

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ СВИНОВОДСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
БИОГАЗА И ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ АПК СИБИРИ

М.П. Baranova, A.V. Bastron,
S.N. Shakhmatov, A.A. Ulyanova

INTEGRATED TECHNOLOGY FOR RECYCLING OF PIG-BREEDING WASTE FOR THE PRODUCTION
OF BIOGAS AND ORGANIC FERTILIZERS FOR CLIMATIC CONDITIONS
OF AGRARIAN AND INDUSTRIAL COMPLEX OF SIBERIA

Баранова М.П. – д-р техн. наук, доц., зав. каф. системознергетики Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: marina60@mail.ru

Бастрон А.В. – канд. техн. наук, доц., зав. каф. электроснабжения сельского хозяйства Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: abastron@yandex.ru

Шахматов С.Н. – канд. техн. наук, доц. каф. системознергетики Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: info@kgau.ru

Ульянова О.А. – д-р техн. наук, проф. каф. почвоведения и агрохимии Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: kora64@mail.ru

Baranova M.P. – Dr. Techn. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Systems of Energy, Krasnoyarsk State Agrarian University Krasnoyarsk state agricultural university, Krasnoyarsk. E-mail: marina60@mail.ru

Bastron A.V. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Power Supply of Agriculture, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: abastron@yandex.ru

Shakhmatov S.N. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Systems of Energy, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: info@kgau.ru

Ulyanova O. A. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Soil Science and Agrochemistry, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: kora64@mail.ru

Анализ проведенных теоретических и практических данных работы биогазовой установки предприятия ОАО «Славино», расположенного в Кемеровской области, по утилизации свиного навоза (свинокомплекс на 32 000 голов), как наиболее успешного в данном сегменте переработки отходов свиноводства как в Сибири, так и в России в целом, показал, что технология является комплексной, и что необходимо разработать и изготовить опытно-промышленную установку по получению биогаза и органических удобрений на одном из имеющихся в Красноярском крае свиноводческом комплексе и в ближайшее время начать ее эксплуатацию в местных климатических условиях для успешного внедрения передового опыта в Красноярском крае. Полученный газ используется для получения тепловой и элект-

троэнергии. На выработку 1 кВт электроэнергии необходимо 0,4–0,5 м³ биогаза. Анализ твердой фазы переработанного в биогазовой установке свиного навоза свидетельствует о высокой обеспеченности его органическим веществом, аммонийным азотом, средней обеспеченности подвижным фосфором и высокой – обменным калием. Удобрение является экологически чистым, готовым к применению концентрированным продуктом и может быть использовано под любые культуры и на любых почвах. Его достоинства и особенности связаны со способом производства. Метановое сбраживание позволяет сохранять весь азот в аммонийной или органической формах. Фосфор в удобрении находится в основном в виде фосфатидов и нуклеопотеидов, калий – в ви-

де растворимых солей, что обеспечивает лучшую их усвояемость растениями.

Ключевые слова: получение биогаза, переработка отходов, органическое удобрение.

The analysis of carried out theoretical and practical data of work of biogas installation of the JSC "Slavino" enterprise located in Kemerovo Region for utilization of pig manure (pig factory farm on 32 000 heads) as the most successful in this segment of processing of waste of pig-breeding both in Siberia, and in Russia in general, showed that technology is complex, i.e. it is necessary to develop and make trial installation on receiving biogas and organic fertilizers in one of available in Krasnoyarsk Region pig-breeding complex and soon to begin its operation in local climatic conditions for successful introduction of the best practices in Krasnoyarsk Region. The received gas is used for receiving thermal and the electric power. On development of 1 kW of the electric power 0.4–0.5 m³ of biogas are necessary. The analysis of a firm phase of the pig manure recycled in biogas installation testifies to high security with its organic substance, ammonium nitrogen, average security with mobile phosphorus and high exchange potassium. Fertilizer is environmentally friendly, by the ready to application concentrated product and can be used under any cultures and on any soils. Its advantages and features are connected with the way of production. Methane fermentation allows preserving all of the nitrogen in ammonium or organic forms Phosphorus in fertilizer is generally in the form of phosphatides and nucleoproteins, potassium is in the form of soluble salts, providing good absorption by plants.

