

**Министерство сельского хозяйства и продовольствия
Республики Беларусь
Академия аграрных наук Республики Беларусь**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«БЕЛОРУССКИЙ ИНСТИТУТ «БЕЛНИИАГРОЭНЕРГО»**

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ АПК

**Сборник научных трудов
Выпуск 2**

Минск 1998

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Кандидат технических наук Е.Ф.Сухоруков (отв.редактор),
доктор технических наук В.И.Русан (науч.редактор), кандидаты
технических наук В.А.Короткевич, С.С.Ходыко, О.И.Иванов
(отв.секретарь)

Белорусский научно-исследовательский институт энергетики и электрификации АПК
(БелНИИагроэнерго), 1998

В В Е Д Е Н И Е

Современная энергетическая ситуация в Республике Беларусь характеризуется новыми геополитическими и энергоэкономическими условиями, изменением внешних экономических отношений после распада СССР, недостаточными ресурсами углеводородного топлива (нефть, газ, уголь), а также нетрадиционным использованием топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), высокой энергоемкостью производства продукции и недостаточной надежностью энергообеспечения потребителей. Это привело к энергетическому кризису, угрожающему надежности энергообеспечения производства и жизнеобеспечения населения Республики Беларусь. В сложившейся ситуации все более остро ставится вопрос об энергетической безопасности в РБ. остро стоит проблема обоснования путей дальнейшего развития систем надежного энергообеспечения отраслей народного хозяйства.

Особенно неудовлетворительное положение сложилось в энерготехническом обеспечении АПК республики. Например, электрооборуженность труда в сельском хозяйстве ниже показателей соседних республик. Известно, что каждый 1 млн. кВт.ч использованной электроэнергии эквивалентен затратам труда 9-10 тысяч работников. Во многих технологических процессах 1 кВт.ч электроэнергии обеспечивает прирост производительности труда в 2-2,5 раза и снижение затрат на производство продукции в 1,5 раза. Имеет место очень высокая энергоемкость производства сельскохозяйственной продукции. Совокупные удельные затраты энергоресурсов (с учетом расхода сырья на производство машин, удобрений, зданий сооружений на получение сельскохозяйственной продукции) в 4-5 раза превышают уровень США, а других развитых стран - в 1,5-2 раза.

Основными причинами неудовлетворительного энерготехнического обеспечения АПК и неэффективного использования энергии являются: недооценка роли энергетики и электрификации в развитии сельскохозяйственного производства и социальной сферы села, дефицит вкладываемых в энергетику капитальных вложений, отсутствие собственного аграрного энергомашиностроения и слабая про-

изводственно-техническая база; невысокий уровень электромеханизации и автоматизации производственных процессов и соответственно большие затраты ручного труда на производство продукции; низкая эффективность использования машин и механизмов; слабый уровень применения электроэнергии в технологических процессах; отсутствие до последнего времени единой энергетической службы с современной производственной базой, неуккомплектованность ее кадрами, техникой и материалами.

В последнее время обострилась проблема технического сервиса энергетического оборудования. Энергетическое оборудование эксплуатируется с нарушением требований, установленных правилами технической эксплуатации и безопасности, техническое обслуживание и ремонты не проводятся, что приводит к снижению надежности энергоустановок и безопасности их эксплуатации.

Для повышения надежности и качества энергообеспечения потребителей АПК прежде всего необходимо провести комплекс организационных и технических мер, направленных на улучшение качественной основы электрических сетей, охватывающих вопросы технического перевооружения оборудования и сооружений, применения наиболее прогрессивных электрических схем, долговременных конструкций, широкого оснащения средствами телемеханики, автоматизации, технологии и управления, повышения профессионального уровня персонала.

Наряду с совершенствованием традиционных систем электрообеспечения важное значение имеет разработка и внедрение новых систем энергообеспечения АПК. Следует учитывать, что запасы традиционных энергоносителей не бесконечны и ограничены. Необходимо поиск путей использования альтернативных и возобновляемых энергоносителей.

Сборник предназначен для научных работников и аспирантов, руководителей и специалистов предприятий и организаций АПК и других отраслей народного хозяйства.

Л.С.Герасимович, доктор технических наук, академик ААН РБ;

М.А.Прищепов, кандидат технических наук;

А.К.Кисель, А.П.Власенко, инженеры

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ УСТАНОВКИ ЛОКАЛЬНОГО ОБОГРЕВА ПОРОСЯТ-СОСУНОВ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ СВИНАРНИКА-МАТОЧНИКА

Системы обогрева предназначены для создания в животноводческих помещениях благоприятного для нормальных физиологических отклонений организма животного режима. Этому режиму должна соответствовать максимальная (или экономически целесообразная) продуктивность при рациональном расходе корма. Для поросят раннего возраста (и в особенности новорожденных) с целью обеспечения их сохранности и максимальной продуктивности средства локального обогрева должны создавать условия теплового комфорта. Комфортность тепловой обстановки создает благоприятные условия для нормальной физиологической деятельности организма и, способствуя повышению естественной резистенции и иммунобиологической активности является одним из необходимых условий максимальной продуктивности.

Тепловые ощущения при заданном уровне активности являются функцией теплового баланса организма. Температурный комфорт — это тепловой баланс, поддержание которого требует минимальных физиологических усилий, то есть состояние, когда вся метаболическая теплота быстро передается среде, непосредственно окружающей организм, не вызывая значительных физиологических реакций (озноба и т.п.). Другими словами, животное находится в состоянии термического равновесия, то есть выделяет в окружающую среду определенное количество явной теплоты θ без перенапряжения аппарата терморегуляции, которое, в соответствии с терминологией [3], будем называть оптимальным уровнем теплопотерь $\theta_{\text{опт}}$ организма.

Под оптимальными теплопотерями следует понимать такое значение θ , которое оптимально с точки зрения физиологической потребности организма для обеспечения максимальной продуктивности животного и коэффициента полезного действия корма.

Приведенное условие теплового комфорта, обеспечивающее оптимальный уровень теплопотерь организма, примем в качестве основного критерия оптимизации энергетических параметров средств локального обогрева поросят.

Используя результаты исследований в области теплотехники, строительной теплофизики, физиологии и гигиены в части разработки и сравнительной оценки современного комплекса средств отопления, вентиляции и кондиционирования микроклимата жилых и общественных зданий [1, 8] можно сделать вывод, что при создании комфортных условий, обеспечивающих оптимальный уровень теплопотерь организма необходимо учитывать возможную неравномерность теплоотдачи с различных участков поверхности тела, а также поддерживать необходимое соотношение составляющих уравнения теплового баланса $\theta_{л}$, $\theta_{к}$, $\theta_{т}$ (теплоотдачи за счет излучения и конвекции свободной поверхностью, теплопроводностью поверхности контактирующей с напольным обогревателем). Отдача явной теплоты от внутренних органов организма к теплоотдающей поверхности кожного покрова поросенка происходит практически только теплопроводностью через поверхностный слой (кожный и жировой покров). Поэтому можно допустить, что способ дальнейшей теплоотдачи с поверхности кожного покрова в окружающую среду не оказывает существенного влияния на тепловое состояние организма поросенка, даже если преобладающей будет какая либо одна из составляющих теплового баланса. Аналогичный вывод сделан в работах [12, 11] при анализе особенностей теплообмена организма птиц и ягнят. Было сказано, что существенной разницы между конвективным, лучистым и контактными способами теплообмена в организме молодняка нет.

Наиболее существенным на наш взгляд является ограничение неравномерности теплоотдачи с различных участков поверхности тела. Основное внимание следует уделять созданию тепловых условий, при которых сведена к минимуму возможность местного перегрева или переохлаждения тела животного, то есть обеспечению равномерной теплоотдачи в окружающую среду. При ограниченном объеме информации примем максимальную равномерность явной теплоотдачи организма со всех участков поверхности в качестве дополнительного условия комфортности.

Приведенные условия теплового комфорта примем в качестве критерия оптимизации энергетических параметров средств локального обогрева поросят-сосунов.

Отметим, что в одном из частных случаев добиться оптимального значения $\theta_{ж}$, то есть выполнить основное условие комфортности можно за счет использования одностороннего локального обогрева. Однако в этом случае резко возрастает неравномерность теплоотдачи с различных поверхностей тела, что не удовлетворяет дополнительному условию комфортности. Очевидно, оптимальных результатов в большинстве случаев можно добиться при совместном (комбинированном) воздействии на поросенка кондуктивным (снизу) и лучистым (сверху) источниками тепла. Использование установки комбинированного обогрева (УКО) при правильном выборе полезной мощности каждого из источников позволит обеспечить поросенку не только комфортные тепловые условия с $\theta_{ж} = \theta_{ж,опт}$, но и сравнительно равномерную теплоотдачу практически со всей поверхности тела. Тем самым предоставляется возможность выполнить оба условия комфортности одновременно.

Таким образом задача оптимизации энергетических параметров УКО заключается в выборе полезной мощности верхнего и нижнего теплоисточников, которые в условиях конкретного свинарника-маточника ($t_a = const$) обеспечили бы поросенку комфортные тепловые условия с соблюдением обоих условий комфортности. При этом суммарную мощность верхнего и нижнего теплоисточников УКО следовало бы принять в качестве целевой функции при решении поставленной задачи.

Однако средства локального обогрева составляют только часть комплекта отопительного оборудования свинарника-маточника. Режимы их работы взаимосвязаны. Поэтому при разработке обогревательных устройств и обосновании режима их работы необходимо рассматривать все здание, как единую энергетическую систему, учитывая совместно вопросы общего и локального обогрева, вентиляции, а также теплотехники ограждающих конструкций и теплопродукции различных половозрастных групп животных. В качестве целевой функции следует принять энергозатраты всей системы электроотопления свинарника-маточника θ_p , исходя из обеспечения

комфортных условий в зоне нахождения поросят при допустимых значениях температуры внутри помещения $t_{в}$. При этом задача оптимизации сводится к определению расчетных значений энергетических параметров теплоисточников устройств локального обогрева и температуры $t_{в}$, обеспечивающих принятые условия комфортности.

Вполне очевиден тот факт, что оптимальная температура воздуха $t_{в}$, оказывающая наибольшее влияние на мощность теплового оборудования, в наибольшей степени будет зависеть от соотношения энергетических параметров устройств локального обогрева и общего отопления помещения.

В настоящее время имеются существенно различающиеся рекомендации по поддержанию температурного режима в маточниках, что можно объяснить отсутствием приемлимых методов их расчета. Например, по данным, которые приводятся в работе [2], температуру воздуха в свинарниках-маточниках при использовании комбинированного обогрева порослят рекомендуют поддерживать на уровне 10-15 °C. В методических рекомендациях ЦНИПТИМЭЖ [6] также указывается на довольно широкий предел оптимальной температуры воздуха в таких зданиях (10-16 °C).

Существенный разброс во мнениях можно объяснить спецификой условий проведения опыта, в котором практически невозможно учесть влияние большого числа факторов, а также различным подходом к выбору критериев оптимизации и целевой функции. Следует отметить также, что в настоящее время в литературе нет публикаций по оптимизации температурных режимов в свинарниках-маточниках, специфика которых заключается в наличии в одном помещении взрослых животных и молодняка. Ряд особенностей, присущих таким зданиям, не позволяет применить известные методы, разработанные применительно к помещениям, в которых содержатся взрослые животные. По этой причине и ставится задача разработать методику и провести оптимизацию энергетических параметров устройств локального обогрева и температурных режимов свинарников-маточников, отличающуюся новизной алгоритма и спецификой модели, учитывающей совместные режимы работы системы отопления и локального обогрева.

Анализ отечественных и зарубежных исследований, в которых содержатся сведения и рекомендации по организации температурного режима свиарников-маточников при использовании средств локального обогрева поросят показывает, что в них можно встретить различные утверждения об оптимальных температурах воздуха в довольно широком диапазоне - от 10 до 22 °С. Указанные пределы приемем в качестве допустимого диапазона при решении поставленной оптимизационной задачи.

Задача оптимизации энергетических параметров системы общего и локального обогрева в математическом плане сводится к поиску минимального значения принятой целевой функции

$$\theta_p \rightarrow \min \quad (1)$$

при выполнении ограничений

$$\theta_{ж} - \theta_{ж.опт} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\theta_{ж.св}}{\theta_{ж.конт}} - \frac{F_{ж.св}}{F_{ж.конт}} = 0, \quad (3)$$

представляющих собой математическую запись основного (2) и дополнительного (3) условий комфортности (где $\theta_{ж.св}$ - тепловой поток со свободной части площади поверхности тела $F_{ж.св}$ участвующей лишь в конвективном и лучистом теплообмене;

$\theta_{ж.конт}$ - тепловой поток с части площади поверхности тела $F_{ж.конт}$ участвующей в кондуктивном теплообмене с напольным обогревателем).

В общем случае расход тепла системой при комбинированном обогреве поросят

$$\theta_p = \theta_{от} + \theta_{ик} + \theta_{п}, \quad (4)$$

где $\theta_{от}$ - мощность системы отопления, кВт; $\theta_{ик}$ - мощность теплоисточников ИК-излучения, кВт; $\theta_{п}$ - мощность напольных электрообогревателей, кВт.

Поскольку $\theta_{от} = \theta_{т.п} + \theta_{в} + \theta_{ис} - \theta_{ж} - \theta_{ик} - \theta_{п}; \quad (5)$

$$\theta_p = \theta_{т.п} + \theta_{в} + \theta_{ис} - \theta_{ж}. \quad (6)$$

Здесь $\Theta_{т.п}$ - теплопотери через строительные ограждения, кВт; Θ_R - тепловая мощность, расходуемая на подогрев приточного воздуха, кВт; $\Theta_{ис}$ - расход тепла на испарение влаги с пола и других поверхностей, кВт; $\Theta_{ж}$ - тепло, выделяемое животными, кВт.

При расчете теплопотерь через наружные ограждения (стены, окна, двери, ворота, перекрытия, пол) необходимо учитывать теплопотери через все ограждающие конструкции помещения.

Расчет теплопотерь проводится по уравнению теплопередачи

$$\Theta_{т.п} = \left(\sum_{i=1}^n n_i A_i (t_B - t_H) \right) / R_i, \quad (7)$$

где A_i - площадь i -ой ограждающей конструкции, m^2 ;
 R_i - термическое сопротивление теплопередаче i -ой ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$;
 n_i - коэффициент, учитывающий расположение i -й ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (для наружных ограждений, непосредственно соприкасающихся с наружным воздухом, а также полов на грунте или на лагах $n = 1$);
 t_B - температура воздуха внутри помещения, $^\circ C$;
 t_H - температура наружного воздуха, $^\circ C$.

Тепловая мощность, расходуемая на подогрев приточного воздуха

$$\Theta_A = \rho L_B (t_B - t_H), \quad (8)$$

где ρ - удельная изобарная теплоемкость воздуха (принимается 1000 Дж/кг/°C);
 ρ - плотность воздуха, кг/м³;
 L_B - расход вентилируемого воздуха, м³/с.

Расход вентилируемого воздуха рассчитывается по условию удаления влаговыделений и выделяющегося углекислого газа, при этом из двух рассчитанных расходов принимается наибольший.

$$L_B = \max (L_{H_2O}; L_{CO_2}). \quad (9)$$

$$L_{H_2O} = \frac{W_{ж} + W_{э}}{3600 \rho (d_{в} - d_{н})}, \quad (10)$$

где $W_{ж}$ - суммарные влаговыделения различными половозрастными группами животных (поросятами и свиноматками), г/ч;

$W_{э}$ - дополнительные влаговыделения (принимаем равными $0,1 W_{ж}$, г/ч);

$d_{в}, d_{н}$ - влагосодержание внутреннего и наружного воздуха, г/кг.

Для определения влагосодержания воздуха в зависимости от его температуры получена эмпирическая зависимость, позволяющая рассчитать значение d (для условий Беларуси) с точностью до 2,5 %.

$$d = \frac{6,22 [\exp(-0,56 + 8 \cdot 10^{-2} t - 3,2 \cdot 10^{-4} t^2)] \varphi}{[99,3 - \exp(-0,56 + 8 \cdot 10^{-2} t - 3,2 \cdot 10^{-4} t^2)] \cdot (\varphi/100)}, \quad (11)$$

где t - температура воздуха, °C;

φ - относительная влажность воздуха, %.

Влаговыделения животных

$$W_{ж} = \sum_{j=1}^k N_j L_{j H_2O} m_j K_{H_2O}(t), \quad (12)$$

где N_j - количество животных j -й половозрастной группы;

k - количество половозрастных групп;

m_j - масса одного животного j -й половозрастной группы, кг;

$L_{j H_2O}$ - влаговыделения животных j -й половозрастной группы на 1 кг массы при 10 °C, г/ч/кг;

$K_{H_2O}(t)$ - температурный коэффициент, учитывающий изменение влаговыделений в зависимости от температуры воздуха.

$$L_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{3600 (C_{в} - C_{н})}, \quad (13)$$

где V_{CO_2} - суммарные выделения углекислого газа различными половозрастными группами животных, л/ч;
 C_B - предельно допустимая концентрация углекислого газа внутри помещения (для свинарников = 2 л/м³);
 C_H - концентрация углекислого газа в приточном воздухе (принимается 0,2...0,5 л/м³).

$$V_{CO_2} = \sum_{j=1}^k N_j L_{jCO_2} m_j K_{CO_2}(t), \quad (I4)$$

где L_{jCO_2} - выделение углекислого газа j -й половозрастной группой животных на 1 кг живой массы при 10 °С, г/ч/кг;
 $K_{CO_2}(t)$ - температурный коэффициент, учитывающий изменение выделений углекислого газа, в зависимости от температуры воздуха.

Величины влаго- и газовыделений животных взрослого поголовья (массу которых за весь обогреваемый период можно считать неизменной) зависят только от температуры воздуха и определяются значениями $K_{H_2O}(t)$ и $K_{CO_2}(t)$. Для молодняка эти величины являются как функцией температуры воздуха, так и живой массы, значение которой за обогреваемый период изменяется в несколько раз. Используемые зависимости газо- и влаговыделений от температуры $K_{CO_2}(t)$, $K_{H_2O}(t)$, а также изменения влаговыделений и веса поросят от возраста получены в виде полиномов n -ой степени.

