

**Выводы:**

1. В действующих нормативных документах не в полном объеме приведены методики расчета показателей несимметрии напряжений с использованием измеренных значений междуфазных и фазных напряжений трехфазной электрической сети, что затрудняет их определение при отсутствии специальных дорогостоящих измерительных приборов, а также может вызвать сомнения в достоверности полученных результатов.

2. Существующие методики аналитического расчета требуют доработки, так как предназначены только для вычисления модулей симметричных составляющих и коэффициентов несимметрии, но не позволяют определять углы фазового сдвига  $\varphi_2$  и  $\varphi_0$ .

**Литература**

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2006. 33 с.
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. (EN 50160:2010, NEQ). - Взамен ГОСТ 13109-97; введ. 2016-04-01. - Минск : Госстандарт, 2015. - 20 с.
3. EN 50160-2020 Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks (Характеристики напряжения электроэнергии, подаваемой от общих распределительных сетей), 2020.
4. ГОСТ 30804.4.30 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии». М.: Стандартинформ, 2014. 52 с.

УДК 621.311, 658.261

**РАЗВИТИЕ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Кравцов А.М., к.т.н., доцент, Фицнер М.А., магистрант**

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Развитие сельскохозяйственного производства для обеспечения продовольственной безопасности Республики Беларусь – одна из главных социально-экономических задач государства [1]. Решение этой задачи направлено на обеспечение внутренних потребностей в продовольствии и наращивание экспорта. Причем экспорт сельскохозяйственной продукции является важным источником доходов для экономики Республики Беларусь. В условиях конкуренции для наращивания экспорта сельскохозяйственным предприятиям приходится заботиться не только об увеличении объемов выпуска продукции, но и о повышении ее конкурентоспособности, в том числе за счет снижения себестоимости, которая существенно зависит от энергозатрат на единицу производимой продукции.

Энергосбережение и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) является актуальным вопросом не только для отдельных сельскохозяйственных организаций, но и для государства в целом [2, 3]. Это связано с высокой зависимостью Республики Беларусь от импортируемых энергоресурсов, что негативно сказывается не только на энергетической безопасности, но и на других аспектах государственной политики. В соответствии с [3] «в складывающейся экономической ситуации необходимо активизировать работу по реализации государственной политики по повышению энергетической эффективности социально-экономического комплекса, предусматривающую жесткую экономию ТЭР, снижение затрат на единицу производимой продукции, в том числе тепловой и электрической энергии».

Основными направлениями развития энергетики Республики Беларусь [2, 3] являются: диверсификация поставщиков ТЭР; развитие сектора нетрадиционной и возобновляемой энергетики; максимальное использование местных видов топлива (МВТ), в том числе отходов производства и жилищно-коммунального хозяйства. В сельском хозяйстве особенно актуален вопрос использования МВТ и отходов производства. Это связано с особенностями сельскохозяйственного производства, где образуется большое количество отходов, которые можно использовать в качестве топлива или биомассы для получения биогаза, с последующим использованием для выработки электрической и тепловой энергии [4].

В Республике Беларусь широкое распространение имеют централизованные системы электро- и теплоснабжения. Централизация систем энергоснабжения активно развивалась в СССР с середины прошлого века, что было продиктовано существовавшим тогда общественно-экономическим укладом и необходимостью обеспечения энергоресурсами быстроразвивающейся послевоенной экономики. Это привело к существенному сокращению генерирующих установок малой мощности. Так, например, в 60-х годах XX века в БССР действовало около 180 малых ГЭС с годовой выработкой электроэнергии 88 млн кВт·ч. В 80-х годах XX века осталось только 4 действующие ГЭС. За последние десятилетия наметилась обратная тенденция. В настоящее время в Беларуси действуют 52 ГЭС с суммарной установленной электрической мощностью около 100 МВт. Также заметен рост использования МВТ и возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как солнечная, ветровая, геотермальная, биотопливо и биогаз. В настоящее время мощность установок ВИЭ составляет более 600 МВт. Несмотря на реализацию в Республике Беларусь государственных программ и проектов, направленных на повышение энергетической безопасности государства, в сельском хозяйстве имеются огромные резервы энергосбережения.

На сегодняшний день централизованные системы не утратили своей актуальности, особенно с вводом в эксплуатацию БелАЭС, однако в новых условиях возникает все больше недостатков: физический износ оборудования и недостаточная мощность распределительной сети; использование ископаемого топлива, основной объем которого импортируется из одной страны-поставщика; невозможность потребителей влиять на стоимость и качество энергии; потери энергии при ее транспортировке на большие расстояния и так далее.