Keywords: biogas production, recycling, organic fertilizer.

Введение. Длительная хозяйственная деятельность человека и его потребительское отношение к природе породили множество климатологических и других изменений. Энергетика, ориентированная на сельские районы, должна способствовать использованию источников энергии, работающих на недорогих природных и возобновляемых видах топлива [1]. Устойчивое развитие сельских районов во многом связано со спросом на электрическую и тепловую энергию и их предложением, стимулированием про-

цесса перехода на экологически безопасные и экономичные системы энергоснабжения сельских территорий. Это предполагает переход к диверсифицированным источникам энергии, обеспечивая использование местных возобновляемых ресурсов [2, 3].

Учитывая постоянный рост тарифов в сфере ЖКХ, отсутствие во многих сельских районах Красноярского края центрального газоснабжения, недостаточную пропускную способность и ветхость электрических сетей, постоянный рост стоимости природного газа, электрической и тепловой энергии, большие затраты на энергообеспечение отдаленных районов Красноярского края и страны в целом, было бы более чем разумным использовать для получения тепловой и электрической энергии отходы сельского хозяйства.

Следует отметить, что в решении подобных задач должно принимать участие государство, обеспечивая сельхозтоваропроизводителей законодательной и, в некоторых случаях, финансовой базой.

Успех внедрения биогазовых технологий как альтернативных источников энергии и удобрения во многом зависит от их расчетных и ожидаемых показателей эффективности. Значимость развития биогазовой отрасли обусловлена следующими обстоятельствами:

- увеличением доли энергетической составляющей в себестоимости сельхозпродукции;
- ростом электроемкости сельского хозяйства, затрат на топливо и энергию;
- наличием неиспользуемых сырьевых ресурсов (навоза, помета, растительных отходов и т. д.) для производства биогаза и перспективами его использования;
- негативным влиянием отходов животноводства и птицеводства на экологическую обстановку;
- сокращением количества применяемых минеральных и химических удобрений из-за их высокой стоимости.

В Российской Федерации, в соответствии со стратегическими направлениями развития сельского хозяйства, отмечается увеличение поголовья свиней. Так, за период 2008–2014 г. оно повысилось на 20 % и достигло на начало 2015 г. 19,6 млн голов [4]. С ростом поголовья свиней

соответственно возрастает и количество навоза. Как известно [5], в настоящее время в Красноярском крае за год накапливается следующее количество подстилочного свиного навоза (в тоннах) по зонам: в подтаежной – 2011,5; Красноярской лесостепи – 113 343,6; Ачинско-Боготольской лесостепи – 2402,9; Назаровской лесостепи – 222 356,0; Чулымо-Енисейской лесостепи – 30 510,0; Канской лесостепи – 32 840,9; Минусинской лесостепи – 454 319,3. В Красноярском крае массовое производство свинины налажено на таких свиноводческих комплексах, как «Шуваевский», «Малиновский», а в последние годы введены в эксплуатацию новые комплексы, такие как «Красноярский», «Агроэлита», свинокомплекс в ОАО «Солгонское» и другие. В связи с этим особую актуальность приобретает решение проблемы утилизации многотоннажных отходов – свиного навоза.

Биогазовые установки, как показывает российский и мировой опыт [6, 7], позволяют получать биогаз и биоудобрение, которые, в свою очередь, используются для выработки электрической и тепловой энергии, а также получения высокоэффективных удобрений для повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Цель исследования: адаптация комплексной технологии производства биогаза и органических

удобрений из отходов свиноводства к зональным природным условиям АПК Красноярского края.