В результате аппроксимации приведенных в литературных источниках данных [9, 10, 7, 4, 5] и записи степенного полинома по схеме Горнера получили

$$K_{H_2O}(t) = 0,65 + t(0,11183338 - t(2,1577789 \cdot 10^{-2} - t(1,5827787 \cdot 10^{-3} - t(4,3555586 \cdot 10^{-5} - t \cdot 4,222226 \cdot 10^{-7}))))); \quad (I5)$$

$$K_{CO_2}(t) = 1,14 + t(7,1333322 \cdot 10^{-2} - t(5,2611087 \cdot 10^{-3} - t(4,5611093 \cdot 10^{-4} - t(1,6662216 \cdot 10^{-5} - t \cdot 2,0888882 \cdot 10^{-7}))))); \quad (I6)$$

$$L_{H_2O}(I) = 17,303085 - I(2,7989914 - I(2,6679594 \cdot 10^{-1} - I(1,1051897 \cdot 10^{-2} - I \cdot 1,6197988 \cdot 10^{-4}))); \quad (I7)$$

$$m(I) = 0,8972462 + I(0,20871817 - I(6,1466192 \cdot 10^{-3} - I(1,8362573 \cdot 10^{-4} - I \cdot 1,3391717 \cdot 10^{-6}))), \quad (18)$$

где I - расчетный день обогреваемого периода.

Мощность, затрачиваемая на испарение влаги

$$\theta_{ис} = r W \dot{a} / 3,6, \quad (19)$$

где r - скрытая теплота парообразования водяных паров (принимается $2,5$ кДж/г).

Тепловая мощность выделения свободной теплоты взрослым поголовьем

$$\theta''_{ж} = N q m K_q(t), \quad (20)$$

где q - тепловыделения животными на 1 кг живой массы при 10 °С, (для свиноматок весом 200 кг $q = 2,386$ Вт/кг [7]);

$K_q(t)$ - температурный коэффициент, учитывающий изменение тепловыделений животных в зависимости от изменения температуры воздуха, полученный по программе аппроксимации нелинейных функций [7]

$$K_q(t) = 1,25 - t(1,1533332 \cdot 10^{-2} + t(3,8111114 \cdot 10^{-3} - t(4,0111114 \cdot 10^{-4} - t(1,8222224 \cdot 10^{-5} - t \cdot 2,755555 \cdot 10^{-7}))))). \quad (21)$$

Суммарная мощность тепловыделений свободной теплоты животными

$$\theta_{ж} = \theta''_{ж} + \theta'_{ж}, \quad (22)$$

где $\theta'_{ж}$ - тепловыделения поросятами, Вт.

Основой для расчета $\theta'_{ж}$ является математическая модель теплообмена поросенка с ЗНУ, описывающая тепловой баланс организма животного.

Таким образом, математическую модель оптимизации энергетических режимов ЗНУ и температуры воздуха можно записать в виде следующей системы уравнений:

$$\Theta_p \rightarrow \min;$$

$$\Theta_p = \Theta_{т.п} + \Theta_B + \Theta_{ис} - \Theta_{ж};$$

$$\Theta_{ж} = \Theta_{ж}'' + \Theta_{ж}';$$

$$\Theta_{ж}' = \Theta_{ж.св} + \Theta_{ж.конт};$$

$$\Theta_{ж.св} = \frac{1}{R_{пов}} (t_{ж} - t_{к.св}) F_{ж.св};$$

$$\Theta_{ж.конт} = \frac{1}{R_{пов}} (t_{ж} - t_{к.конт}) F_{ж.конт};$$

$$t_{к.св} = t_{ж} - \frac{R_{пов}}{F_{ж.св}} [\Theta_{п}(t_{к.св}) + \Theta_{к}(t_{к.св}) - \Theta_{икл \rightarrow ж}(t_{к.св})];$$

$$t_{к.конт} = \frac{1}{L_2 - L_1} \int_{L_1}^{L_2} t_{п} dx;$$

$$\delta \int \frac{d^2 t_{п}}{dx^2} + q_{\nu} + q_{ж.конт} - q_{п.к}^H - q_{п.л}^H = 0;$$

$$\delta \int \frac{d^2 t_{п}}{dx^2} + q_{\nu} + q_{икл \rightarrow п} - q_{п.к}^B - q_{п.к}^H - q_{п.л}^B - q_{п.л}^H = 0;$$

при ограничениях

$$\Theta_{ж} - \Theta_{ж.опт} = 0;$$

$$\frac{\Theta_{ж.св}}{\Theta_{ж.конт}} - \frac{F_{ж.св}}{F_{ж.конт}} = 0,$$

(2)

- где $R_{\text{пов}}$ - термическое сопротивление теплопередаче поверхностных слоев тела животного, зависящее от толщины кожи и подкожного жирового слоя ($\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$);
- $t_{\text{ж}}$ - температура внутри тела животного, °C ;
- $t_{\text{к.св}}$ - температура на теплоотдающей поверхности кожного покрова свободной части площади поверхности тела, участвующей лишь в конвективном и лучистом теплообмене, °C ;
- $t_{\text{к.конт}}$ - температура на теплоотдающей поверхности кожного покрова части площади поверхности тела, участвующей в кондуктивном теплообмене с напольным обогревателем, °C ;
- $\vartheta_{\text{инл} \rightarrow \text{ж}}$ - лучистый тепловой поток ИК-излучателя, падающий на животное, Вт ;
- $t_{\text{п}}$ - температура теплоотдающей поверхности напольного обогревателя, °C ;
- L_1, L_2 - координаты границ контакта тела животного с напольным обогревателем, м ;
- $q_{\text{п}}$ - удельный тепловой поток от напольного обогревателя, $\text{Вт}/\text{м}^2$;
- $q_{\text{ж.конт}}$ - удельные теплопотери животного в контактной зоне, $\text{Вт}/\text{м}^2$;
- $q_{\text{п.к}}, q_{\text{п.л}}$ - удельные конвективный и лучистый тепловые потоки с нижней поверхности обогревателя, $\text{Вт}/\text{м}^2$;
- $q_{\text{инл} \rightarrow \text{п}}$ - удельный лучистый тепловой поток ИК-излучателя падающий на поверхность обогревателя свободную от животных, $\text{Вт}/\text{м}^2$;
- $q_{\text{п.к}}^{\text{в}}, q_{\text{п.л}}^{\text{в}}$ - удельные конвективный и лучистый тепловые потоки с верхней теплоотдающей поверхности напольного обогревателя, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Приведенная система уравнений, также как и система уравнений, описывающая теплообмен животного с ЭНУ, не имеет точного аналитического решения и решается только численно на ЭВМ.

Основная цель применения математических методов оптимизации состоит в том, чтобы осуществить вычислительный процесс наиболее эффективным способом с учетом инженерной специфики поставленной задачи и возможностей используемых ЭВМ.

Выбор метода оптимизации указанной задачи как и в любом другом случае определяется ее классификацией. Данная задача является детерминированной, так как подлежащий оптимизации критерий (целевая функция) детерминированная (неслучайная) функция оптимизируемых параметров. При этом на решение задачи наложены ограничения, поэтому она является задачей условной оптимизации.

Сложность задачи в значительной мере определяется видом критерия эффективности. Поскольку критерий эффективности определяется в неявной форме нелинейными выражениями, описывающими зависимость критерия эффективности от оптимизируемых параметров, то очевидно, что задача относится к области задач нелинейного программирования с несколькими переменными.

Для решения поставленной задачи целесообразно использовать детерминированные методы поиска нулевого порядка, сводя исходную задачу нелинейного программирования с ограничениями к последовательности задач безусловной оптимизации. Методы поиска нулевого порядка не требуют регулярности или непрерывности целевой функции и существования ее производных. Для сведения исходной задачи с ограничениями к задаче без ограничений можно воспользоваться универсальным и простым методом внешних штрафных функций, относящихся к группе непрямых методов. Он позволяет преобразовать задачу условной оптимизации в последовательность задач безусловной оптимизации некоторой вспомогательной функции. Последняя получается путем модернизации целевой функции с помощью функций ограничений таким образом, чтобы ограничения в явном виде в задаче оптимизации не фигурировали.

В общем случае вспомогательная функция имеет вид

$$F(x, \alpha) = f(x) + \Phi(x, \alpha), \quad (24)$$

где $f(x)$ - целевая функция задачи;
 $\Phi(x, \alpha)$ - внешняя штрафная функция;
 α - параметр ($\alpha > 0$).

Функцию $\Phi(x, \alpha)$ выбирают такой, что ее значение равно нулю внутри и на границе некоторой допустимой области оптимизируемых параметров, а вне ее - положительна и возрастает тем больше, чем сильнее нарушаются ограничения, "штрафуя" при этом удаление от допустимой области.

Внешнюю штрафную функцию можно записать в виде

$$\Phi(x, \alpha) = \alpha [\varphi(x) - \psi(x)], \quad (25)$$

где $\varphi(x)$ и $\psi(x)$ - функции, определяемые соответственно ограничениями (2), (3) исходной задачи.

Здесь

$$\varphi(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } |\theta_{ж} - \theta_{ж.опт}| - \epsilon \leq 0; \\ |\theta_{ж} - \theta_{ж.опт}| - \epsilon, & \text{если } |\theta_{ж} - \theta_{ж.опт}| - \epsilon > 0, \end{cases} \quad (26)$$

$$\psi(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } \left| \frac{\theta_{ж.св}}{\theta_{ж.конт}} - \frac{F_{ж.св}}{F_{ж.конт}} \right| - \xi \leq 0; \\ \left| \frac{\theta_{ж.св}}{\theta_{ж.конт}} - \frac{F_{ж.св}}{F_{ж.конт}} \right| - \xi, & \text{если } \left| \frac{\theta_{ж.св}}{\theta_{ж.конт}} - \frac{F_{ж.св}}{F_{ж.конт}} \right| - \xi > 0, \end{cases} \quad (27)$$

где ϵ и ξ - некоторые малые величины, характеризующие точность выполнения ограничений.

Вспомогательная функция $F(x, \alpha)$ при этом будет иметь вид

$$F(x, \alpha) = \theta p(x) + \alpha [\varphi(x) + \psi(x)]. \quad (28)$$

При решении задачи безусловной минимизации функции (28) на ЭВМ были использованы методы безусловной оптимизации, имеющиеся в математическом обеспечении машины, в частности, методы покоординатного спуска, вращающихся координат (Розенброка) и метод сопряженных направлений (Пауэлла). Все перечисленные методы оказались приемлимыми для решения поставленной задачи, однако, наиболее эффективным с точки зрения использования машинного времени оказался метод Пауэлла. Этот метод использует свойство квадратичной функции, заключающееся в том, что любая прямая, которая проходит через точку минимума оптимизируемой функции, пересекает под равными углами касательные к поверхностям разного уровня функции в точках пересечения.

В качестве объекта для проведения оптимизационных расчетов принято помещение для проведения опоросов на 30 станкомест сви-нарника-маточника по типовому проекту 802-3-I.

Расчеты выполнены на ЭВМ при содержании поросят-сосунов с продолжительностью подсосного периода до 28 дней для переходного и зимнего периода при изменении температуры наружного воздуха от 10 °С до -30 °С.

Анализ результатов расчета целевой функции и ее составляющих в зависимости от возраста поросят, соответственно, для комбинированного, инфракрасного и напольного обогрева для температуры наружного воздуха -20 °С, показывает, что оптимальные значения температуры внутреннего воздуха $t_{в}$ при этом составили: для комбинированного обогрева 11 °С, для инфракрасного - 12 °С, для напольного - 22 °С.

Возможность снижения температуры воздуха при комбинированном обогреве до 11 °С позволяет получить наименьшее значение мощности энергетической системы свинарника-маточника несмотря на то, что суммарная мощность источников местного обогрева в этом случае значительно выше мощности источников при одностороннем обогреве. При этом мощность источников местного обогрева с возрастом снижается в связи с увеличением теплопродукции организма поросят и снижения их потребности в теплоступлении извне. Вместе с тем, с ростом молодняка увеличивается кратность воздухообмена, что влечет за собой увеличение энергозатрат на подогрев приточного воздуха, в результате чего снижение мощности системы за обогреваемый период не происходит.

Анализируя также изменение, в зависимости от возраста животных, оптимальных значений энергетических параметров теплоисточников установки местного обогрева при их совместном включении (комбинированный обогрев) и в случае одностороннего использования при отключении панели (ИК-обогрев) или ИК-излучателя (напольный обогрев) несходимо отметить, что в случае комбинированного обогрева выполняются оба условия комфортности (2), (3) на протяжении всего обогреваемого периода. При ИК-обогреве в первые три дня обогреваемого периода основное условие ком-

фортности нарушается, при этом суммарные теплопотери животного $\theta_{ж}$ превышают его оптимальные значения $\theta_{ж.опт}$ вследствие превышения допустимых теплопотерь в зоне контакта с напольным обогревателем, среднее значение температуры которого не превышает 26°C .

Что касается напольного обогревателя, то здесь обеспечить оптимальный уровень теплопотерь поросят не удастся на протяжении всего обогреваемого периода, хотя величина ограничений, характеризующая выполнение основного условия комфорта с возрастом снижается. Температура напольного обогревателя при этом подерживается максимально допустимой по дополнительному условию комфорта (3), но исключая при этом возможность местного перегрева животного, тем не менее, теплопотери со свободной поверхности тела несмотря на увеличение температуры воздуха $t_{в}$ до 21°C значительно превышают допустимое значение теплопотерь $\theta_{ж.опт}$.

Исследование зависимости общего расхода энергии θ_p в зависимости от изменения температуры наружного воздуха t_n показывает, что с увеличением t_n потребляемая мощность энергосистемы свинарника-маточника резко падает независимо от вида местного обогрева, однако при $t_n > -11^{\circ}\text{C}$ эффективность совместного использования ИК-излучателей и напольных обогревателей, вследствие изменения энергетических соотношений составляющих теплового баланса θ_p , снижается, а при $t_n > 1^{\circ}\text{C}$ комбинированный обогрев становится не эффективным. Достаточно в этом случае наладить оптимальный режим работы системы общего отопления и вентиляции только с инфракрасным облучателем, обеспечив при этом теплоизоляцию животных от пола, эквивалентную электрообогреваемой панели ЛЮ в отключенном состоянии.

Л и т е р а т у р а

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. - М.: Высшая школа, 1982.
2. Волощик П.Н., Дмитриева Н.М. Создание микроклимата в свинарниках-маточниках. - М.: Московский рабочий, 1971.

3. Герасимович Л.С. Разработка научно-технических основ низко-температурного поверхностно-распределенного электронагрева в сельском хозяйстве. Автореф. дис. ... докт.техн.наук. - Челябинск, 1982.
4. Кориченко И.А. Возрастные изменения энергетического обмена и терморегуляции. - М.: Наука, 1979.
5. Кудрявцев А.А. Методы исследования газового и энергетического обмена у сельскохозяйственных животных. - М.: Сельхозгиз, 1951.
6. Методические рекомендации по оптимизации методов снижения энергоемкости обеспечения микроклимата животноводческих помещений. - Запорожье: ЦНИПТИМЭЖ, 1979.
7. Никитченко И.Н., Гильман Э.Д. Справочник по свиноводству. - Мн.: Ураджай, 1984.
8. Отопление и вентиляция, Ч. I/И.Н.Каменев, А.Н.Сканави, И.Р.Богословский и др. - М.: Стройиздат, 1975.
9. Петрухин И.В. Биологические основы выращивания поросят. - М.: Россельхозиздат, 1970.
10. Плященко С.И., Хохлова И.И. Микроклимат и продуктивность животных. - Л.: Колос, 1976.
11. Растишин С.А. Обоснование параметров и разработка установок локального электрообогрева ягнят. Автореф. дис. ... канд. техн.наук. - М.: ВИЭСХ, 1985.
12. Славин Р.М., Быстрицкий Д.Н., Афанасьев Д.Е. Методика расчета параметров и режимов автоматических электронагревателей для цыплят. - М.: ВИЭСХ, 1968.

УДК 621.371:621.311.001

В.И.Русан, доктор технических наук

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АПК

Энергетическая ситуация в Республике Беларусь характеризуется новыми геополитическими и энергоэкономическими условиями, изменением внешних экономических отношений после распада СССР, недостаточными ресурсами углеводородного топлива (нефть, газ, уголь), а также неадекватным использованием топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), высокой энергоемкостью сельскохозяйственной продукции и низкой надежностью энергообеспечения потре-

бителей. В сложившихся условиях остро стоит проблема обоснования путей дальнейшего развития систем надежного энергообеспечения отраслей народного хозяйства.

АПК является крупным потребителем ТЭР, расход которых в настоящее время составляет около 15 % общереспубликанского потребления. Свыше 30 % ТЭР приходится на потребление электрической энергии.

Электроснабжение сельскохозяйственных потребителей до последнего времени осуществляется преимущественно по линиям электропередачи напряжением 0,4; 10; 35 и 110 кВ. Протяженность сельских электрических сетей ВЛ-0,4-10 кВ - свыше 200 тыс. км.

Основными сельскохозяйственными подстанциями являются подстанции напряжением 110-35/10 кВ и 35-10/0,4 кВ общим количеством ТП-10/0,4 около 70 тысяч единиц, ТП-35/10 и ТП-110/35 около 1200 единиц. Из них более 3000 закрытого типа, срок эксплуатации которых не превышает 20 лет. Протяженность кабельных линий - более 17 тыс. км. Значительными являются потери в сетях, которые составляют свыше 0,5 млрд. кВт.ч в год.

Электрические сети, преимущественно радиальные, имеют не всегда оправданную протяженность, обладают низкой степенью автоматизации, содержат далеко не современное оборудование. Надежность электроснабжения сельскохозяйственных потребителей низкая, качество электроэнергии не соответствует ГОСТу 13109-87.

В энергосистеме намечалась тенденция ограниченного и поэтапного вывода из эксплуатации сетей напряжением 35 и 220 кВ, роста объема строительства электрических сетей, связанных с ликвидацией последствий аварии на Чернобыльской АЭС, а также значительным объемом выбытия линий электроснабжения и оборудования подстанций напряжением 0,4-220 кВ из-за их износа.

Значительная доля сельских электропотребителей (около 3000) относятся к потребителям I категории, не терпящих перерыва в электроснабжении, вместе с этим в эксплуатации имеется только около 300 резервных дизельных электростанций (или 10 % от потребности).