Перспективным направлением развития энергетики является использование гибридных энергетических комплексов - энергетических систем, объединяющих в рамках единой технологической схемы разнообразные источники энергии (возобновляемые и невозобновляемые), генераторы различных видов энергии (электрической и тепловой), аккумуляторы энергии, интеллектуальные распределительные сети и активных потребителей. Под последними понимаются участники потребительского рынка энергии, которые имеют возможность оптимизировать график загрузки своих мощностей как с целью минимизации энергозатрат, так и с целью получения дохода от продажи энергии.

Дальнейшее развитие централизованных сетей энергоснабжения и на их основе создание гибридных энергетических комплексов с использованием МВТ и ВИЭ в сельском хозяйстве позволит обеспечить экономию энергоресурсов и снижение себестоимости продукции, а также повысить надежность энергоснабжения и качество электроэнергии, что особенно важно при внедрении в производство современных автоматизированных и роботизированных технологий.

Перспективными источниками энергии в сельском хозяйстве Республики Беларусь являются прямая солнечная энергия, ветер, гидравлическая энергия малых водотоков, местное биотопливо, отходы производства, биогаз, низкопотенциальные геотермальные источники и бросовое тепло технологических процессов. Каждый из этих источников энергии имеет свои преимущества и недостатки. При этом научно-обоснованное комбинирование различных источников энергии позволяет нивелировать их недостатки и обеспечить наиболее эффективное использование.

В области электроснабжения перспективным направлением является создание гибридных энергетических комплексов с распределенной генерацией энергии множественными источниками, в том числе возобновляемыми, объединенными в интеллектуальную энергосеть (*Smart Grid*) на базе централизованной сети, или локальных сетей [5, 6].

В соответствии с обозначенными перспективными направлениями развития энергоснабжения сельского хозяйства на кафедре «Энергетика» Белорусского государственного аграрного технического университета осуществляются научные исследования по следующим направлениям: методология научного обоснования аграрных комплексных энергосистем с использованием МВТ, ВИЭ и отходов производства; автоматизированные системы управления гибридными энергетическими комплексами.

УДК 631.372

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТАХ**

**Павлюковец С.А.**, к.т.н., доцент, **Вельченко А.А.**, к.т.н., доцент,

**Радкевич А.А.**, магистрант

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Роботизация агропромышленного комплекса, ставшая тенденцией последнего десятилетия, породила целый класс мобильных устройств сельскохозяйственного назначения. Из числа мобильных сельскохозяйственных агроботов получили развитие беспилотные наземные и летательные аппараты. Наземные агроботы являются многофункциональными устройствами, способными выполнять широкий класс операций, которые нашли своё применение в точном земледелии. Для наземных сельскохозяйственных мобильных роботов немаловажным аспектом является управление электроприводами движителей, которые могут быть колёсными либо гусеничными [1]. Очевидно, что методы и алгоритмы управления электроприводами различны в зависимости от назначения робота, режима его работы, типа выполняемых операций, а также применяемых движителей. В данной работе предлагается краткий обзор перспектив применения вентильных электроприводов в сельскохозяйственных мобильных роботах, которые занимают ведущую позицию среди электроприводов в мобильной робототехнике.

Из ряда систем электроприводов, применяемых в сельскохозяйственной робототехнике, наибольшую долю занимают сервоприводы, мотор-редукторы и мотор-колёса на основе вентильных электродвигателей [2]. Основным типом электроприводов колёс является дифференциальный привод, позволяющий реализовать независимое управление каждым движителем. В меньшей степени получили распространение электроприводы на основе коллекторных двигателей постоянного тока и асинхронных электродвигателей переменного тока.

Поскольку условия движения при работе на почвах сельскохозяйственных угодий для мобильных роботов сложны, сохранение устойчивости является ключевым вопросом интеллектуального управления. Наиболее часто используемая система привода в сельскохозяйственных роботах – электрическая трансмиссионная система, характеризующаяся простой реализацией высокоточного компьютерного управления, хорошей адаптивностью к окружающей среде, простотой обслуживания и высокой надежностью [2, 3].

Наиболее предпочтительными с точки зрения достижения высоких динамических характеристик, компактности и надёжности в управлении в сельскохозяйственных роботах являются вентильные сервоприводы на основе синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ) и бесщеточных электродвигателей постоянного / переменного тока (БДПТ) из-за их хороших пусковых и регулировочных характеристик, плавного диапазона