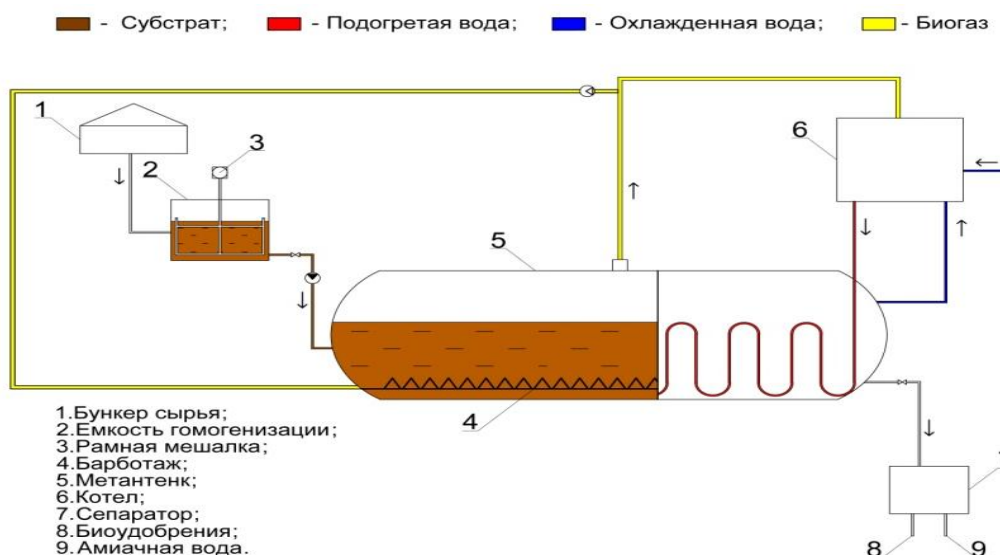
Задачи исследования:

1. Выполнить анализ технологий производства биогаза и органических удобрений из отходов свиноводства.

2. Дать оценку состава твердой фракции свиного навоза после его переработки в биогазовой установке.

3. Обосновать основные принципы и условия адаптации комплексной технологии производства биогаза и органических удобрений из отходов свиноводства к зональным природным условиям АПК Красноярского края.

Результаты исследования и их обсуждение. В ходе работы, совместно с работниками предприятия ОАО «Славино» (директор Камбаров Рафиг Сатдар Оглы), был проведен анализ работы биогазовой установки предприятия (расположенной в Кемеровской области (Новокузнецкий район, поселок Чистогорский)), на котором имеется свинокомплекс на 32 000 голов. ОАО «Славино» является наиболее успешным в данном сегменте переработки отходов свиноводства как в Сибири, так и в России в целом [8]. Предприятие работает по принципиальной технологической схеме, представленной на рисунке.



Принципиальная технологическая схема получения биогаза и органических удобрений на действующей установке ОАО «Славино»

Общий объем метантенков составляет 600 м³, соответственно рабочий объем – 450 м³. Полу-

ченный неочищенный биогаз используют для покрытия тепловых нагрузок на отопление, вен-

тиляцию и горячее водоснабжение цеха переработки отходов свиного комплекса. Следует отметить, что в схему включен когенерационный блок, что позволяет получать электрическую энергию не только на собственные нужды, но и на комплекс в целом. Выход биогаза составляет в среднем $0,07 \text{ м}^3$ с 1 кг свиного навоза влажностью $85\text{--}87\%$. Учитывая, что в настоящий момент количество подстилочного (с низкой влажностью) свиного навоза по Красноярскому краю достигает ориентировочно $900\,000 \text{ т}$ в год, можно получать за указанный период около 63 млн м^3 биогаза. Следует учесть, что на выработку $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ электроэнергии необходимо $0,4\text{--}0,5 \text{ м}^3$ биогаза. Поскольку получаемый газ не подвергается компримированию, т. е. нет сосудов и систем, работающих под давлением, упрощаются требования Ростехнадзора.

Процесс является проточным, загрузка и выгрузка исходного и конечного продукта осуществляется периодически, в соответствии с техно-

логическим процессом. Далее переработанный материал направляется в сепаратор, в котором происходит разделение смеси на твердую и жидкую фракции. Жидкость представляет собой практически аммиачную воду, вывозится на поля и используется либо непосредственно для подкормки, либо накапливается в лагунах. Твердая фракция представляет собой органическое удобрение (биоудобрение), готовое для внесения в почву.