Для повышения надежности и качества обеспечения электроэнергией потребителей АПК необходимо провести комплекс различных организационных и технических мер, направленных на улучшение качественной основы электрических сетей, охватывающих вопросы технического перевооружения оборудования и сооружений, применения более прогрессивных электрических схем, долговремен-

ных конструкций, широкого оснащения средствами телемеханики, автоматизации технологии и управления, повышения профессионального уровня персонала, совершенствования строительного-монтажного цикла со сдачей "под ключ".

Основными направлениями развития системы сельского электроснабжения являются:

разработка и обоснование мероприятий по резкому снижению аварийности сельских электрических сетей путем повышения механической прочности ВЛ 10 кВ, совершенствования конструкции электрических сетей, сетевого и автономного резервирования;

обоснование мероприятий и средств снижения потерь электроэнергии в сельских сетях;

разработка и внедрение современных методов расчета и построения сельских сетей, в первую очередь это способы и средства автоматизации проектирования и управления электрическими сетями (САПР и АСУ);

создание комплексной системы автоматизированного контроля учета и управления энергопотреблением;

обоснование оптимальной системы эксплуатации электрооборудования в сельскохозяйственном производстве, обеспечивающем повышение его надежности и снижение материальных, трудовых и других издержек при техническом обслуживании и ремонте электроустановок;

разработка научно обоснованных норм потребности в материалах, запасных частях и оборудовании для обеспечения в полном объеме ремонтно-эксплуатационных нужд;

разработка рекомендаций по устранению последствий, связанных с воздействием на животных низких напряжений;

оптимизация протяженности воздушных линий 0,38 и 10 кВ с учетом электрических нагрузок и категорийности потребителей;

увеличение объемов строительства кабельных линий напряжением 0,4-10 кВ;

перевод или строительство ЛЭП-0,4 кВ на железобетонных опорах;

интенсивное применение в ВЛ изолированных проводов;

применение кабелей с полимерной изоляцией;

разработка и внедрение новых подстанций, опор, распределительных устройств, применение более современной аппаратуры (вакуумные выключатели, автоматические отделители, выключатели нагрузки, разрядники и т.д.);

повышение качества электроэнергии в сетях 0,38 кВ путем модернизации существующих трансформаторов, использования сетей

регуляторов напряжения и установки емкостной компенсации;
 совершенствование и внедрение технических средств для повышения коэффициента мощности и снижения потерь электроэнергии;
 применение при строительстве новых и реконструкции магистрального принципа (провод одного сечения, трехфазная линия по всей длине, включая линии 0,4 кВ с трехфазными вводами в жилые дома);

исследование возможностей и целесообразности использования энергии малых рек для повышения надежности электроснабжения и покрытия дефицита электроэнергии;

исследование и внедрение нетрадиционных источников энергии и местных энергоресурсов (энергия ветра, воды, солнца, биогазовые установки, вторичные энергоресурсы и др.).

Наряду с совершенствованием традиционных систем электроснабжения важное значение имеет разработка и внедрение новых систем энергообеспечения АПК. Следует иметь в виду, что запасы традиционных энергоносителей не бесконечны и ограничены. Необходим поиск путей использования альтернативных и возобновляемых энергоносителей.

В республике имеются существенные возможности обеспечения энергией потребителей за счет использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ) – солнца и ветра, гидроэнергетические ресурсы и геотермальное тепло, твердые бытовые отходы и биомасса, тепло отработанного воздуха и сточных вод, основными потребителями которых могут быть отрасли АПК. Исследование показывает, что республика располагает значительной сырьевой базой и энергетическим потенциалом использования НВИЭ (табл. I).

Таблица I

Потенциал энергетических ресурсов и энергосбережения

Наименование источника энергии	Потенциал	
	млн.т.у.т.	млн.кВт
I. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии, в т.ч.:	13,0	
солнечная энергия	4,8	
биомасса	3,4	
энергия ветра	2,3	
вторичные энергоресурсы	2,1	
энергия редуцированного природного газа	0,4	

Наименование источника энергии	Потенциал	
	млн. т. у. т.	млн. кВт
2. Местные энергоресурсы:		
гидроэнергетические ресурсы с крупных рек		0,9
гидроэнергетические ресурсы малых рек (прогноз)		1,0
фитомасса	900	
внутриземное тепло (прогноз)	200	
твердые бытовые отходы	0,5	
торф	400	
нефть	2	
горючие сланцы (прогноз)	3000	
бурные угли (прогноз)	151,6	
3. Энергосбережение в АПК	2,5	

В настоящее время и в ближайшем будущем в республике могут быть использованы НВИЭ в следующих целях:

а) солнечная энергия:

тепловодоснабжение потребителей различных отраслей народного хозяйства;

отопление, тепловое водоснабжение жилых домов и других помещений различного назначения;

сушка сельскохозяйственной и различной промышленной продукции;

отопление теплиц;

обессоливание минерализованных вод;

электроснабжение маломощных автономных потребителей и др.

б) ветровая энергия:

водоснабжение и электроснабжение индивидуальных хозяйств;

водоснабжение животноводческих ферм, пастбищ;

электрохимическая защита газопроводов и др.

в) биомасса:

получение биогаза для снабжения близлежащих потребителей;

получение удобрений для сельскохозяйственных работ через обработку в биоэнергетических установках органических отходов сельского хозяйства, промышленности, коммунального хозяйства;

теплоэнергоснабжение от сжигания городских органических отходов на специализированных заводах.

г) энергия малых рек:

электроснабжение автономных потребителей через сооружение микроГЭС на реках и водотоках.

д) геотермальная энергия (подземных горячих вод):

использование в бальнеологических целях;

отопление жилых зданий.

е) низкопотенциальное тепло (воздуха, солнца, земли, надземных вод, вентиляционных выбросов и др.):

горячее водоснабжение различных потребителей;

отопление жилых зданий, других помещений.

Их скорейшее применение важно по следующим обстоятельствам.

Во-первых, они дают реальную, легко учитываемую экономию топлива.

Во-вторых, эти источники, как правило, являются экологически чистыми.

В-третьих, их применение само по себе реализует переход от расточительной к рациональной экономике.

Особого внимания заслуживает проблема использования фитомассы с загрязненных радионуклидами территорий в качестве возобновляемых источников энергии. В результате соответствующей переработки фитомассы с загрязненных территорий можно получить экологически чистый энергоноситель — биогаз и ил с активностью, допустимой для использования его в качестве удобрения. На более загрязненных территориях иловый остаток подлежит специальному захоронению. На основе энергетического растениеводства может быть решена радиоэкологическая проблема — дезактивация почвы за счет выноса из нее радионуклидов самими растениями (фитодезактивация).

Практический интерес представляет использование в народном хозяйстве энергии атмосферного электричества (АЭ). Как известно, АЭ определяется электрическими явлениями в атмосфере: ионизация воздуха, электрическое поле атмосферы, электрические заряды облаков и атмосферы, заряды и разряды осадков, электрические токи и разряды в атмосфере. Даже при совершенно безоблачном небе атмосфера представляет собой электрическое поле. Что касается энергии молниеносных разрядов, то зарегистрированы максимальные молнии силой 200–250 кА и общая длительность многократного ее разряда от 0,2 до 1,8 с. В настоящее время имеются предложения по разработке устройства приема, передачи и накопления АЭ.

Для надежного энергообеспечения потребителей при использовании НВИЭ необходимо иметь аккумуляторы энергии (электрической,

теплой, сжатого воздуха, химической и др.). Универсальным способом аккумуляции является производство водорода на основе электролиза воды и его безопасного хранения в металлгидридных батареях с последующим использованием как универсального энергоносителя в виде топлива при сжигании в тепловых установках, двигателях внутреннего сгорания (и для привода электрогенератора), получение электроэнергии электрохимическим способом в топливных элементах.

Для исследования и отработки технологии получения, аккумуляции и использования водорода как топлива для автономных энергопотребителей нами разработана экспериментальная установка

состоящая из щелочного электролизера с самоциркуляцией производительностью $0,5 \text{ м}^3 \text{ H}_2/\text{ч}$ и металлгидридного накопителя емкостью $1 \text{ м}^3 \text{ H}_2$.

Для использования возобновляемых источников разрабатываются ветроэнергетическая установка мощностью $5/17 \text{ кВт}$ с асинхронными генераторами, а также гидросиловая установка мощностью $5, 10$ и 20 кВт с использованием осевых насосов.

Разрабатывается установка для преобразования энергии солнечного излучения непосредственно в электрическую энергию, предназначенная для электропитания водоподъемника мощностью до 2 кВт , удаленных объектов колхозов, совхозов и фермерских хозяйств АИЖ, она может быть использована для электроснабжения постоянным или переменным током бытовой техники и производственного оборудования. Разрабатываются оборудование по использованию биогаза для получения тепловой и электрической энергии; тепло - гелеустановка с использованием солнечной энергии; электротехнологии для получения экологически чистых моющих и дезинфицирующих растворов для сельскохозяйственного производства.

Реализация изложенных направлений развития систем энергообеспечения, осуществляемые исследования и их широкое внедрение в производство будут способствовать энергетической независимости Республики Беларусь, позволят изменить топливно-энергетический баланс в сторону увеличения использования НВИЭ и местных энергоресурсов, а также значительно улучшить экологическую обстановку в новых геополитических условиях.

ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Республика Беларусь располагает запасами местных видов топлива: бурых углей, торфа, сланцев, древесины, нетрадиционными и возобновляемыми источниками энергии, которые еще из-за организационных и технологических недоработок не в полной мере включены в общий топливно-энергетический баланс.

До 2005 года возможна ежегодная добыча 5,0 млн. т условного топлива, в т.ч.: нефти - 2,75; газа попутного - 0,34; торфобрикетов - 0,63; дров и отходов - 1,1; нетрадиционных и возобновляемых источников до 0,25 млн. т условного топлива [1]. Ежегодное потребление топлива агропромышленным комплексом на производственные нужды составляет около 5,0 млн. т.у.т. или более 15 % потребляемого всей Республикой Беларусь.

В настоящее время разведаны три месторождения бурых углей - Житковичское и Брилевское в Гомельской, Тоневское в Брестской областях с суммарным запасом 151,6 млн. т. Бурый уголь используется как самостоятельный вид топлива, так и в смеси с торфом при производстве торфоугольных брикетов.

Анализ показывает, что бурые угли содержат большое количество золы (20 %) на сухую массу топлива, высокий выход летучих (50 %), малое содержание углерода (70 %), влага в рабочей массе превышает 50 %, а также имеет низкую теплоту сгорания топлива (9 мдж/кг).

На теплоту сгорания топлива влияет процентное содержание углерода, водорода и кислорода в рабочей массе топлива, а также влажность топлива. Углерод и водород являются важнейшими компонентами горючей массы, их повышение в рабочей массе увеличивает теплоту сгорания. Повышение содержания кислорода и высокая влажность топлива снижают теплоту сгорания. Например, уменьшение содержания водорода в горючей массе на 1 % снижает теплоту сгорания на 246 Ккал/кг, а уменьшение углерода на 1 % соответствен-

но на 81 Ккал/кг. Увеличение содержания влаги на 1 % приводит к снижению низшей теплоты сгорания бурых углей на 60 Ккал/кг [9]. Это указывает на то, что бурые угли являются низкокалорийным видом топлива и для эффективного использования в тепловых установках особое внимание надо уделить химическим, механическим, термическим, организационным и другим методам подготовки их к сжиганию.

Располагаемое тепло продуктов сгорания бурых углей марки Б1 составляет 65-75 %. Потери составляют, %: с химической неполнотой сгорания - 4,5-5,0; с уходящими дымовыми газами - 13,0; с механической неполнотой сгорания при сжигании в камерных топках - 0,5-1,0; при сжигании в слоевых топках - 5,0-7,0; в окружающей среде - 0,5-1,0; с физическим теплом шлака - 2,0-3,0. При сгорании бурых углей в котлоагрегатах теплота не превышает 45 %.

Для интенсификации процесса сжигания бурых углей и уменьшения потерь тепла необходимы [17] :

механическая и тепловая подготовка топлива к сжиганию. Механическая подготовка включает предварительное дробление, подсушку и размол; тепловая - прогрев, испарение влаги и выпеление летучих;

организация устойчивого зажигания путем интенсификации химического реагирования, заключающееся в предварительном нагревом воздуха и топливно-воздушной смеси;

перемешивание компонентов горения с помощью применения "острого дутья", сжигания в "кипящем слое" и др.

Потери тепла с уходящими продуктами сгорания составляют основную часть суммарного значения всех потерь располагаемой теплоты сгорания топлива и в два раза превышают потери от химической и механической неполноты сгорания. Снижение этих потерь окажет существенное влияние на повышение эффективности использования топлива.

Основными факторами снижения потерь тепла с уходящими газами являются:

уменьшение температуры уходящих газов. Установлено, что снижение температуры уходящих газов с 250° до 200° при сжигании бурых углей снижает величину потерь до 3,5 %. Это мероприя-

тие достигается устанoвкой в хвостовой части котла теплоизолирующих элементов (родо- и воздухоподогревателей);

уменьшение коэффициента избытка воздуха в уходящих газах, который зависит от коэффициента расхода воздуха в топке и балластного воздуха, присосанного в газоходы котла;

с уменьшением золы и влаги в топливе потери теплоты с уходящими газами уменьшаются. Наиболее рациональным является использование метода сжигания с подсушкой топлива газами, отбираемыми из топки. Поверхности нагрева котлов при их работе загрязняются золой топлива, что приводит к снижению коэффициента теплопередачи от продуктов сгорания к рабочему телу, а, следовательно, к повышению температуры уходящих газов. Для сохранения заданной мощности котла необходимо увеличить расход топлива. Загрязнение поверхностей нагрева приводит к увеличению сопротивления газового тракта и снижению нагрузки котла.

Потери теплоты от механической неполноты горения связаны с недожогом твердого топлива в топочной камере. Часть топлива в виде горючих частиц, содержащих углерод, водород, серу, может уноситься газообразными продуктами сгорания, часть удаляется вместе со шлаком. Возможен провал части топлива через отверстия колосниковой решетки. Потери теплоты с провалом зависят от спекаемости топлива и конструкции колосниковой решетки. Применение беспровальных колосниковых решеток позволяет сократить потерю теплоты с провалом на 0,5–1,0 %.

В слоевых топках потери теплоты со шлаком увеличиваются с увеличением зольности топлива и с уменьшением выхода летучих. Кроме того потери зависят от способа удаления шлака, а также от размеров кусков топлива.

Органическая масса горючих сланцев выгодно отличается от органической массы других видов твердого топлива. Содержание в них водорода – до 10 %, что в 1,5 раза превышает содержание водорода в древесине, торфе и бурых углях и соответствует содержанию водорода в мазуте. Органическая масса сланцев характеризуется сравнительно низким содержанием кислорода и высоким содержанием углерода.

Прогнозные запасы горючих сланцев в Республике Беларусь оцениваются в II млрд. т (Льбанское и Туроеское месторождения).

Теплота сгорания сланцев - 1000 - 1510 Ккал/кг, зольность - 75 %, выход смол - 6,0 - 9,0 %, содержание серы - 2,6 %.

Торф представляет собой продукт разложения растительных веществ. По способу добычи различают торф кусковой и фрезерный (крошка). Масса 1 м³ торфа зависит от способа его добычи, влажности и колеблется от 300 (при влажности 25 %) до 500 кг (при влажности 50 %). Торф содержит до 70 % летучих веществ и при открытом хранении способен к самоокислению.

Республика Беларусь располагает сырьевыми топливными ресурсами торфа и продуктами его добычи и переработки (фрезерный торф для брикетирования и пылевидного сжигания, брикеты, кусковой торф). В настоящее время добывается торфа для сельского хозяйства II,0-II,5 млн. т и как бытового топлива 4,5-5,0 млн. т. Ресурсы разрабатываемого и перспективного фонда извлекаемого торфа составляют 270 млн.т. Торф используется для производства торфяных и торфоугольных брикетов, а также печного бытового топлива.

Влажность добываемого торфа составляет около 50 %, зольность - 18, насыпная плотность - 340,0 кг/м³. Низшая теплота сгорания зависит от влажности торфа. При влажности 60 % она равна 1500 Ккал/кг, при влажности 10 % - 4130 Ккал/кг, соответственно жаропродуктивность 1240 °С и 1970 °С.

Дрова являются одним из распространенных видов топлива. Дрова влажностью 30-40 %, используемые в качестве горючего, относятся к топливу с низкой теплотой сгорания и жаропродуктивностью. Например, теплота сгорания дров влажностью 40 % составляет 2440 Ккал/кг, а с влажностью 30 % - 2940 Ккал/кг, соответственно и жаропродуктивность - 1610 °С и 1730 °С.

Выход летучих к горючей массе составляет 85 %. Содержание углекислого газа в сухих продуктах сгорания - 20,5 %.

Обычно дрова применяют для бытовых и производственных нужд, их заготавливают влажностью 20-30 %.

Искусственное твердое топливо на основе торфа и дров получают двумя методами — брикетированием и термической обработкой или совмещением этих методов.

Слоевое сжигание несортированного твердого топлива сопровождается большими потерями вследствие провала сквозь колосниковую решетку мелких частиц, при его хранении, транспортировании и использовании.

Брикетирование мелких фракций угля и торфа с высоким содержанием влаги включает процессы сушки с целью снижения влажности топлива с 40–60 % до 10–15 %. Это позволяет повысить теплоту сгорания топлива, его транспортабельность и удобство применения особенно в котлах малой мощности.

Для производства брикетов фрезерный торф с содержанием влаги 40–50 % измельчают и высушивают при температуре 700 °С до влажности 10–12 %. Затем его прессуют под давлением до 1200 кгс/см² и получают брикеты в виде призм с закрепленными углами длиной от 80 до 200 мм, шириной — 40–75 и высотой — 20–70 мм. Максимальная зольность сухой массы брикетов — 10–20 %, содержание мелочи (до 25 мм) — не более 5 %, низшая теплота сгорания брикетов с влажностью 10 % — 4130 Ккал/кг, жаропродуктивность — 2000 °С.

При нагревании твердого топлива без доступа воздуха разлагается горючая масса и выделяются летучие вещества, состоящие из CO, CO₂, H₂, CH₄ и других газообразных углеводородов, а также из паров смолы. Остаток после отгонки летучих веществ содержит значительно меньше кислорода и водорода, чем исходное твердое топливо и соответственно больше углерода. Получаемое таким путем искусственное твердое топливо горит без пламени и обладает высокой теплотой сгорания и жаропродуктивностью.

