоках 28-29 будет выдаваться сообщение о том, что оптимизация скоростного режима еще не достигнута, т.е. необходимо увеличить количество ступеней скорости или дискретность между ступенями.

В блоках 30-33 заложена процедура выключения плющилки-измельчителя с возвратом верхней и нижней заслонок шахты загрузки в исходное состояние и остановкой приводных двигателе М1 и М2.

Использование предполагаемого способа управления взаимосвязанными электроприводами вальцовой плющилки-измельчителя зерна позволит минимизировать удельные энергозатраты на выполнение технологических операций плющения и измельчения зерна путем задания оптимальных скоростных режимов взаимосвязанной работы электроприводов.

#### Литература

1. Способ управления взаимосвязанными электроприводами с рекуперацией электрической энергии: пат. 19919 Респ. Беларусь, Н 02Р 5/74 / М.А. Прищепов, В.В. Гурин, Е.М. Прищепова, Д.М. Иванов; заявитель Белор. гос. агр. техн. ун-т – № а 20131163; заявл. 08.10.13; опубл. 28.02.16// Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 1. – С. 133.
2. Устройство управления взаимосвязанными частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами с рекуперацией электрической энергии (варианты): пат. 21618 Респ. Беларусь, Н 02Р 5/74 / М.А. Прищепов, В.В. Гурин, Е.М. Прищепова, Д.М. Иванов; заявитель Белор. гос. агр. техн. ун-т – № а 20150506; заявл. 26.10.15; опубл. 28.02.18// Афіцыйны бюл./ Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2018. – № 1. – С. 158.
3. Дайнеко, В.А. Обоснование целевой функции и критерия оптимизации конструктивных и технологических параметров системы электропривода вальцовых плющилок-измельчителей зерна / В.А. Дайнеко, И.И. Гургенидзе, Е.М. Прищепова // Агропанорама. - 2015. - №4. - С.30-35.
4. Способ управления взаимосвязанными электроприводами вальцовой плющилки-измельчителя зерна с рекуперацией электрической энергии: пат. 21847 Респ. Беларусь, В 02С 4/42/, Н 02Р 5/74 / Е.М. Прищепова, В.А. Дайнеко; заявитель Белор. гос. агр. техн. ун-т – № а 20150636; заявл. 16.12.15; опубл. 30.04.18 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2018. – № 2. – С. 77-78.

## **ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА: МИРОВОЙ ОПЫТ И ПРОБЛЕМЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ В БЕЛАРУСИ**

**Русан В.И.** д.т.н., профессор  
БГАТУ, г. Минск, Республика Беларусь

Возобновляемая энергия признана важной составляющей энергетики в XXI веке, а ее эффективное использование является одним из направлений устойчивого энергообеспечения различных государств в мире. Генеральная Ассамблея ООН объявила 2012 год Международным годом устойчивой энергетики для всех.

В 2009 году организовано международное агентство по возобновляемой энергетике (IRENA) для координации работ в этой области.

Основное преимущество ВИЭ – неисчерпаемость и экологическая чистота. Эти качества и послужили основанием бурного развития возобновляемой энергетики за рубежом и весьма оптимистических прогнозов их развития в ближайшем будущем.