В апреле 2016 г. был произведен отбор проб твердого органического удобрения после переработки свиного навоза в биогазовой установке. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Анализы основных агрохимических показателей биоудобрения проведены специалистами кафедры почвоведения и агрохимии ИАЭТ Красноярского ГАУ в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ ГЦАС «Красноярский» согласно методам определения, представленным в таблице 1.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика твердой фракции биоудобрения, полученного из свиного навоза после его переработки в биогазовой установке

Показатель	Свиной навоз	Метод определения
Влага, %	$72,6 \pm 0,9$	ГОСТ 26713-85
Зола, %	$6,7 \pm 0,3$	ГОСТ 26714-85
$C_{\text{орг}}$, %	$46,6 \pm 0,08$	ГОСТ 27980-88
$N\text{-}NH_4$, %	$0,05 \pm 0,03$	ГОСТ 26716-85
$N\text{-}NO_3$, мг/кг	$4,4 \pm 1,3$	Справочник по анализу органических удобрений. М., 2000. Ч. 1
P_2O_5 , мг/100 г	$12,8 \pm 3,8$	Справочник по анализу органических удобрений. М., 2000. Ч. 1
K_2O , мг/100 г	$42,0 \pm 1,3$	Справочник по анализу органических удобрений. М., 2000. Ч. 1
Cu , мг/кг	$18,4 \pm 3,9$	ГОСТ Р 53218-2008
Zn , мг/кг	$48,9 \pm 10,3$	ГОСТ Р 53218-2008
Co , мг/кг	Менее 0,1	МУ-1992
Mn , мг/кг	$15,2 \pm 1,5$	МУ-1992
Hg , мг/кг	$0,0018 \pm 0,0004$	МУК 4.1:1471-03
As , мг/кг	$0,42 \pm 0,13$	ФР.1.34.2005.02119
Pb , мг/кг	$1,43 \pm 0,50$	ГОСТ Р 53218-2008
Cd , мг/кг	Менее 0,1	ГОСТ Р 53218-2008
Ni , мг/кг	$0,22 \pm 0,08$	ГОСТ Р 53218-2008
Cr , мг/кг	$0,47 \pm 0,16$	ГОСТ Р 53218-2008

Органические удобрения являются необходимым элементом современного сельскохозяйственного производства. Они способствуют повышению запасов органического вещества [9]. В рамках агрономической и агроэкологической парадигм почвенное органическое вещество рассматривается в качестве источника воздушного и корневого питания растений, фактора плодородия почвы и агропроизводственного ресурса устойчивого земледелия [10]. Как видно из таблицы 1, проба твердой фракции переработанного в биогазовой установке свиного навоза характеризуется высоким содержанием органического вещества и может рассматриваться как источник для пополнения его запасов в почвах региона.

В составе минерального азота в пробе в большом количестве присутствует азот обменного аммония и отмечается низкое содержание нитратной формы азота (см. табл. 1). По мнению многих исследователей, азот нитратов и обменного аммония в физиологическом отношении являются равноценными источниками азотного питания для растений. Их запасы в почве определяют продуктивность растений. Однако некоторые ученые указывают на более энергичное поглощение нитратного азота.

С экологической точки зрения, чрезвычайно важным является вопрос о количестве вносимых органических удобрений. При систематическом применении жидкого навоза КРС нормы его не должны превышать 30–35 м³/га, свиного – 20–25 м³/га. С жидким навозом должно вноситься не более 200 кг/га азота [9]. Приблизительную дозу бесподстилочного навоза (Д) можно определить по формуле $D = V / (10 \times K \times C)$, где V – вынос элементов питания планируемой урожайностью, кг/га; K – коэффициент использования элементов питания удобряемой культурой; C – содержание элементов питания в навозе, %. Коэффициенты использования элементов питания растениями из навоза неоднозначны. На слабо и среднекультуренных почвах в первый год принимают по азоту – 0,5, по фосфору – 0,3 и по калию – 0,8, на окультуренных почвах по фосфору и калию принимают за единицу [10]. Фосфор является одним из основных элементов питания растений, определяющим урожайность сельскохозяйственных культур. При этом уровень урожая напрямую зависит от содержания в

почве подвижных соединений фосфора. Содержание подвижных фосфатов в почве зависит от многих факторов: от валового содержания фосфора, гидротермического режима, микробиологической активности, применения удобрений и т. д. Анализ результатов исследований свидетельствует о средней обеспеченности подвижным фосфором анализируемой пробы (см. табл. 1).