При сухой перегонке древесины в печах при температуре около 500 °С получают газ до 20 % от веса сухой массы топлива, до 70 % смолы, 50 % — подсмольной воды (водного раствора метилового спирта и ацетона) и 23 % обуглероженного твердого остатка — древесного угля.

На эффективность использования мазута влияют потери тепла с уходящими продуктами сгорания, с химической и механической неполнотой горения. Потери тепла при сжигании мазута в надлежащих условиях вследствие механической неполноты сгорания обусловленной сажеобразованием составляют около 0,2 %. Коэффициент исполь-

зования различных марок мазута зависит от интенсификации процесса горения и типа установки:

обеспечения полноты сгорания мазута и устранение сажеобразования. С экономией топлива устраняется загрязнение воздушного бассейна копотью, сажей и окисью углерода;

уменьшение избытка воздуха в продуктах сгорания путем поддержания оптимальной вязкости мазута, применения прогрессивных типов форсунок, оснащения котельных и печных установок газоанализаторами и систематического контроля процесса горения;

снижение температуры уходящих газов применением рекуператоров, воздухонагревателей, экономайзеров, использования тепла продуктов сгорания отводимых от котлов, в сушилках и других низкотемпературных установках.

Вырабатывают, передают и распределяют тепловую энергию на производственные, технологические и коммунально-бытовые нужды в сельском хозяйстве Республики Беларусь четыре ТЭЦ сахарных заводов, 14 тыс. котельных, 28 тыс. котлов, в том числе 6 тыс. электрокотлов, теплоутилизаторы, генераторы, печи и местные квартирные котлы и плиты, а также 15 тыс. км тепловых сетей.

По характеру использования тепловой энергии теплоснабжение бывает технологическое для производства и переработки сельскохозяйственной продукции, а также для отопления, горячего водоснабжения и вентиляции производственных и коммунально-бытовых помещений. Теплоносителем для технологического теплоснабжения является пар, горячая вода и подогретый воздух, для отопления, горячего водоснабжения и вентиляции — горячая вода.

По виду теплоносителя системы теплоснабжения делят на паровые, водяные, воздушные, газовые и электрические [3]. При совместном использовании различных теплоносителей применяются комбинированные системы отопления: паровоздушные, водовоздушные, электровоздушные.

По конструктивному исполнению применяются следующие системы теплоснабжения:

по количеству труб — однетрубные, двухтрубные и многотрубные;

по гидравлической зависимости — зависимые и независимые;

по способу подачи воды на горячее водоснабжение - закрытые и открытые;

по методу регулирования отпускаемой теплоты - качественное и количественное регулирование.

Количество трубопроводов в сетях определяется принятой схемой движения теплоносителя и способом подготовки горячего водоснабжения. Наиболее распространены двухтрубные системы, обеспечивающие возврат теплоносителя к источнику теплоты. При зависимой схеме присоединения теплоноситель от котельной поступает непосредственно в систему отопления, при независимой - нагрев теплоносителя системы осуществляется через бойлер отопления. Открытые тепловые сети позволяют непосредственный водозабор на горячее водоснабжение, в закрытых сетях требуется подогрев воды в бойлерах горячего водоснабжения. Открытые тепловые сети могут быть как однотрубными, так и многотрубными. Качественное регулирование отпускаемой теплоты производится за счет изменения температуры теплоносителя при его нагреве в котельной.

Тепловая сеть - это система трубопроводов, по которым теплота теплоносителем (горячая вода, пар) передается от генератора теплоты к потребителям. Сети бывают магистральные, распределительные, абонентские. Магистральные сети обслуживают группу потребителей теплоты и передают тепло от источника до ответвления на группу потребителей; распределительные сети обслуживают группу зданий или отдельного крупного потребителя и продлеваются от ответвления на магистральной сети до ответвления к отдельным зданиям; сети абонентских систем являются разводными тепловыми сетями до присоединения систем теплоснабжения.

Существуют следующие способы прокладки тепловых сетей: воздушный - на низких или высоких опорах; подземный - открытым способом в траншеях; совмещенный - в общих коллекторах с другими инженерными коммуникациями; бесканальный - в траншеях с последующей засыпкой.

Исследованиями установлено, что теплоснабжение в мелких населенных пунктах сельской местности имеет свои специфические особенности [11, 15, 17]:

небольшими величинами значений суммарных тепловых нагрузок как в целом по пунктам, так и по отдельным абонентам (I, I_с-II, с МВт/га, I-10 Гкал/ч);

преобладающим теплоснабжением коммунально-бытового сектора над производственным (10-85 %);

низкой теплоплотностью (0,09-0,37 МВт/га, 0,08-0,25 Гкал/ч) что соответствует плотности жилого фонда от 200 до 1000 м²/га;

низкой единичной концентрацией теплоснабжения в связи с малыми объемами жилых зданий (II, t · 10³ - 35 · 10³ Вт, 10 · 10³ - 30 · 10³ Ккал/ч);

дефицитом эксплуатационного и ремонтного персонала, проблемами с приобретением топлива, технологического отопительного оборудования и приборов.

Какие системы теплоснабжения наиболее приемлемы для села?

Целесообразность применения центральных систем теплоснабжения села является, прежде всего, возможностью снижения удельных приведенных затрат на теплоснабжение. Среднегодовые коэффициенты использования топлива в зависимости от применения в источниках тепловой энергии составляют: на тепловых электростанциях - 81-85 %; на крупных районных и промышленных котельных - 75-78 %; децентрализованных источниках - до 60 % [4].

Снижение затрат при укрупнении источника теплоты приводит к одновременному увеличению затрат на транспортирование теплоты. Это основополагающий фактор экономичности системы и при технико-экономическом обосновании он должен учитываться.

Системы централизованного теплоснабжения целесообразны при условиях [10]:

высокой плотности теплопотребителей, обеспечивающей снижение удельной протяженности тепловых сетей;

применения низкосортного топлива с повышенным содержанием золы и влаги, неблагоприятным фракционным составом. КИД сжигания такого топлива выше у крупных котельных; применения источников теплоты из унифицированных типовых технологических блоков;

механизации и автоматизации технологических процессов в котельных и т.д.

Немалые затраты на центральное теплоснабжение. Они складываются из суммы затрат на получение, транспортирование, распределение и использование тепловой энергии потребителями.

Затраты на получение тепловой энергии включают капитальные вложения на сооружение котельных с основным и вспомогательным оборудованием и эксплуатационные издержки на содержание этого оборудования, потребления топлива, использования вырабатываемой тепловой и электрической энергии на собственные нужды. Расходы тепловой энергии на собственные нужды составляют для котельных на жидком топливе - 6-7 %, на твердом топливе - 5-6 %, на газообразном - 3-4 % от вырабатываемой энергии котельной [10].

Тепловые сети являются наименее надежным элементом в системах центрального теплоснабжения. Фактически долговечность сетей составляет 8-15 лет, что в 2-3 раза ниже нормативной, а их стоимость - 30-35 % от стоимости источника теплоты. Эксплуатационные расходы на содержание сетей составляют 8 % от капитальных вложений на их строительство, а потери транспортируемой теплоты из-за утечек и недостаточной теплоизоляции - 5-7 %.

В связи с этим эффективность центральных систем теплоснабжения надо учитывать не по источнику тепла, а по системе в целом, то есть по термическому КПД системы. В табл. I приведены результаты таких расчетов [15].

Таблица I

Показатели	Вид топлива	
	Твердое	Природный газ
Эксплуатационный КПД источника теплоты, брутто, %	75-81,5	85-90,5
Эксплуатационный КПД котельной, нетто, %	65-75	80-85
Расход энергии:		
на собственные нужды, кВт/МВт	15-25	6-8
в пересчете на эквивалентную тепловую энергию, кВт/МВт	42,8-71,4	17,1-22,9
в пересчете на эквивалентную тепловую энергию, %	4,3-7,1	1,7-2,3
принято в расчете, %	5,0	2,0

Показатели	Вид топлива	
	Твердое	Природный газ
Потери теплоты:		
в тепловых сетях с утечкой теплоносителя, %	3,0	3,0
в окружающую среду, %	7,0	7,0
Термический КПД системы, %	50-60	68-73

По экономичности использования топлива центральная система теплоснабжения с учетом потерь в тепловых сетях уступает децентрализованной. Применение центральных систем теплоснабжения в сельской местности рационально в населенных пунктах или общественных центрах при плотности теплопотребления не ниже 0,29 МВт/га (0,25 Гкал/ч/га), оптимальным значением теплоснабжения является - 0,64 МВт/га (0,55 Гкал/ч/га) [18].

В малых населенных пунктах наиболее широкое распространение получили различные типы децентрализованных (индивидуальных) систем теплоснабжения потребителей. С помощью таких систем обеспечивается 95 % населения сельской местности.

Преимущества индивидуальных систем теплоснабжения перед централизованными [10, 11]:

- независимость обеспечения тепловой нагрузки;
- возможность местного регулирования рабочей системы;
- возможность разработки полностью автономных систем, не требующих электрического привода отдельных элементов (применение систем с естественной циркуляцией теплоносителя и теплогенераторов на естественной тяге);
- возможность покрытия тепловых нагрузок по мере ввода жилых зданий и производственных объектов в эксплуатацию;
- невысокие капитальные вложения на строительство систем, примерно в 3 раза меньше по сравнению с центральными.

Кроме того, по эксплуатационным параметрам индивидуальные системы должны обеспечивать следующие требования:

равномерный и постоянный обогрев помещений;
возможность горячего водоснабжения на производственные и бытовые нужды;
возможность приготовления пищи, сушки одежды;
минимальные затраты на обслуживание теплогенераторов и системы в целом;
высокую надежность и безопасность в эксплуатации теплогенераторов и других элементов системы;
высокие санитарно-гигиенические условия и удобство обслуживания;
экономичность работы по использованию топлива и теплоносителя;
минимальные затраты на сооружение системы и благоприятный внешний вид оборудования.

По способу передачи теплоты децентрализованные системы различают с теплоносителем и без теплоносителя. В качестве теплоносителя применяется горячая вода и нагретый воздух (водяные и воздушные системы). При отсутствии теплоносителя теплота передается радиационным путем - прямой передачей от теплогенератора обогреваемому объему помещения. При водяном теплоснабжении используются системы, аналогичные системам теплораспределения центрального теплоснабжения. В этом случае вода из источника теплоты по трубопроводам разводки поступает в нагревательные приборы, а последние обогревают помещение. Воздушные системы отопления требуют специальной системы разводки - коробов, по которым нагретый в источнике теплоты воздух поступает в обогреваемые помещения. Воздушные системы менее металлоемкие и более коррозиестойкие по сравнению с трубным водяным отоплением. Возможно совмещение воздушных систем отопления с системами вентиляции отдельных помещений и зданий.

Классическим представителем рационального обогрева помещений является традиционно сложившаяся в сельской местности система печного отопления. В зависимости от конструктивного исполнения источника теплоты - печи, возможно расширение функциональных возможностей, то есть использования их для трубного водяного

отопления. Конструкцией печи должны быть предусмотрены баки - аккумуляторы теплоты горячей воды, или змеевики, соединенные с системой теплораспределения обогреваемых помещений. В этом случае одновременно решаются вопросы горячего водоснабжения для бытового потребления.

По способу теплопередачи известны электроотопительные приборы конвективного и лучистого действия [В].

Трубчатые электронагревательные элементы могут выполнять функции как конвективных, так и лучистых приборов в зависимости от конструктивного исполнения и встройки в конструкцию нагревательного прибора.

По возможности аккумуляирования тепла применяются электрические нагревательные приборы:

неаккумулирующего действия, к которым относятся конвекторы и радиаторы без аккумулирующих масс, электрические камины, излучатели и т.д.;

малоаккумулирующего действия (с промежуточным теплоносителем небольшой массы и производительностью аккумуляирования до 3 ч) - масляные, водяные и нефтяные радиаторы, подвесные потолочные панели, радиаторы и конвекторы с твердой аккумулирующей массой;

теплоаккумулирующего действия, которые способны аккумуляировать большое количество теплоты на период более 3 ч - электрические теплоаккумулирующие печи, лучистые панели с замкнутоциклическими нагревательными элементами, устройства, конструктивно включающие аккумулирующие емкости с жидким теплоносителем или твер-

Одним из направлений повышения равномерности нагрузки энергосистем является развитие сети потребителей электрической энергии - регуляторов нагрузок электросетей. Ими могут быть:

потребители, получающие в часы провалов нагрузок энергосистем электрическую энергию и потребляющие ее для получения конечного результата;

потребители, преобразующие электроэнергию в другие виды энергии с целью получения конечного результата в любое время суток или в более длительный период.

Характерной особенностью потребителей электроэнергии, относящихся к второй группе, является наличие накопителей-аккумуляторов преобразованной энергии. К таким потребителям относятся системы теплоснабжения производственного и коммунально-бытового секторов.

Одним из направлений повышения равномерности нагрузки энергосистем является развитие сети потребителей электрической энергии — регуляторов нагрузок электросетей. Ими могут быть:

потребители, получающие в часы провалов нагрузок энергосистем электрическую энергию и потребляющие ее для получения конечного результата;

потребители, преобразующие электроэнергию в другие виды энергии с целью получения конечного результата в любое время суток или в более длительный период.

Характерной особенностью потребителей электроэнергии, относящихся к второй группе, является наличие накопителей-аккумуляторов преобразованной энергии. К таким потребителям относятся системы теплоснабжения производственного и коммунально-бытового секторов агропромышленного комплекса. В зависимости от возможностей потребления электрической энергии и характера создаваемой нагрузки, они делятся на следующие системы:

свободного (круглосуточного) потребления электрической энергии;

потребления электрической энергии с пропусками, при отключении основных энергопотребителей в часы пик промышленных нагрузок;

периодические или теплоаккумулирующие с основным потреблением энергии в часы "провалов" графика нагрузки энергосистем;

комбинированные (различные варианты сочетания вышеизложенных вариантов).

Наиболее вероятно применение теплоаккумулирующих и комбинированных систем теплоснабжения потребителей агропромышленного комплекса в направлениях [1]:

нагрев воды на хозяйственно-бытовые нужды населения с использованием аккумулирующих водогрейных устройств, что позволит в три раза сократить расход горячей воды и экономию первичного энергетического ресурса до 100 кг условного топлива в год на одного жителя, снизить металлоемкость системы вследствие исключения внешних и внутренних трубопроводов горячего водоснабжения;

отопление помещений индивидуальными электрическими приборами с аккумуляцией тепла, что позволит снизить расход топлива на 30 % по сравнению с центральным отоплением. В этом случае эконо-

мия тепла при индивидуальном электрическом отоплении покрывает расход топлива при производстве и передаче электрической энергии. В связи с чем перерасхода первичного энергоресурса по сравнению с центральной системой теплоснабжения не ожидается.

Наиболее эффективно применение электрических теплоаккумуляторных систем теплоснабжения у мелких потребителей, как в индивидуальных домах, так и в небольших производствах и сельскохозяйственных помещениях.

Комбинированные системы децентрализованного теплоснабжения - это совместное использование систем с различными видами теплоносителей, типов источников теплоты по виду преобразовываемой энергии в тепловую, наличием единой или различных систем теплоснабжения. Комбинированные системы менее распространены, чем традиционные, хотя при использовании различных дешевых источников тепла и оригинальных проектных решений они найдут широкое применение.

Разработанная ВЦСХом экспериментальная комбинированная система теплоснабжения жилого сельского дома из 5 человек обеспечивает в течение года горячее водоснабжение и отопление. Она состоит из 5 структурно связанных подсистем. Они включают грунтовый теплообменник, гелиоприемники солнечного излучения, ветроэнергетические коллекторы, аккумуляторы тепловой энергии, электродублиры-дородчики. Остальные две - это подсистемы горячего водоснабжения и отопления. В зависимости от режима работы системы возможно отключение какой-либо из подсистем.

Каждая система теплоснабжения имеет свои преимущества и недостатки, что и определяет целесообразность ее применения в конкретных условиях - потребления теплоты. Например, положительными качествами печного отопления является многофункциональность источников теплоты, автономность применения без комплектования дополнительным оборудованием, невысокие затраты на сооружение, возможность использования различных видов топлива. В тоже время печное отопление имеет ряд недостатков: значительная трудоемкость обслуживания, ухудшение санитарно-гигиенических условий, колебания температуры воздуха в помещении, загрязнение окружающей среды, низкая эффективность сжигания топлива (КПД печи - 30-50 %) [4,

При работе индивидуальных теплогенераторов на жидком и газовом топливе возможно повышение КПД до 70-85 %. Работа теплогенератора совместно с аккумулятором теплоты позволяет избежать

колебания температуры внутри отапливаемого помещения. Известные конструктивные схемы отопления с использованием аккумуляторов - утилизаторов теплоты отходящих газов позволяют снизить колебания температуры в обогреваемых помещениях и обеспечить экономию топлива на 20-25 % [12] .

Теплоснабжение производственных и жилых помещений связано с непроизводительными потерями тепла за пределы помещения:

- биологическое тепло животных;
- тепло от технологического оборудования;
- тепло вентиляционных систем;
- тепло от освещения.

Естественно, что если принять энергетические затраты на системы отопления и вентиляции общественных и жилых зданий 40-80 % от общих затрат энергии, то утилизация тепла вентилируемого воздуха позволит экономить тепловую энергию на эти системы на 30-50 % при условии возможной утилизации теплоты на 75 %. Использовать непроизводительные потери тепла в децентрализованных системах возможно применением комбинированных систем, у которых утилизирующая тепло установка используется в качестве теплогенератора, а дополнительный нагрев воздуха (при необходимости) осуществляется электрическими нагревателями.

В настоящее время одним из важных направлений совершенствования децентрализованных систем теплоснабжения является применение в качестве источников теплоты нетрадиционных возобновляемых видов энергии (солнечной и ветра). Солнечное теплоснабжение наиболее эффективно в установках сезонного действия, при этом необходимы мероприятия как инженерного характера, так и архитектурно-планировочного решения зданий. В зависимости от климатических условий солнечное теплоснабжение в состоянии обеспечить 25-70 % потребности отопления и горячего водоснабжения потребителей [10] .