Калий – один из основных питательных элементов, влияющий на урожайность растений. При оптимальном содержании калия в тканях растения лучше удерживают воду, легче переносят засухи и заморозки, повышается устойчивость к разным заболеваниям. Наиболее важной в питании растений является обменно-поглощенная форма калия. Как показывают результаты исследования, проба характеризуется очень высокой обеспеченностью обменным калием (см. табл. 1).

Большое значение в питании растений, формировании урожая растений имеют микроэлементы, которые принимают участие во многих физиологических и биохимических процессах у растений. Они – обязательная составная часть многих ферментов, ростовых веществ, витаминов, которые играют роль биологических ускорителей и регуляторов сложных биохимических процессов. Ферменты – это катализаторы, а микроэлементы можно назвать катализаторами катализаторов. Микробиологические процессы также протекают при участии ферментов, в состав которых входят микроэлементы. Растения нуждаются в микроэлементах в ничтожно малых количествах. Но недостаток их, как и избыток, нарушает деятельность ферментативного аппарата, а следовательно, и обмен веществ у растений. Содержание микроэлементов в переработанном в биогазовой установке навозе также важно, потому что почва, которая удобряется только минеральными удобрениями, обедняется микроэлементами, жизненно важными для животных и человека, вследствие этого ухудшается биологическая ценность продукции животноводства и растениеводства. Количество микроэлементов в переработанном навозе различается в зависимости от их содержания в почве, на которой выращиваются кормовые культуры (табл. 2).

Содержание микроэлементов в навозе [11], мг/кг сухого вещества

Микроэлемент	Минимум	Максимум	Среднее
Cu	7,6	40,8	15,6
Zn	43,0	247,0	96,2
Co	0,25	4,7	1,04
Mn	75,0	549,0	201,1

Согласно градациям, представленным в таблице 2, исследуемая проба твердой фракции переработанного в биогазовой установке свиного навоза характеризуется средней обеспеченностью медью и цинком, минимальным содержанием кобальта и марганца.

Микроэлементы в токсичных концентрациях называют тяжелыми металлами. Тяжелые металлы – группа химических элементов, имеющих относительную атомную массу более 50. Эту группу составляют ртуть, свинец, кадмий, мышьяк. Анализ результатов проведенных исследований показывает, что содержание ртути в исследуемом образце не превышает ПДК (2,1 мг/кг) (см. табл. 1). Свинец аккумулируется почвой и растениями. Токсическое действие его на растения проявляется с концентрации порядка 5 мг/кг почвы и выше. Содержание его в пробе ниже этой величины и составляет 1,43 мг/кг.

Высокая фитотоксичность кадмия объясняется в первую очередь тем, что он может выступать в роли цинка во многих биохимических процессах, нарушая работу ферментов, связанных с дыханием и другими физиологическими процессами. Многие исследователи делают вывод, что предельная концентрация кадмия в почве, с учетом его токсического действия на микробиологические процессы и снижения уровня плодородия почв, должна находиться, в зависимости от состояния естественного уровня плодородия, в пределах от 0,2 до 2,0 мг/кг почвы [12]. В пробе количество кадмия составляет менее 0,1 мг/кг.

Оценивая количество тяжелых металлов в целом в переработанном свином навозе, отметим, что их содержание не превышает предельно допустимые концентрации (см. табл. 1).

Таким образом, проведенный анализ твердой фракции переработанного в биогазовой установке свиного навоза свидетельствует о вы-

сокой обеспеченности его органическим веществом, аммонийным азотом, средней обеспеченности подвижным фосфором и высокой – обменным калием. Содержание тяжелых металлов в органическом удобрении не превышает предельно допустимые концентрации, что позволяет его широко использовать в сельском хозяйстве.

Выводы

1. В настоящее время в Дании, Италии, Германии, Китае и других странах идет разработка и массовое внедрение биогазовых установок, перерабатывающих в биогаз и биоудобрение отходы животноводства и растениеводства. В России также имелся и имеется положительный опыт строительства биогазовых установок, как для личных подсобных хозяйств, так и для больших животноводческих комплексов. Имеется многолетний опыт эффективной эксплуатации биогазовой установки в схожих с Красноярским краем природно-климатических условиях на свинокомплексе на 32 000 свиней в ОАО «Славино» (Кемеровская область) с общим объемом метантенков 600 м³. Полученный неочищенный биогаз используют для покрытия тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение цеха переработки отходов свинокомплекса. В схему включен когенерационный блок, что позволяет получать электрическую энергию не только на собственные нужды, но и на комплекс в целом.

2. Совместно с получением энергии в биогазовой установке производится биоудобрение, результаты анализа которого свидетельствуют о высокой обеспеченности его органическим веществом, аммонийным азотом, средней обеспеченности подвижным фосфором и высокой – обменным калием. Содержание тяжелых ме-

таллов в органическом удобрении не превышает предельно допустимые концентрации.

Удобрение является экологически чистым, готовым к применению продуктом. Его достоинства и особенности связаны с его способом производства. Метановое сбраживание позволяет сохранять весь азот в аммонийной или органической формах. Особенность удобрения в том, что оно содержит активные полезные микроорганизмы, как метаногены, так и родственные им бактерии. При постоянном использовании удобрения улучшается аэрация почвы, ее водоудерживающая и инфильтрационная способность, происходит естественное восстановление утраченного плодородия почв. Эти особенности позволяют применять эти органические удобрения для восстановления нарушенных земель.

3. Для успешного внедрения передового опыта в Красноярском крае крайне необходимо разработать и изготовить пилотную установку по получению биогаза и органических удобрений на одном из имеющихся в крае свиноводческом комплексе и в ближайшее время начать ее эксплуатацию в местных климатических условиях. Учитывая, что в настоящий момент количество подстильного (с низкой влажностью) свиного навоза по Красноярскому краю достигает ориентировочно 900 000 т в год, можно получать за указанный период около 63 млн м³ биогаза (на выработку 1 кВт·ч электроэнергии необходимо 0,4–0,5 м³ биогаза).

Литература

1. Цугленок Н.В., Шерьязов С.К., Бастрон А.В. Рациональное сочетание традиционных и возобновляемых источников энергии в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2012. – 360 с.
2. Мурко В.И., Делягин В.Н., Баранова М.П. и др. Диверсификация источников энергии в сельском хозяйстве Сибири // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 11. – С. 103–108.
3. Бастрон А.В. Возможности биоэнергетики Красноярского края // Агротехнологии XXI века: мат-лы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 85-летию основания Пермской ГСХА и 150-летию со

- дня рождения акад. Д.Н. Прянишникова / Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д.Н. Прянишникова. – Пермь, 2015. – С. 8–13.
4. Богачев А.И., Полухина М.Г. Решение проблемы утилизации навоза как фактор обеспечения экологической безопасности и социально-экономического роста отрасли свиноводства // Эффективное животноводство. – 2015. – № 8 (117).
5. Волошин Е.И. Эффективность применения органических удобрений в агропромышленном комплексе Красноярского края // Вестн. КрасГАУ. – 2016. – № 4. – С. 138–146.
6. Альтернативная энергия России – биогаз. – URL: http://belgorodinvest.com/files/Doc_for_articles/agro_10.pdf (дата обращения 18.10.2016 г.).
7. Биогазовые установки // ЗОРГ БИОГАЗ АГ: официальный сайт. – URL: <http://www.zorgbiogas.ru/?lang=ru> (дата обращения 18.10.2016 г.).
8. Свины дадут тепло и свет / ОАО «Славинно». – URL: <http://slavino.net/> (дата обращения 18.10.2016 г.).
9. Шеуджен А.Х., Куркаев В.Т., Котляров Н.С. Агрохимия: учеб. пособие. – Майкоп: Афиша, 2006. – 1075 с.
10. Семенов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. – М.: ГЕОС, 2015. – 233 с.
11. Михайлова Л.А. Агрохимия: учеб. пособие. Ч. 1. – Пермь, 2015. – 427 с.
12. Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф., Моисеенко Ф.В. и др. Влияние различных систем удобрения на накопление тяжелых металлов в сельскохозяйственной продукции // Вестн. Брянской гос. с.-х. акад. – Брянск, 2006. – С. 22–29.