В климатических условиях Республики Беларусь использование солнечного теплоснабжения возможно только в качестве вспомогательного при наличии основной системы теплоснабжения.

По данным [14] к 2000 году 10-20 % мирового энергопотребления будет удовлетворяться за счет энергии ветра. Наиболее эффективно применение энергии ветра для водо- и теплоснабжения

автономных потребителей. В Республике Беларусь наиболее вероятное применение энергии ветра для водоснабжения сельскохозяйственных объектов. Изготавливаемые в настоящее время ветровые установки требуют среднегодовой скорости ветра в районах использования 3,5–5,0 м/с. Нестабильность ветровой нагрузки требует совершенствования конструкции ветроприемных устройств.

Надежность систем теплоснабжения в значительной степени определяется источниками, сетями и приемниками теплоты.

При центральном отоплении источниками теплоты являются котельные установки, представляющие собой комплекс устройств, размещенных в специальных помещениях и служащих для преобразования химической энергии топлива в тепловую энергию горячей воды и пара. Котельная установка включает топочное устройство, котел, пароперегреватель, водяной экономайзер, воздухоподогреватель, арматуру, гарнитуру, каркас, обмуровку. Базовым агрегатом является котел, представляющий собой теплообменное устройство, в котором тепло от горячих продуктов горения топлива передается воде. Топочное устройство служит для сжигания твердого, жидкого или газообразного топлива и превращения его химической энергии в тепловую. В пароперегревателе теплом дымовых газов осуществляется подогрев полученного в котле пара. Водяной экономайзер служит для подогрева поступающей в котел воды теплом уходящих из котла дымовых газов. Аналогично в воздухоподогревателе производится подогрев поступающего в топочное устройство воздуха.

Оборудование котлоагрегата размещается на общем каркасе с лестницами и помостами для обслуживания. Для предохранения утечек тепла служит обмуровка котлоагрегата. Арматура и гарнитура обеспечивают возможность обслуживания закрытых частей котлоагрегата, его безопасную работу и включает: гляделки, люки, поворотные заслонки, шиберы, лазы, запорную и регулировочную арматуру, предохранительные клапаны.

Вспомогательное оборудование обеспечивает работоспособность котлоагрегата, подготовку и подачу воды и топлива, регулирование технологических процессов, удаление отходов и включает: питательные насосы; тягодутьевые установки; паро- и водопроводы;

арматуру, устройства контроля и автоматического регулирования технологических процессов; оборудование подачи воды, топлива, воздуха; оборудование удаления дымовых газов, золы, шлака.

В агропромышленном комплексе Республики Беларусь применяются котельные производственно-отопительного и отопительного назначения с котлоагрегатами низкого и среднего давления, водогрейными и паровыми котлами, чугунными и стальными.

В хозяйствах эксплуатируется свыше 630 паровых стальных котлоагрегатов типа Е (ДКВР, ДЕ, КЕ) паропроизводительностью от 2,5 до 10,0 т/ч и температурой пара 225 °С. Котлы работают на природном газе, мазуте, каменном и буром углях. Поверхность нагрева теплообменных поверхностей составляет от 74,4 до 251,0 м², водяной объем - 3,92-9,04 м³, давление пара - 14,0 кгс/см² (1,4 МПа), КПД - 88,8-91,3 %. Применяются они на крупных котельных для производства пара и горячей воды.

Более 750 котлов типа Е-1/9 работают на всех видах топлива. Площадь поверхности нагрева составляет 30,0 м², объем воды в котле - 1,1 м³, давление пара - 9,0 кгс/см² (0,9 МПа), КПД в зависимости от применяемого топлива - 81,0-86,0 %, паропроизводительность - 1,0 т/ч. Котлы применяются для технологических целей, а также для отопления и горячего водоснабжения.

Широко распространены котлы типа "Минск-1". Свыше 3128 работают на антраците, каменном угле и применяются для отопления и горячего водоснабжения населения. Поверхность нагрева котлов - 20,8; 30,4 и 40 м², объем воды - соответственно - 0,360; 0,520 и 0,680 м³. Тепловая мощность (телопроизводительность) зависит от поверхности нагрева и применяемого топлива. При работе на антраците - 540 (465) кВт(Мкал/ч) - 1032 (888) кВт(Мкал/ч), на каменном угле соответственно - 266 (329), 512 (440) и на рядовом каменном угле - 224 (193), 433 (373) кВт (Гкал/ч). КПД котлов типа "Минск-1" на твердом топливе составляет 67 %.

К котлам типа "Универсал" относятся котлы "Универсал", "Универсал-3", "Универсал-4", "Универсал-5", "Универсал-6" и "Универсал-6М". В АПК их насчитывается около 1500 единиц. Котлы состоят из чугунных секций, имеют различные площади поверхности нагрева и теплопроизводительность, работают на каменном и буром

углях, торфе, а также при соответствующем переоборудовании, на жидком топливе и газе:

Для производства пара и горячей воды в хозяйствах республики используется более 9000 стальных котлов. По конструкции котлы специализированы для работы на всех видах топлива. Например, котел КВ-300М работает на печном бытовом топливе, имеет площадь поверхности нагрева $14,0 \text{ м}^2$, паропроизводительность - $400,0 \text{ кг/ч}$ пара, максимальное давление - $0,7 \text{ кгс/см}^2$, КПД - $81,0 \%$. Котел по конструкции - жаротрубный, горизонтальный, имеет теплообменник нагрева воды, пароперегреватель, емкость котла - $1,1 \text{ м}^3$, количество нагреваемой воды - $1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ до температуры $65 \text{ }^\circ\text{C}$.

На фермах работает более 2700 котлов типа Д-72I, Д-72IA и Д-72IG-Ф. Тип котла - горизонтальный-жаротрубный дымогарный, трехходовой. Производительность - 940 кг/ч пара, вид топлива - печное жидкое, давление пара - $0,7 \text{ кгс/см}^2$ ($0,07 \text{ МПа}$), поверхность нагрева - $16,85 \text{ м}^2$, КПД - 87% .

Для поквартирного отопления применяются чугунные (мощность до 100 кВт) и стальные (мощностью до 85 кВт) малометражные котлы типа КЧМ, КСТ и др.

В качестве источников теплоты при электрическом отоплении зданий без нагрева промежуточного теплоносителя применяются как переносные, для местного обогрева, так и стационарные, совмещенные со строительными конструкциями, приборы. К переносным приборам относятся:

конвекторы с отдачей тепла конвекцией до 75% общей мощности, остальная теплота передается в виде лучистой энергии. Мощность изготавливаемых конвекторов составляет от $0,5$ до 50 кВт ;

электро радиаторы, конструктивной особенностью которых является промежуточный объем, заполненный теплоносителем. Температура нагрева достигает $55-70 \text{ }^\circ\text{C}$, обладает теплоаккумулирующими свойствами. Мощность таких радиаторов составляет $0,3-3,0 \text{ кВт}$;

теплоэлектрические вентиляторы, совмещающие в одном конструктивном исполнении нагревательные элементы и вентилятор. Мощность теплоэлектровентиляторов составляет $0,5-4,0 \text{ кВт}$;

электрические камины, применяемые как средства дополнительного индивидуального обогрева с мощностью до $3,0 \text{ кВт}$.

Стационарные электрические нагреватели аккумулирующего действия включают:

- электрические теплоаккумулирующие печи;
- лучистые панели;
- панели с замоноличенными нагревательными элементами;
- подвесные и потолочные панели;
- плинтусные электрические нагревательные элементы.

При использовании воздушных систем отопления для нагрева теплоносителя применяются калориферы. Промежуточным теплоносителем является воздух, нагреваемый в калориферах до температуры 40–50 °С с последующей подачей по системе теплораспределения в обогреваемые помещения.

Экономические и экологические достоинства при децентрализованном теплоснабжении представляют теплонасосные установки (ТНУ) [7]. Эффективность применения ТНУ связана с климатическими характеристиками района; характеристиками отапливаемого здания (объем, удельные теплопотери, площадь пола, внутренняя температура); характеристиками систем отопления (водяная – радиаторная или панельная, воздушная с утилизацией теплоты вентиляционных выбросов); источниками низкопотенциальной теплоты (окружающий воздух, морская или речная вода, грунт, жидкие отходы производства и коммунально-бытового хозяйства и т.д.); технико-экономические показатели оборудования, стоимостью топлива и электроэнергии. Экономия топлива при применении ТНУ составляет 13–19 % для радиаторной системы отопления и 20–30 % для панельной в зависимости от источников низкотемпературной теплоты.

Научно-инженерным центром "Биомасса" АО "Экон" разработана техническая документация и осуществляется поставка, монтаж и наладка оборудования "под ключ" типоразмерного ряда биогазовых установок для животноводческих ферм с объемом производства [2]:

крестьянской усадьбы, где имеется 2–6 коров, 20–60 свиней или 100–300 голов птицы. Установка ИБГУ-I ежедневно перерабатывает 100–300 кг навоза, производит такое же количество органических удобрений и 3–12 м³ биогаза;

среднего фермерского хозяйства с поголовьем 50 голов круп-

ного рогатого скота, выходом 2,5 т навоза в сутки и 110 м³ биогаза;

ферма крупного рогатого скота на 300-400 голов перерабатывает в день 15-20 т навоза, производит 30 т компостированных удобрений и 1500 м³ биогаза.

Биогаз может быть использован для выработки электроэнергии в автомобилях и тракторах [2] .

Одним из методов повышения эффективности использования низкосортного местного топлива (бурый уголь, сланцы, торф, отходы древесины и др.) является преобразование его в высококачественное - генераторный газ, который получают превращением горючей части твердого топлива в газообразное путем воздействия на него кислорода в условиях высоких температур.

Генераторный газ может использоваться в качестве топлива в котельных, сушилках, двигателях внутреннего сгорания, коммунальных установках и приборах. КПД газогенератора составляет 65-80 %.

АО "Импет" разработаны газогенераторы мощностью 30, 60, 100 и 200 кВт. Их выпускают Слонимский моторо-ремонтный завод, экспериментально-производственное предприятие НПО БелНИИМЛ, Петриковский машиностроительный завод "Авангард", Шкловская райагропромтехника.

Выбор типов систем теплоснабжения и источников теплоты в каждом конкретном случае должен определяться по результатам технико-экономического обоснования. Критерием выбора оптимального варианта является минимум приведенных затрат по капитальным вложениям и эксплуатационным издержкам.

Л и т е р а т у р а

1. Барабанер Х.З. Аккумуляционное электротеплоснабжение. Общие энергетические предпосылки. Технические характеристики. Экономическая оценка. - Tallинн: ЭстНИИТИ, 1986.
2. Биогазовые установки. "Хозяин", 1993, № II.
3. Васильков Т.К., Розинькова С.И. Прогрессивные системы теплоснабжения и вентиляции зданий. - Киев: УкрНИИТИ, 1982.
4. Ефимов Н.И. Источники тепла в системах теплоснабжения. - М.: 1978.

5. Использование электроэнергии для отопления и горячего водоснабжения за рубежом и в СССР. Обзор. - М.: ЦНИИЭП инженерного оборудования, 1973.
6. Котлы малой производительности за рубежом. - М.: НИИЭОЛМТЯЖМаш, 1976.
7. Наскрасова О.А., Синяк Ю.В. Исследование теплонасосных систем отопления (модульный подход). Теплоэнергетика, 1986, № II.
8. Проект Государственной программы "Энергосбережение". Основные направления и первоочередные меры. Комитет по энергосбережению и энергетическому надзору при Совете Министров РБ. - Мн., 1995.
9. Равич М.Б. Эффективность использования топлива. - М.: Наука, 1977.
10. Рекомендации по инженерному оборудованию сельских населенных пунктов. Ч. 4. Теплоснабжение. - М.: Стройиздат, 1984.
11. Рекомендации по выбору оптимальных проектных решений систем инженерного обеспечения сельского малозэтажного жилищного строительства Московской области. - М.: МосгипроНИИсельстрой, 1982.
12. Ротанин В.В. Отопление усадебного дома с аккумулятором - утилизатором. Степные просторы, 1989, № 2.
13. Свиныхов Б.И., Попов Л.В., Жнякин Б.А. Оптимизация теплоснабжения. - Пенза: ПТИ, 1984.
14. Сукосян Б.Д. Ветер - нетрадиционный источник энергии. Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1990, № 9.
15. Хаванов П.А. Проблемы теплоснабжения малых населенных пунктов. - Водоснабжение и санитарная техника, 1990, № 8.
16. Хаванов П.А. и др. Методические рекомендации по тепловому расчету автономных источников для систем децентрализованного теплоснабжения. - М.: Госгражданстрой, 1987.
17. Хзмалян Д.М., Каган Я.И. Теория горения и топочные устройства. - М.: Энергия, 1976.
18. Додвальнис И.А. Системы отопления сельских домов. - Водоснабжение и санитарная техника, 1985, № 7.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

В системе мер по оздоровлению экономики Республики Беларусь энергосбережение является одним из основных направлений в решении поставленной задачи, учитывая значительную и все время повышающуюся стоимость энергоресурсов, ежегодно закупаемых в Российской Федерации и других странах.

Энергосбережение в первую очередь значимо в энергоемких процессах и машинах. Кормоприготовительные машины, как правило, энергоемки и имеют ряд особенностей, которые необходимо учитывать при разработке мероприятий по экономии электроэнергии.

1. Подавляющее большинство кормоприготовительных машин является универсальным, то есть предназначенным для переработки нескольких видов кормов. Так как мощность электродвигателя машины выбирается по наиболее энергоемкому продукту, то при переработке других менее энергоемких продуктов машина и ее электродвигатель будут недогруженными и их КПД и КПД передачи будут меньше, чем при переработке основного продукта. В этом случае будет иметь место перерасход электроэнергии на единицу перерабатываемого продукта.

2. В кормоприготовительных машинах режущего типа (корнеклубне- и силосорезках, соломорезках, измельчителях и др.) в процессе их работы затупляются ножи. Время и степень затупления зависят от механических свойств перерабатываемого продукта, загрузки машины, механических свойств металла ножей и других показателей. При затуплении ножей возрастает потребляемая мощность и увеличивается расход электроэнергии.

3. Пуск кормоприготовительных машин необходимо производить без нагрузки. Поэтому по окончании работы машины необходимо останавливать после полного освобождения их от продукта, так как оставшийся в машине корм с течением времени может измен-

свои свойства (влажность, затвердевать, ухудшается кормовая ценность продукта). В результате этого возможны забивание и заклинивание рабочих органов и ухудшение качества корма.

4. Ввиду значительной массы рабочих органов и других вращающихся деталей (особенно у машин дробящего типа) время разбега машин может быть значительным и в отдельных случаях достигает двух и более минут.

Особого внимания заслуживает вопрос о повышении экономической эффективности универсальных кормоприготовительных машин путем изыскания путей повышения их загрузки до паспортной по основному наиболее энергоемкому продукту при переработке менее энергоемких кормов. В этом случае повышаются КПД машины, передачи и электродвигателя и в результате значительно уменьшается расход электроэнергии на переработку единицы продукции. Количественное значение снижения перерасхода электроэнергии можно подсчитать по методике [1].

В качестве мер по загрузке машины можно предусмотреть увеличение подачи с одновременным соответствующим увеличением частоты вращения рабочих органов для сохранения степени переработки (измельчения) продукта. В поставленной задаче необходимо определить требуемые значения производительности машины Q_{pi} и частоты вращения n_{pi} при переработке менее энергоемкого продукта, при которых мощность машины P_{pi} будет равняться мощности P_{pi} по переработке базового продукта с соответствующей производительностью Q_{pi} и частотой вращения n_{pi} .

Известно, что производительность машины пропорциональна частоте вращения, а мощность — пропорциональна производительности [2].

При работе машины на менее энергоемком продукте

$$Q_{pi} = k_i Q_{pi}, \quad P_{pi} = c_i Q_{pi}, \quad (1)$$

где k_i — коэффициент пропорциональности между производительностью и частотой вращения машины при переработке не основного продукта, $t/ч \cdot c^{-1}$;

c_i — расход электроэнергии на единицу не основного перерабатываемого продукта, кВт.ч/т.

При работе машины на основном (базовом) продукте с полной (номинальной) загрузкой

$$Q_{\text{осн}} = K_H P_{\text{осн}}, \quad P_{\text{осн}} = \alpha_n Q_{\text{осн}}, \quad (2)$$

где K_H - коэффициент пропорциональности между производительностью и частотой вращения машины при переработке основного продукта, т/ч·с⁻¹;

α_n - расход электроэнергии на единицу основного перерабатываемого продукта, кВт·ч/т.

При загрузке машины на не основном продукте до номинальной мощности на основном продукте

$$P_{\text{осн}} = P_{\text{осн}}. \quad (3)$$

Подставляя их значения, получим $\alpha_n Q_{\text{осн}} = \alpha_n Q_{\text{осн}}$

Требуемая производительность машины при переработке не основного продукта в этом случае должна быть

$$Q_{\text{осн}} = \alpha_n Q_{\text{осн}} / \alpha_n. \quad (4)$$

Подставив в формулу 4 значения $Q_{\text{осн}}$ и $Q_{\text{осн}}$ из выражений 1 и 2, получим требуемую частоту вращения машины при работе на основном продукте

$$n_{\text{осн}} = \alpha_n K_H P_{\text{осн}} / \alpha_n K_H. \quad (5)$$

Значения удельных расходов электроэнергии α_n и α_n приведены в литературе [2], а значение K_H - из выражения 2

$$K_H = Q_{\text{осн}} / P_{\text{осн}},$$

где $Q_{\text{осн}}$ и $P_{\text{осн}}$ - паспортные данные машины при работе на основном продукте.

Значение K_H определяется из выражения (1) при $n = n_{\text{осн}}$. В этом случае $K_H = Q_{\text{осн}} / P_{\text{осн}}$, где $Q_{\text{осн}}$ - паспортная производительность машины при переработке не основного продукта при номинальной частоте вращения $n_{\text{осн}}$.

Поскольку в производственных условиях одна машина перерабатывает небольшое количество разных видов продукта, то самым простым способом увеличения частоты вращения машины является изменение передаточного числа.

В производственных условиях кормоприготовительные машины часто работают с недогрузкой, обуславливающей значительный перерасход электрической энергии на единицу перерабатываемой продукции. Возникает необходимость текущего контроля загрузки машины с тем, чтобы рабочий, обслуживающий машину, принял меры для номинальной загрузки. А если рабочий не принимает соответствующие меры по загрузке, то необходимо в каждом конкретном случае подсчитать какой ущерб наносит рабочий за время своей работы.

Станции управления кормоприготовительных машин комплектуются амперметром, который может обеспечить самый простой метод контроля загрузки машины. Но для этого необходимо создать математическую модель расчета, позволяющую в каждом конкретном случае недогрузки измерить ток электродвигателя, определить соответствующую производительность машины, а затем и мощность на ее валу и перерасход электроэнергии по методике [1].

Так как загрузка машины вызывает соответствующее превышение тока электродвигателя свыше тока на холостом ходу машины, то относительное превышение этого тока по отношению к превышению его значения при номинальной производительности машины равно отношению данной производительности к номинальной производительности машины, то есть

$$\frac{I_i - I_{км}}{I_H - I_{км}} = K \frac{Q_{иi}}{Q_{иH}} \quad (6)$$

где I_i — измеряемый ток электродвигателя при данной производительности машины $Q_{иi}$;

$I_{км}$ — ток электродвигателя при холостом ходе машины;

I_H — ток электродвигателя при номинальной производительности машины $Q_{иH}$;

K — коэффициент пропорциональности.

Значение коэффициента K определим из равенства (6) при $Q_{wi} = Q_{wn}$. В этом случае $I_i = I_n$, а $K = 1$. Окончательно равенство (6) будет

$$\frac{I_i - I_{km}}{I_n - I_{km}} = \frac{Q_{wi}}{Q_{wn}} \quad (7)$$

Из выражения (7) определяем производительность

$$Q_{wi} = \frac{(I_i - I_{km}) Q_{wn}}{I_n - I_{km}} \quad (8)$$

Значение I_n может быть определено из любого конкретного случая, когда $Q_{wi} = Q_{wn}$, определяемое отношением массы перерабатываемого продукта m_i , ко времени его переработки. Замерив в этом случае $I_i = I$, и I_{km} и подставив их значения в формулу (8), получим

$$I_n = I_{km} + (I_i - I_{km}) \frac{Q_{wn}}{Q_{wi}} \quad (9)$$

С целью упрощения расчета получена зависимость

$$Q_{wi} = \frac{(I_i - I_{km}) Q_{wn}}{I_i - I_{km}} \quad (10)$$

Сделав разовые замеры I_{km} , Q_{wi} , I_i , и, подставив их значения в формулу (10), получим формулу для практического определения текущей производительности машины по измеряемому току I_i , обусловленному этой производительностью.

Зная Q_{wi} , Q_{wn} и номинальную мощность машины P_{nm} , можно определить мощность на валу машины P_{wi} при производительности Q_{wi} и соответствующий перерасход электроэнергии по методике [1].

$$P_{wi} = \frac{P_{nm} Q_{wi} \eta_{nm}}{Q_{wn} \eta_{wi}} \quad (11)$$

где η_{nm}/η_{wi} - отношение КПД машины при номинальной нагрузке к КПД η_{wi} при нагрузке, меньше номинальной. Известно [1], что

$$\frac{Q_{\text{мин}}}{Q_{\text{н.н}}} = 1 + \frac{P_{\text{л.н}}}{P_{\text{н.н}}} \left(\frac{Q_{\text{мин}}}{Q_{\text{н.н}}} - 1 \right), \quad (12)$$

где $P_{\text{л.н}}$ — мощность холостого хода машины, принимаемая для кормоприготовительных машин $0,2P_{\text{н.н}}$.

Предложенная методика расчета позволяет легко контролировать на рабочих местах загрузку машин, перерасход электроэнергии и наносимый ущерб хозяйству из-за недогрузки машины.

Существенную экономию электроэнергии может дать использование предложенной схемы ограничения и автоматического отключения холостых ходов [1] энергоемких кормоприготовительных и других машин.

В мероприятия по экономии электроэнергии следует включать систематическую смазку подшипников машин и своевременную заточку ножей у машин режущего типа.

Л и т е р а т у р а

1. Кудрявцев И.Ф. Энергосберегающее управление электроприводами // Технические средства и системы управления сельскохозяйственными установками: Сб. научн. тр./БАТУ. — Горки, БСХА, 1993.
2. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок. /Под ред. Кудрявцева И.Ф. — М.: ВО Агропромиздат, 1988.

В.И.Русан, доктор технических наук;

А.П.Германович, инженер;

Г.А.Гришаева, Л.В.Новосельская, А.М.Волк, В.А.Марков,
кандидаты технических наук (БГТУ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО ВОДОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

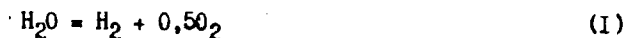
Одной из технических проблем использования установок возобновляемых источников энергии (солнца, ветра, гидроэнергетического потенциала малых рек) является работа в условиях меняющегося потенциала. При избытке электроэнергии, получаемой от этих энергоустановок, необходимо иметь устройства аккумулирования энергии.

Среди различных типов разрабатываемых аккумуляторов энергии наиболее универсальными и перспективными являются системы водородного аккумулирования [1, 2]. Водород, получаемый электролизным способом, накапливается в металлгидридных емкостях, где находится в твердофазном состоянии и может длительно и безопасно храниться, транспортироваться и в дальнейшем использоваться как универсальный вторичный энергоноситель.

Для создания экспериментальной системы, отработки технологических процессов получения и аккумулирования водорода от установок возобновляемых источников был разработан щелочной электролизер с самоциркуляцией производительностью $0,5 \text{ м}^3 \text{ Н/ч}$ и напряжением питания 12 В.

Применение математического моделирования позволило рассчитать оптимальные параметры аппарата и сократить время разработки.

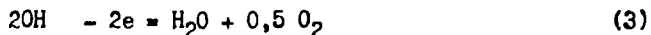
Процесс электролиза воды описывается суммарным уравнением



В процессе электролиза воды со щелочными электролитом разряжаются практически только молекулы воды на катоде



и гидроксид на аноде



Объем газов определяется законом Фарадея по формулам

$$V = 0,41 \text{Int} / 1000 \text{ м}^3 \quad (4)$$

$$V = 0,205 \text{Int} / 1000 \text{ м}^3, \quad (5)$$

где I - нагрузка по току, А ;

n - число ячеек; шт.;

t - время, ч.

Для получения $1 \text{ м}^3 \text{ H}_2$ и $0,5 \text{ м}^3 \text{ O}_2$ необходимо разложить $0,805 \text{ кг}$ воды. При этом выделяется 13000 КДж тепла.

В электролизере осуществляется самоциркуляция электролита за счет разности плотностей горячего газонаполненного электролита в ячейках электролизера и электролита, освобожденного от пузырьков газа и охлажденного в теплообменнике.

Движущая сила циркуляции ΔP (Па) определяется различием гидростатического напора со стороны ячеек электролизера и теплообменника и составляет

$$\Delta P = gh(\rho_{\text{э}} - \rho_{\text{г.ж}}), \quad (6)$$

где g - ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

h - высота уровня электролита в системе электролизера, м;

$\rho_{\text{э}}, \rho_{\text{г.ж}}$ - плотность электролита и газонаполненного электролита, кг/м^3 .

Скорость циркуляции W газонаполненного электролита также зависит от суммы гидравлических сопротивлений Δ на пути электролита и определяется законом Бернулли

$$\Delta P = \Delta \rho_{\text{гн}} W^2 / 2 \quad (7)$$

Газонаполнение электролита ε и плотность газонаполненного электролита зависит в свою очередь от скорости циркуляции W , количества выделенного на электроде газа и изменяется по высоте ячейки.

Плотность электролита в зависимости от газонаполнения ε будет

$$\rho_{г.ж} = (1 - \varepsilon) \rho_0 + \varepsilon \rho_1 \quad (8)$$

Математическая модель гидродинамических процессов в ячейке электролизера описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} [(W + T) \varepsilon] &= \frac{1 - \beta}{\mu M} K - \frac{1}{\mu Pe} (\varepsilon - \varepsilon') \\ \frac{d}{dx} [W(1 - \varepsilon)] &= \frac{1}{\mu Pe} (\varepsilon - \varepsilon') \\ \frac{d}{dx} [(W' + T) \varepsilon'] &= \frac{\beta}{(1 - \mu) M} K + \frac{1}{(1 - \mu) Pe} \\ \frac{d}{dx} [W'(1 - \varepsilon')] &= \frac{1}{(1 - \mu) Pe} (\varepsilon - \varepsilon'), \end{aligned} \quad (9)$$

где $W \ll W'$ - отношение скорости электролита соответственно в межэлектродном и заэлектродном пространстве в данном сечении к скорости электролита на входе в ячейку;

T - отношение скорости подъема пузыря относительно жидкости к скорости электролита на входе в ячейку;

$\varepsilon, \varepsilon'$ - газонаполнение соответственно в межэлектродном и заэлектродном пространстве;

- β - коэффициент доли тока, приходящейся на тыльную сторону электрода;
 M - критерий подобия, учитывающий геометрические размеры диафрагменной ячейки;
 Pe - аналог числа Пекле для диффузионных процессов;
 M - критерий подобия;
 K - критерий подобия, зависящий от безразмерной плотности тока и геометрических размеров;
 χ - отношение высоты рассматриваемого сечения к полной высоте электрода.

Критерий подобия M определяется по формуле

$$M = \frac{F(P - P_w)(d_3 + d_3' - d_r)W_0}{5RTMJ^2}, \quad (10)$$

где F - постоянная Фарадея, $F = 96500 \frac{\text{Кл}}{\text{ч.экв}}$;

P - среднее давление в электролизере, Па;

P_w - давление насыщенного пара воды над раствором;

d_3, d_3' - толщина слоя электролита соответственно в межэлектродном и заэлектродном пространстве, м;

d_r - толщина неподвижного обогащенного газом приэлектродного слоя, м;

R - газовая постоянная, $R = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{град.моль}}$

W_0 - скорость электролита на входе в ячейку, м/с;

T - температура в электролизере, К;

H - полная высота электролита, м;

J - среднегабаритная плотность тока, А/м².

Аналог числа Пекле рассчитывается по формуле

$$Pe = \frac{(d_3 - d_r + d_3')W_0}{DH}, \quad (11)$$

где D - коэффициент обмена между межэлектродной и заэлектродной областью, м/с.

Критерий подобия рассчитывается по формуле

$$\eta = \frac{d_3 - d_r}{d_3 - d_r + d_3'}, \quad (12)$$

Совместное решение системы полученных уравнений по высоте электролизера дает возможность рассчитывать гидродинамические параметры процесса, найти оптимальные размеры ячейки электролизера, количество электролита, производительность по водороду и кислороду, среднегабаритную плотность тока, количество выделенного тепла, температуру электролита по высоте.

В результате расчета выявлено, что зависимость газонаполнения ячейки электролизера от высоты близка к линейной (рис. 1).

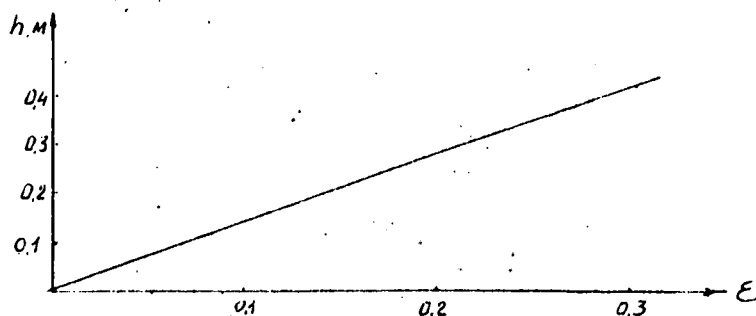


Рис. 1. Зависимость наполнения в заэлектродной части в зависимости от высоты H (м) электролизера.

Предельной величины газонаполнения 30 % ограничивается высота ячейки, которая не превышает 0,295 м. Рассчитанные соотношения между шириной B (м) и высотой H (м) приведены на рис. 2.

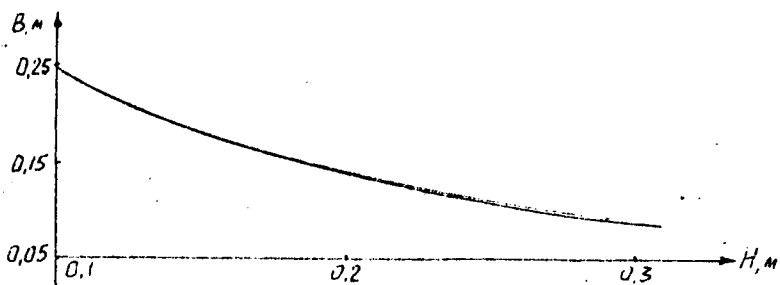


Рис. 2. Соотношения между шириной B (м) и высотой H (м) ячейки электролизера при плотности тока 10000 A/м .

Анализ расчетных характеристик показал, что при ширине $B = 0,11$ м и высоте $H = 0,23$ м ячейки электролизера ее производительность по водороду при данной площади является максимальной и составляет около 100 л/ч (рис.3). Остальные расчетные характеристики использованы при проектировании оборудования установки.

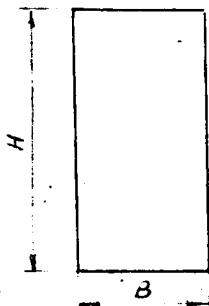


Рис. 3. Размеры электролизера
 $B = 0,11$ м;
 $H = 0,23$ м.

Л и т е р а т у р а

1. B. Sexon
 G. Slack
 P. Musgrove.
 N. Lipman
 P. Dunn
Aspects of a Wind Energy Conversion System. Energy Rural and Island Community Dev. Conf. Inverness 1980.
2. К.Н.Симененко
 В.Н.Вербецкий
 Гидридная технология и проблемы накопления и использования водорода в малой энергетике. Российский химический журнал. 1993, 37 № 2.
3. Л.М.Якименко
 Производство водорода, кислорода, хлора и щелочей. М., Химия, 1981.

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО
ДЛЯ БЫСТРОГО ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА МАШИН
С КРИВОШИПНО-КУЛИСНЫМ РЫЧАЖНЫМ МЕХАНИЗМОМ ПРИВОДА

Для определенных устройств возникает необходимость быстрого изменения скорости движения рабочего органа. Например, быстрое наведение зенитной установки на цель; изменение времени холостого хода рабочего органа строгального станка, печатной или сельскохозяйственной машины; повышение согласно технологического процесса виброактивности или стабилизации скорости движения рабочего органа ряда механизмов и устройств. Проведенные исследования показали, что это можно осуществить за счет:

- повышения угловой скорости ведущего звена, то есть повышения числа оборотов привода;
- изменения длин плеч рычагов механизма привода;
- нелинейной зависимости между углами поворота ведущего и ведомого звеньев механизма привода.

Повышение числа оборотов привода не способствует достижению поставленной цели, а увеличивает мощность привода и возрастает ускорения по продолжительности. Это приводит к снижению надежности и работоспособности оборудования, выразившихся в повышенных инерционных силах, ведущих за собой повышенную вибрацию и динамические нагрузки.

Изменение длин плеч рычагов механизма привода существенно не изменяет скорость движения рабочего органа, но усложняет конструкцию, в том числе и за счет необходимости осуществления подвижного центра качания. В ряде случаев изменения длин плеч одновременно нескольких рычагов практически невозможно. Более приемлемым способом изменения скорости движения рабочего органа большинства механизмов и устройств является осуществление нелинейной зависимости между углами поворота ведущего и ведомого звеньев механизма привода при помощи некруглого зацепления.

В кинематическом отношении механика некруглых зубчатых колес характеризуется передачей движения с переменным отношением скоростей

$$\begin{aligned} \dot{i}_{12} &= \omega_1 : \omega_2 = 1 : F(\varphi_1), \\ \dot{i}_{21} &= \omega_2 : \omega_1 = F(\varphi_1), \end{aligned}$$

где \dot{i}_{12} и \dot{i}_{21} - передаточное отношение ведущего звена на ведомое и наоборот;

ω_1 и ω_2 - угловые скорости ведущего и ведомого звеньев;

$F(\varphi_1)$ - функция угла поворота ведущего колеса.

Существуют стандартные и нестандартные виды некруглого зацепления. К стандартным видам зацепления можно отнести круглые колеса, эксцентричные относительно оси вращения и эллиптические колеса. К нестандартным - овальные и фигурные зубчатые колеса. По первому виду некруглого зацепления имеется достаточно литературных источников для их расчета и они проще в изготовлении. Большую трудность составляет расчет и изготовление овального и особенно фигурного зацепления. Поэтому ниже приводятся методики их расчета и изготовления.

Расчет осуществляется в следующей последовательности. Определяется кинематическая схема устройства и задается закон (график функции) изменения скорости движения рабочего органа. Известно, что уравнение centroиды ведомого некруглого колеса имеет вид

$$\begin{cases} r_{\text{ведом}} = (a_w \cdot i) : (1 + i), \\ \varphi_{\text{ведом}} = F(\varphi_1) + C, \end{cases}$$

где $r_{\text{ведом}}$ и $\varphi_{\text{ведом}}$ - радиус и угол поворота ведомого некруглого колеса;

a_w - межцентровое расстояние зубчатой пары некруглого зацепления;

i - передаточное отношение зубчатого зацепления;

C - постоянная интегрирования.

Закон изменения скорости движения рабочего органа, например, для кривошипно-куличного рычажного механизма привода будет иметь вид

$$f(t) = \omega_{\text{ведом.}} \cdot \sin \varphi_{\text{ведом.}} = (d\varphi_{\text{ведом.}} : dt) \cdot \sin \varphi_{\text{ведом.}}$$

Заданная функция вычисляется в явном виде

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt + C = -\cos \varphi_{\text{ведом.}}$$

Необходимо определить граничное условие $\cos \varphi_{\text{ведом.}}$. При $t = 0$ $\omega_{\text{ведом.}} = 0$ и $\cos \varphi_{\text{ведом.}} = 1$, следовательно $C = 1$.

В ряде случаев оптимальным вариантом является такой, при котором период движения рабочего органа должен быть равен периоду (T) вращения ведомого некруглого колеса. При $t = T/2$ должно быть $\varphi_{\text{ведом.}} = 180^\circ$ и $\cos \varphi_{\text{ведом.}}(T/2) = -1$. Следова-

тельно $-\int_0^{T/2} f(t) dt + 1 = -1$. Таким образом ограничением $\cos \varphi_{\text{ведом.}}$ будет $\int_0^{T/2} f(t) dt = 2$.