Literatura

1. Cuglenok N.V., Sher'jazov S.K., Bastron A.V. Racional'noe sochetanie tradicionnyh i vozobnovljaemyh istochnikov jenergii v sisteme jenergosnabzhenija sel'skhozajstvennyh potrebitelej; Krasnojarsk. gos. agrar. un-t. – Krasnojarsk, 2012. – 360 s.
2. Murko V.I., Deljagin V.N., Baranova M.P. i dr. Diversifikacija istochnikov jenergii v sel'skom

- hozjajstve Sibiri // Vestn. KrasGAU. – 2015. – S. 103–108.
3. *Bastron A.V.* Vozmozhnosti bioenergetiki Krasnojarskogo kraja // Agrotehnologii HHI veka: mat-ly vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem, posvjashh. 85-letiju osnovanija Permskoj GSHA i 150-letiju so dnja rozhdenija akad. D.N. Prjanishnikova / Permskaja gos. s.-h. akad. im. akad. D.N. Prjanishnikova. – Perm', 2015. – S. 8–13.
 4. *Bogachev A.I., Poluhina M.G.* Reshenie problemy utilizacii navoza kak faktor obespechenija jekologicheskoy bezopasnosti i social'no-jekonomicheskogo rosta otrasli svinovodstva // Jefferktivnoe zhivotnovodstvo. – 2015. – № 8 (117).
 5. *Voloshin E.I.* Jefferktivnost' primenenija organicheskikh udobrenij v agropromyshlennom komplekse Krasnojarskogo kraja // Vestn. KrasGAU. – 2016. № 4. – S. 138–146.
 6. Al'ternativnaja jenergija Rossii – biogaz. – URL: [http://belgorodinvest.com/files/Doc_for_](http://belgorodinvest.com/files/Doc_for_articles/agro_10.pdf) articles/agro_10.pdf (data obrashhenija 18.10.2016 g.).
 7. Biogazovye ustanovki // ZORG BIOGAZ AG: oficial'nyj sajt. – URL: <http://www.zorgbiogas.ru/?lang=ru> (data obrashhenija 18.10.2016 g.)
 8. Svin'i dadut teplo i svet / OAO «Slavino» [Oficial'nyj sajt] URL: <http://slavino.net/> (data obrashhenija 18.10.2016 g.).
 9. *Sheudzhen A.H., Kurkaev V.T., Kotljarov N.S.* Agrohimiya: uchebnoe posobie. – Majkop: Afisha, 2006. – 1075 s.
 10. *Semenov V.M., Kogut B.M.* Pochvennoe organicheskoe veshhestvo. – M.: GEOS, 2015. – 233 s.
 11. *Mihajlova L.A.* Agrohimiya: ucheb. posobie. Ch. 1. – Perm', 2015. – 427 s.
 12. *Belous N.M., Shapovalov V.F., Moiseenko F.V.* i dr. Vlijanie razlichnyh sistem udobrenija na nakoplenie tjazhelyh metallov v sel'skohozjajstvennoj produkcii // Vestn. Brjanskoj gos. s.-h. akad. – Brjansk, 2006. – S. 22–29.



УДК 621.311.13

И.В. Наумов, Е.А. Белоусова

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ СИММЕТРИРОВАНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,38 кВ

I.V. Naumov, E.A. Belousova

THE CHOICE OF PARAMETERS OF DEVICES OF SYMMETRIZING IN DISTRIBUTIVE ELECTRICAL NETWORKS OF 0.38 KV

Наумов И.В. – д-р техн. наук, проф. каф. электроснабжения и электротехники Иркутского национального исследовательского технического университета, г. Иркутск. E-mail: professornaumov@list.ru

Белоусова Е.А. – магистрант каф. электроснабжения и электротехники Иркутского национального исследовательского технического университета, г. Иркутск. E-mail: belousova_ea@kvsu.ru

Naumov I.V. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Power Supply and Electric Technique, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk. E-mail: professornaumov@list.ru

Belousova E.A. – Magistrate Student, Chair of Power Supply and Electric Technique, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk. E-mail: belousova_ea@kvsu.ru

Низковольтные распределительные электрические сети напряжением 0,38 кВ объективно работают в режиме значительной несимметрии токов и напряжений. Целью исследова-

ния является определение параметров симметрирующего устройства в зависимости от заданных параметров нагрузки и показателей несимметрии. Задачами исследования