По заданным значениям $\cos \varphi_{\text{ведом.}}$ определяется $\varphi_{\text{ведом.}}$ и $\sin \varphi_{\text{ведом.}}$. Имея значения $\sin \varphi_{\text{ведом.}}$, определим

$$\omega_{\text{ведом.}} = f(t) : \sin \varphi_{\text{ведом.}}$$

Текущее значение радиуса ведомого некруглого колеса определяется по формуле

$$r_{\text{ведом.}} = a_w : \left(1 - \frac{f(t)}{\omega_{\text{ведом.}} \cdot \sin \varphi_{\text{ведом.}}} \right)$$

По полученным данным строим в полярных координатах график - это будет форма ведомого некруглого колеса. Графиком для ведущей шестерни будет

$$\begin{cases} r_{\text{ведущ.}} = a_w - r_{\text{ведом.}} \\ \varphi_{\text{ведущ.}} = \omega_{\text{ведущ.}} \cdot t \end{cases}$$

где r ведущ., ω ведущ. и φ ведущ. - текущие значения радиуса, угловой скорости и угла поворота ведущей шестерни;
 t - текущее значение времени.

На рис. 1 и 2 для примера приведены соответственно закон изменения (график функции) скорости движения рабочего органа ручного электромеханизированного инструмента для стрижки овец и соответствующая ему форма зубчатой пары некруглого зацепления.

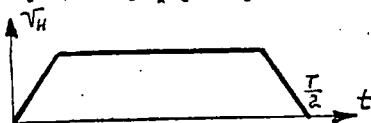


Рис.1. Заданный закон изменения скорости движения рабочего органа устройства с кривошипно-кулисным рычажным механизмом привода.

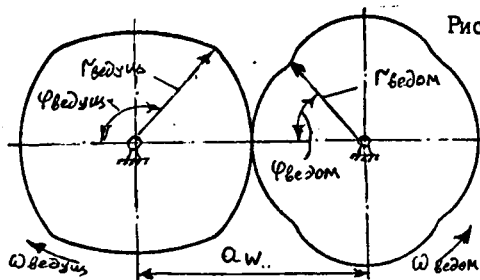


Рис.2. Форма зубчатой пары некруглого зацепления, соответствующая закону изменения скорости движения рабочего органа.

При необходимости, например, для ручного электромеханизированного инструмента проверяется выбранный закон движения рабочего органа соответствию санитарно-гигиенических требований по уровню шума и вибрации. Движение ручного инструмента, например, машинки для стрижки животных, в пространстве рассматривается как движение свободного тела, представленного совокупностью поступательного вместе с центром масс и сферического

относительно центра масс (рис. 3). Такое движение в общем случае описывается двумя векторными уравнениями

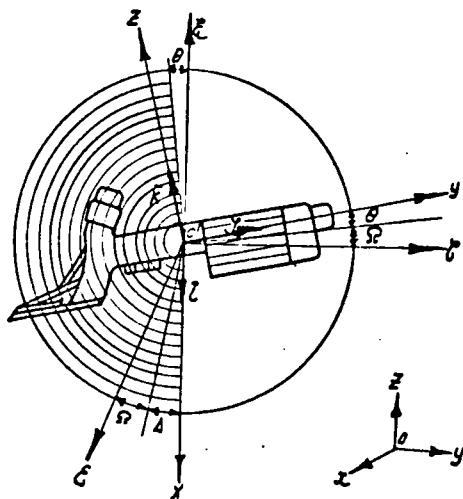


Рис. 3. Схема движения рабочего инструмента по отношению к подвижной и неподвижной системам координат.

$$\begin{cases} m d\bar{v}_c : dt = \bar{R}_c \\ dL_c : dt = \bar{M}_c \end{cases} \quad (I)$$

где \bar{v}_c - скорость центра масс;

\bar{R}_c и \bar{M}_c - главные векторы силы, приведенной к центру масс, и момента силы относительно центра масс;

L_c - кинематический момент центра масс.

Рассмотрев движение центра масс по отношению к неподвижной системе координат $OXYZ$ и спроектировав первое уравнение систем (I) на оси координат, получим три дифференциальные уравнения

$$\begin{cases} m dV_{cx} : dt = \bar{X}_1 \\ m dV_{cy} : dt = \bar{Y}_1 \\ m dV_{cz} : dt = \bar{Z}_1, \end{cases} \quad (2)$$

где V_{cx} , V_{cy} и V_{cz} - скорость центра масс относительно соответствующих осей координат;
 \bar{X}_1 , \bar{Y}_1 и \bar{Z}_1 - вектор сил, приведенный к центру масс относительно соответствующих осей координат.

Во втором уравнении системы (1), рассмотрев кинетический момент L_c в виде составляющих на подвижной оси координат $cxuz$ взяв производную $dL_c : dt$ и воспользовавшись формулами Пуассона после преобразования, получим еще три дифференциальных уравнения

$$\begin{cases} J_x (d\omega_x : dt) + (J_z - J_y) \cdot \omega_y \cdot \omega_z = M_x \\ J_y (d\omega_y : dt) + (J_x - J_z) \cdot \omega_x \cdot \omega_z = M_y \\ J_z (d\omega_z : dt) + (J_x - J_y) \cdot \omega_x \cdot \omega_y = M_z, \end{cases} \quad (3)$$

где J_x , J_y и J_z - центральный момент инерции относительно соответствующих осей координат;
 ω_x , ω_y и ω_z - текущее значение угловой скорости относительно соответствующих осей координат;
 m_x , m_y и m_z - масса относительно соответствующих осей координат;
 M_x , M_y и M_z - главный момент сил относительно соответствующих осей координат.

Проводится силовой анализ устройства и определяются X_1 , Y_1 , Z_1 , M_x , M_y и M_z . Задаются исходные данные m , J_x , J_y и J_z . Принимаются начальные условия $\omega_{cx} = \omega_{cy} = \omega_{cz} = 0$. Методом Рунге-Кутты решаются на ЭВМ системы (2) и (3) дифференциальных уравнений. По данным расчетов строятся графики зависимостей, которые покажут смещение всех кривых относительно оси абсцисс. Величины, на которые необходимо сместить кривые, чтобы они были симметричны относительно оси абсцисс и будут начальными условиями. Повторно решаются вышеуказанные системы дифференциальных

условий с новыми начальными условиями, строятся графики и проводится анализ полученных результатов. В случае необходимости варьируются параметры $m, \gamma_x, \gamma_y, \gamma_z, X_z, Y_z, Z_z, M_x, M_y, M_z$.

После окончательного определения закона, изменяя скорости движения рабочего органа и соответствующей ему формы некруглого зубчатого зацепления, производится изготовление последнего при помощи центроидных копиров или образцовых некруглых шестерен. При отсутствии специального оборудования их можно изготовить на серийном оборудовании по приближенному методу расчета.

Сущность расчета основывается на том, что центроид некруглой шестерни можно рассматривать с некоторой погрешностью как огибающую окружностей, центры которых находятся в соответствующих центрах кривизны, то есть некруглая шестерня образуется системой цилиндрических шестерен, центроиды которых определяют соответствующие радиусы ρ_{z_i} некруглой шестерни (рис. 4).

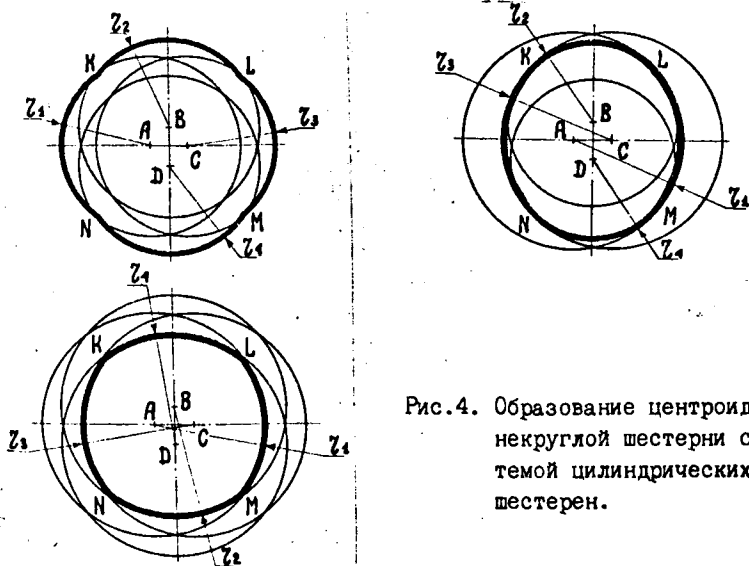


Рис. 4. Образование центроида некруглой шестерни системой цилиндрических шестерен.

Длина центраида S_u определяется как сумма длин дуг

$$S_u = \sum_{i=1}^n \widehat{ij}$$

, или по формуле

$$S_u = \sum_{i=1}^n (\pi \cdot r_{ui} \cdot \alpha_{ui}) : 180,$$

где r_{ui} - радиус i -й кривизны центраида некруглой шестерни;

α_{ui} - центральный угол i -й дуги центраида некруглой шестерни.

Число зубьев некруглой шестерни, профили которых имеют приближенные очертания профилей зубьев приведенных цилиндрических шестерен, будет

$$Z = S_u : m,$$

где m - модуль зацепления, $m = (0,01 \dots 0,02) \cdot a_w$,

a_w - межцентровое расстояние некруглого зубчатого зацепления.

При проектировочном расчете на контактную прочность

$$a_w \geq 49,5 \cdot (i+1) \cdot \sqrt{\frac{T_2}{\psi_a \cdot i^2 \cdot [\sigma]_H^2}} \cdot K_{H\beta},$$

где T_2 - вращающий момент на ведомом колесе;

ψ_a - коэффициент ширины венца шестерни;

$[\sigma]_H$ - допускаемое контактное напряжение для менее прочных материалов шестерен;

$K_{H\beta}$ - коэффициент неравномерности нагрузки по длине зуба при расчете на контактную прочность зубьев.

Кроме того проводится проверочный расчет зуба на изгиб по допускаемым напряжениям изгиба в опасном сечении ножки

$$\sigma_F = \gamma_F \cdot (F_t : b_w) \cdot K_{H\beta} \cdot K_{FV} \leq [\sigma]_F,$$

где σ_F , $[\sigma]_F$ - напряжение и допускаемое напряжение изгиба в опасном сечении ножки зуба;

γ_F - коэффициент формы зуба;

F_t - окружная сила в зацеплении;

b_w - ширина шестерни (колеса);

- $K_{из}$ - коэффициент неравномерности нагрузки по длине зуба при расчете на контактную прочность зубьев;
- $K_{из}$ - коэффициент, учитывающий дополнительные динамические нагрузки при расчете на изгиб зуба.

При возникновении разности ΔS между теоретической длиной centroида $S_{теор} = \pi \cdot m \cdot z$ и действительной $S_{действ.}$, то они разнятся между дугами \overline{KL} , \overline{LM} , \overline{MN} , \overline{NK} . Радиусы заготовки увеличивается на величину

$$R_{из} = r_{из} + m$$

Нарезание зубьев на дугах centroида некруглой шестерни производится из соответствующих центров кривизны своими радиусами (см. рис. 4). При этом число зубьев должно быть целым.

Использование зубчатой пары некруглого зацепления позволит стабилизировать или дестабилизировать с кратковременным увеличением виброактивности скорость движения необходимого органа механизмов и машин; уменьшить время холостого хода рабочего органа и угла мертвого хода механизма привода; снизить или повысить уровень вибрации устройства и изменить соответствующим образом скорость перемещения конкретного звена устройства.

Л и т е р а т у р а

1. Корн Г.И., Корн Т. Справочник по математике. Для научных работников и инженеров. - М.: Наука, 1973.
2. Литвин Ф.Л. Некруглые зубчатые колеса. Проектирование, теория зацепления и производство - М.-Л.: Машгиз, 1956.
3. Лойцянский Л.Г., Дурье А.И. Курс теоретической механики. Т.2, Динамика - М.: Наука, 1984.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОДОПОДГОТОВКИ И ОЧИСТКИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОТЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Отложения накипи и нагара на поверхностях нагрева котлов приводят к существенному перерасходу топлива за счет увеличения термического сопротивления и к авариям. По данным [8] перерасход топлива при толщине накипи 0,5 мм составляет от 1,0 до 1,5 %, при 1 мм - от 2,0 до 3,0 % и при 5 мм - от 8,0 до 9,0 %. Значительно больших потерь топлива можно ожидать от образования на теплообменных поверхностях нагара, так как его теплопроводность на порядок ниже теплопроводности накипи [1]: 0,13-0,16 Ккал/(м·ч·°С) и 1,13-2,70 Ккал/(м·ч·°С) соответственно. Расчеты показывают, что термическое сопротивление стальной стенки котла толщиной 5 мм при слое накипи в 1 мм увеличивается в 4,7-4,9 раза, а нагаре такой же толщины - в 63,5-77,9 раза.

Высокая интенсивность накипеобразования на поверхностях теплообмена используемых в агропромышленном комплексе котлов, особенно малой мощности (паропроизводительность менее 1 т/ч), обусловлена неудовлетворительным качеством водоподготовки. Из традиционных методов умягчения воды требуемое качество питательной воды для газотрубных и жаротрубных котлов достигается только применением ионообменного метода. Расчет показывает, что с учетом обменной емкости выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью катионитов ресурс работы ионообменного фильтра с объемом активной массы 0,2 м³ (диаметр 400 мм, высота 1600 мм) при водоподготовке котла КВ-300М и исходной жесткости воды 6 мг-экв/кг составляет на:

сульфогле СК-1	-	45 ч;
катионите КУ-2	-	133 ч;
зернолите 225	-	156 ч;
катионите КВ-4-П2	-	219 ч;
амберлите	-	219 ч.

По истечении этого времени требуется регенерация катионита в течение 2,0-2,5 ч с применением дополнительного оборудования, а после 8-10 циклов регенерации - отмывка от накопленных загрязнений. При большей исходной жесткости воды требуемое качество водоподготовки достигается только ступенчатым фильтрованием через Н - катионитовый и Na - катионитовый фильтры.

В теплоэнергетике промышленно развитых стран значительное место занимают безреагентные методы водоподготовки, стоимость обработки 1 м³ воды которыми в 200-300 раз ниже стоимости химической обработки [7]. Кроме того они не требуют значительных эксплуатационных затрат и высокой квалификации обслуживающего персонала. В США, например, выпускается более 100 типов омагничивающих устройств [3]. Обобщен двадцатилетний опыт применения подобных устройств [5]. Установлен устойчивый положительный эффект магнитной обработки котловой воды с преобладающей карбонатной жесткостью, характерной для подавляющего большинства природных водисточников. Интенсивность накилеобразования уменьшается в 5-10 раз [2]. Более стабильные результаты дает ультразвуковая обработка котловой воды. Ее противонакипный эффект, примерно, на 20 % выше [7].

Периодичность очистки используемых в агропромышленном комплексе котлов регламентирована Системой технического обслуживания и ремонта теплотехнического оборудования [6]. Для котлов, работающих круглосуточно в непрерывном технологическом цикле, она составляет 6 месяцев, для остальных - 1 год (при проведении текущего ремонта). Однако на практике эта периодичность часто нарушается, что приводит к перерасходу котельного топлива.

Анализ экспериментальных данных по расходу топлива в зависимости от толщины накипи позволяет установить следующие аналитические зависимости для оценки эффективности водоподготовки и очистки котлов.

КПД котла в зависимости от толщины накипи

$$\eta_s = \eta_0 e^{-0,025 \delta^{0,8}} \quad (1)$$

где η_0 - КПД котла при отсутствии накипи;
 δ_0 - толщина накипи, мм.

Часовой расход топлива

$$m_{\delta} = \frac{100 Q_k e^{0,025 \delta^{0,8}}}{Q_H^p \eta_0} \quad (2)$$

где Q_k - тепловая мощность котла;

Q_H^p - низшая теплота сгорания топлива.

Часовой перерасход топлива

$$\Delta m_{\delta} = \frac{100 Q_k}{Q_H^p \eta_0} (e^{0,025 \delta^{0,8}} - 1) \quad (3)$$

Относительные потери топлива в зависимости от толщины накипи

$$\frac{\Delta m_{\delta}}{m_{\delta}} = e^{0,025 \delta^{0,8}} - 1 \quad (4)$$

Расход топлива за время T в зависимости от интенсивности накипеобразования

$$M_T = \frac{50 Q_k T}{Q_H^p \eta_0} (1 - e^{-0,025 (VT)^{0,8}}) \quad (5)$$

где $V = \frac{\delta_T}{T}$ - интенсивность накипеобразования;

δ_T - толщина накипи после T ч работы котла.

Перерасход топлива за время T в зависимости от интенсивности накипеобразования

$$\Delta M_T = \frac{50 Q_k T}{Q_H^p \eta_0} (e^{-0,025 (VT)^{0,8}} - 1) \quad (6)$$

Относительные потери топлива за время T в зависимости от интенсивности накипеобразования

$$\frac{\Delta M_T}{M_{T_0}} = 0.5(e^{0.025(\nu T)^{0.8}} - 1), \quad (7)$$

где M_{T_0} - расход топлива за время T при отсутствии накипеобразования.

Экономия топлива при внедрении нового варианта водоподготовки

$$\frac{M_{T\delta} - M_{T\kappa}}{M_{T\delta}} = 0.5(e^{0.025\delta_{T\delta}^{0.8}} - e^{0.025\left(\frac{\delta_{T\delta}}{\kappa}\right)^{0.8}}), \quad (8)$$

где $M_{T\delta}, \delta_{T\delta}$ - расход топлива и толщина накипи за время T по базовому варианту;

$M_{T\kappa}$ - расход топлива за время T по новому варианту;

κ - противонакипный эффект нового варианта (отношение интенсивности накипеобразования по базовому варианту к интенсивности накипеобразования по новому варианту).

Экономия химических реагентов на очистку котлоагрегатов от накипи с учетом противонакипного эффекта водоподготовки

$$\Delta M_P = m_{y\delta} \left(\delta_{T\delta} - \frac{\delta_{T\delta}}{\kappa} \right). \quad (9)$$

где $m_{y\delta}$ - расход реагентов на удаление 1 мм накипи.

На рис. 1 приведены зависимости экономии котельного топлива в % при ультразвуковой обработке котловой воды (кривая 1) и магнитной водоподготовке (кривая 2). Противонакипный эффект κ соответственно 6,0 и 5,0.

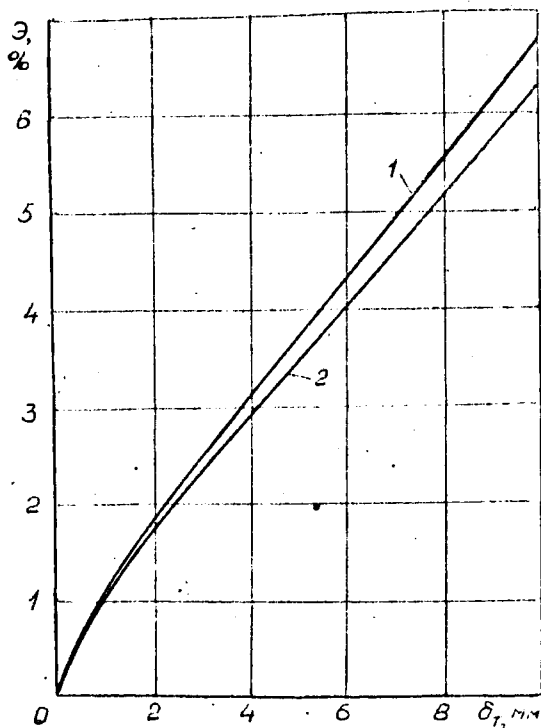


Рис. I. Экономия топлива при ультразвуковой и магнитной обработке котловой воды в зависимости от конечной толщины накипи по базовому варианту:

1 - ультразвуковая обработка; 2 - магнитная обработка.

Результаты анализа эффективности магнитной и ультразвуковой водоподготовки и соблюдения нормативной периодичности очистки котлов приведены в табл. 1 и 2.

Таблица I

Показатели эффективности водоподготовки и очистки
котла КВ-300М

Наименование	Значение показателя при толщине накипи перед очисткой по базовому варианту				
	1 мм	2 мм	3 мм	5 мм	10 мм
КПД котла перед очисткой при водоподготовке по базовому варианту, %	78,0	76,6	75,3	73,1	68,3
Расход топлива при водо- подготовке по базовому варианту, т/год:					
физического	51,1	51,6	52,0	52,8	54,8
условного	74,3	75,0	75,6	76,8	79,7
Экономия топлива при маг- нитной водоподготовке, т/год:					
физического	0,47	0,84	1,18	1,83	3,46
условного	0,68	1,22	1,72	2,66	5,03
Экономия топлива при ультразвуковой водопод- готовке, т/год:					
физического	0,50	0,88	1,24	1,93	3,63
условного	0,73	1,28	1,80	2,81	5,28
Перерасход топлива при увеличении периодичности очистки в 2 раза (водо- подготовка по базовому варианту), т/год:					
физического	0,49	0,87	1,23	2,11	3,67
условного	0,71	1,26	1,78	3,07	5,33
Экономия соляной кислоты на очистку котла от на- кипи, т/год.					
при магнитной водопод- готовке	0,09	0,18	0,27	0,44	0,89
при ультразвуковой водоподготовке	0,09	0,19	0,28	0,46	0,93

Наименование	Значение показателя при толщине накипи перед очисткой по базовому варианту				
	1 мм	2 мм	3 мм	5 мм	10 мм
Экономия топлива при магнитной водоподготовке и соблюдении нормативной периодичности очистки котла от накипи, т/год:					
физического	0,96	1,71	2,41	3,94	7,1
условного	1,39	2,48	3,50	5,73	10,5
Экономия топлива при ультразвуковой водоподготовке и соблюдении нормативной периодичности очистки котлов от накипи, т/год:					
физического	0,99	1,75	2,47	4,07	7,3
условного	1,44	2,54	3,58	5,88	10,6

Таблица

Показатели эффективности водоподготовки и очистки поверхностей нагрева котлов от накипи в котельной (4 котла "Минск-1")

Наименование	Значение показателя при толщине накипи перед очисткой по базовому варианту				
	1 мм	2 мм	3 мм	5 мм	10 мм
КПД котла перед очисткой при водоподготовке по базовому варианту, %	66,3	65,1	64,1	62,1	58,1
Расход топлива при водоподготовке по базовому варианту, т/год:					
физического	835,2	843,1	850,3	863,8	895,4
условного	650,2	656,4	662,0	672,6	697,0
Экономия топлива при магнитной водоподготовке, т/год:					
физического	7,7	13,7	19,3	30,0	56,1
условного	6,0	10,7	15,1	23,4	44,1

Продолжение табл. 2

Наименование	Значение показателя при толщине накипи перед очисткой по базовому варианту				
	1 мм	2 мм	3 мм	5 мм	10 мм
Экономия топлива при ультразвуковой водоподготовке, т/год:					
физического	8,1	14,3	20,2	31,5	59,4
условного	6,3	11,1	15,7	24,5	46,2
Перерасход топлива при увеличении периодичности очистки в 2 раза (водоподготовка по базовому варианту), т/год:					
физического	7,91	14,12	19,99	31,36	59,87
условного	6,16	11,0	15,60	24,42	46,61
Экономия соляной кислоты на очистку котлов от нагара, т/год:					
при магнитной водоподготовке	0,22	0,44	0,66	1,12	2,24
при ультразвуковой водоподготовке	0,23	0,46	0,69	1,17	2,33
Экономия топлива при магнитной водоподготовке и соблюдении нормативной периодичности очистки котлов от накипи, т/год:					
физического	15,61	27,82	39,29	61,36	116,57
условного	12,16	21,70	30,70	47,82	90,71
Экономия топлива при ультразвуковой водоподготовке и соблюдении нормативной периодичности очистки котлов от накипи, т/год:					
физического	16,01	28,42	40,19	62,86	119,27
условного	12,46	22,00	31,30	48,92	92,81

Расчет выполнен на примере котлов КВ-300М и котельной с четырьмя котлами "Минск-1". Исходные данные [1, 4, 6].

Котел КВ-300М при работе на дизельном топливе:

номинальная паропроизводительность	450 кг/ч;
номинальный КПД котла	80 %;
низшая теплота сгорания дизельного топлива	10180 Ккал/кг;
температура горячей воды (пара)	115 °С;
температура воды на входе в котел	20 °С;
удельная теплоемкость воды	1,0 Ккал/(кг·°С);
удельная теплота парообразования	533 Ккал/кг;
нормативная периодичность очистки (годовая наработка) котла	1454 ч;
базовая периодичность очистки котла	2908 ч.

Котел "Минск-1" с удельной поверхностью нагрева 79,5 м² при работе на каменном угле (рядовом):

тепловая мощность	0,283 Гкал/ч;
номинальный КПД	68 %;
низшая теплота сгорания угля	5450 Ккал/кг;
нормативная периодичность очистки (годовая наработка) котла	2700 ч;
базовая периодичность очистки котла	5400 ч.

Расход соляной кислоты на удаление 1 мм накипи в котлах КВ-300М
"Минск-1" III кг;
70 кг.

Л и т е р а т у р а

1. Енохович А.С. Справочник по физике. - М.: Просвещение, 1981.
2. Михненко В.И. Электромагнитная обработка воды в теплоэнергетике (вопросы теории и практики). - Харьков: Высшая школа, 1981.
3. Применение метода магнитной обработки для интенсификации технологических процессов. Обзорная информация. - М.: НИИТЭХИМ, 1987.

4. Родатин К.Ф., Полгарский А.Н. Справочник по котельным установкам малой производительности. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
5. Сандуляк А.В., Ткаченко С.И. Систематизация данных по магнитной обработке воды в теплоэнергетике. - Известия вузов. Энергетика, 1980, № 4.
6. Система технического обслуживания и ремонта теплотехнического оборудования (СТОИРТО). - Мн.: ВНИИТМЖ, 1990.
7. Тебенхин В.Ф. Безреагентные методы обработки воды в энергоустановках. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
8. Химическая очистка топочного и водного пространства котлов на газовом и жидком топливе, теплотехнические измерения котлов, регулировка топочных устройств. Доклад. - Будапешт: Топливо-техническое предприятие «Прометус», 1985.

УДК 635.21.027:621.635

Е.М. Заяц, М.М. Николаенко, И.Б. Ющенко, кандидаты технических наук;

П.В. Кардашов, Е.Е. Заяц, инженеры

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ В СРЕДЕ, ПОЛУОГРАНИЧЕННОЙ ТОКОПРОВОДИЯЩИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Электрохимическая и тепловая обработка органических материалов при технологических температурах, близких к предельно допустимым, требует высокую равномерность температурных полей в обрабатываемой среде. Кроме того температура влияет на физические, химические и биологические процессы, глубина и качество которых взаимосвязаны с равномерностью температуры в зоне обработки.

Причинами различной температуры могут быть неоднородность электрических и теплофизических свойств по объему материала, неравномерность полей и скорости перемещения компонентов или частей материала в рабочей камере. Предварительная подготовка должна формировать обрабатываемый материал однородным по физическим свойствам. Форма и взаимное расположение токопроводящих электродов должны создавать равномерное перемещение материала в равномерном электрическом поле.

В практике наиболее распространены электродные системы в виде плоской или коаксиальной трубы (рис. 1.1).

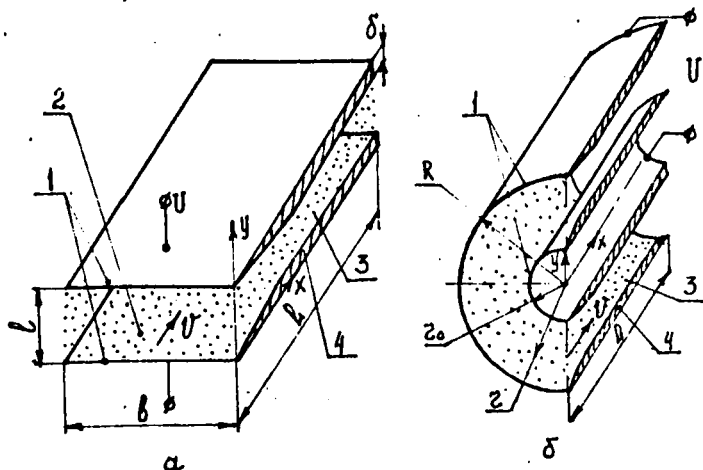


Рис.1. Схемы к расчету температурного поля плоской (а) и коаксиальной (б) электродных систем:

1 — токоподводящие электроды; 2 — кормовая смесь;
3 — ядро; 4 — пограничной.

Рассмотрим температурное поле таких систем при наличии внутреннего источника теплоты с учетом зависимости физических параметров среды от температуры и условий движения. Поток движущейся среды разделим на две области: ядро - составляющее основную часть материала, в котором отсутствует зависимость $\nu(y)$ и скорость v частиц постоянна, и пристенную - так называемый пограничный - для которого характерны прилипание отдельных частиц корма к электродам и наличие зависимости $\nu(y)$ и $\nu(y)$.

Плоские электроды (рис. 1.а).

Уравнение теплопроводности для рассматриваемой задачи имеет вид

$$\frac{\partial \cdot \partial t(x, y)}{\partial x} = \frac{a \cdot \partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{q_v}{\rho_c \cdot C_c} \quad \text{или} \quad \frac{\partial t(x, y)}{\partial x} = \frac{a}{\vartheta} \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{q_v}{\rho_c \cdot \vartheta \cdot C_c}, \quad (1)$$

где t - текущая температура среды, °С;

a - температуропроводность, м²/с;

q_v - объемная плотность внутреннего источника теплоты, Вт/м³;

v - скорость перемещения среды, м/с.

Граничные условия имеют вид

$$t(0, y) = t_n, \quad \nabla t(y=0; y=l) = \alpha(t - t_c)/\lambda,$$

где t_n - начальная температура материала, °С;

t_c - температура окружающей среды, °С.

Пренебрегая членом $\frac{a}{\vartheta} \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}$, учитывающим влияние на ядро потока теплоты из погранслоя, получим уравнение

$$\frac{\partial t(x, y)}{\partial x} = \frac{q_v}{\rho_c \cdot \vartheta \cdot C_c}$$

Таким образом без учета температуры погранслоя для ядра

$$t(x) = \int_0^x \frac{q_v \cdot dx}{\rho_c \cdot \vartheta \cdot C_c} \quad (2)$$

Интегрируя (2) получим

$$t(x) = t_n + \frac{q_v \cdot x}{\rho_c \cdot \vartheta \cdot C_c}$$

Так как $q_v = \gamma_{tc} \cdot E^2$

$$t(x) = t_n + \frac{\gamma_{tc} \cdot E^2}{\rho_c \cdot \vartheta \cdot C_c} x \quad (3)$$

где γ_{tc} - удельная электрическая проводимость кормосмеси при температуре t , См/м;

E - напряженность электрического поля в кормосмеси, В/м.

Формула (3) описывает распределение температуры в материале без учета влияния температуры погранслоя.

Оценим влияние погранслоя на распределение температуры в ядре по длине электродов. Введем среднюю по сечению материала температуру

$$\bar{t} = \left(\frac{1}{j}\right) \cdot \int_0^j t(x, y) \cdot dy.$$

Интегрируя (1) по $\left(\frac{1}{j}\right) \cdot \int_0^j dy$ получим

$$\frac{\partial \bar{t}(x)}{\partial x} = -\frac{2 \cdot a \cdot |\nabla t_y|}{1 \cdot \delta} + \frac{q_v}{\rho_c \cdot \delta \cdot C_c}. \quad (4)$$

Множитель 2 возникает из-за влияния теплообмена между двумя электродами и ядром. Знак минус означает противоположную направленность ∇t_y и потока теплоты от погранслоя к ядру.

Интегрируя (4) получим

$$\bar{t}(x) = -2 \cdot a / (1 \cdot \delta) \cdot \int_0^x [|\nabla t_y|] \cdot dx + \int_0^x [q_v \cdot dx / (\rho_c \cdot \delta \cdot C_c)]. \quad (5)$$

Для расчета $\bar{t}(x)$ по (5) необходимо знать ∇t_y на расстоянии $y = \delta$ так как теплообмен идет на границе погранслоя, толщина которого δ .

Для подвижного материала в погранслое уравнение энергии имеет вид

$$\frac{\partial_y(y) \cdot \partial t}{\partial y} = a \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\gamma_{tc} \cdot E^2}{\rho_c \cdot C_c}.$$

так как для ядра

$$\frac{\partial_x(x) \cdot \partial t}{\partial x} = \frac{\gamma_{tc} \cdot E^2}{\rho_c \cdot C_c},$$

то
$$\frac{\alpha}{\delta x} = \frac{\gamma_{\text{те}} \cdot E^2}{\delta_x \cdot \rho_c \cdot C_c},$$

из (6) имеем

$$\frac{\delta(y) \cdot \gamma_{\text{те}} \cdot E^2}{\delta_x \cdot \rho_c \cdot C_c} = \frac{a \cdot \theta^2 t}{\delta y^2} + \frac{\gamma_{\text{те}} \cdot E^2}{\rho_c \cdot C_c}. \quad (7)$$

Пусть профиль скорости в погранслое определяется по уравнению

$$\delta_x(y) = \frac{\delta_x \cdot y}{\delta(x)}, \quad (8)$$

где u_x - скорость в ядре, м/с;

$\delta(x)$ - толщина погранслоя, м.

Подставим (8) в (7) и получим

$$\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = -\frac{\gamma_{\text{те}} \cdot E^2}{a \cdot \rho_c \cdot C_c} \cdot \left(1 - \frac{y}{\delta}\right). \quad (9)$$

Граничные условия имеют вид

$$t_y = \delta = t(x) = t_x$$

$$\frac{\delta t}{\delta y}_{y=0} = -\frac{\alpha \cdot (t_x - t_c)}{\lambda}, \quad t_x = t_x(x),$$

где α - коэффициент теплообмена с внешней средой, Вт/(м²·°С);

λ - теплопроводность среды, Вт/(м·°С);

Введем обозначение

$$\frac{\gamma_{\text{те}} \cdot E^2}{a \cdot \rho_c \cdot C_c} = A,$$

тогда из (9) следует

$$\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = -A \cdot \left(1 - \frac{y}{\delta}\right). \quad (10)$$

Интегрируя (10) получим общее решение

$$t(y) = A \cdot y^3/6 \cdot \delta(x) - A \cdot y^2/2 + C_2 + C_1.$$

Используя граничные условия окончательно для погранслоя

$$t(y) = \frac{A \cdot y^3}{6 \cdot \delta(x)} - \frac{A \cdot y^2}{2} - z \cdot t_c + \frac{[t_n(x) + A \cdot \delta^2(x)/3 + z \cdot t_c \cdot \delta(x)] \cdot [z \cdot y + 1]}{1 + z \cdot \delta(x)}, \quad (1f)$$

где $z = \alpha/\lambda$.

Профиль температуры в погранслое из (11)

$$[\nabla t_{y=0}] = [-A \cdot \delta(x)/2 - z \cdot t_c + (t_n(x) + A \cdot \delta^2(x)/3 + z \cdot t_c \cdot \delta(x)) \cdot z / (1 + z \cdot \delta(x))]. \quad (1g)$$

Полагая в первом приближении, что температура в ядре

$$t_n \approx t_n + \gamma_{tc} \cdot E^2 \cdot x / (\rho_c \cdot C_c \cdot v),$$

где t_n - начальная температура материала, °C, из (12) следует

$$[\nabla t_{y=0}] = [-A \cdot \delta / 2 + (t_n - t_c + A \cdot a \cdot x / v + A \cdot \delta^2 / 3) \cdot z / (1 + z \cdot \delta)]. \quad (13)$$

Подставляя (13) в (5) с учетом $t(0) = t_n$

$$\begin{aligned} \bar{t}(x) = & t_n + 2 \cdot a / (1 \cdot v) \cdot [(t_n - t_c + A \cdot a \cdot x / v + \\ & + A \cdot \delta^2(x)/3) \cdot z / (1 + z \cdot \delta(x)) - A \cdot \delta(x)/2] \cdot (-x) + A \cdot a \cdot x / v. \end{aligned} \quad (14)$$

Коаксиальные электроды (рис.1.6)

Уравнение энергии имеет вид

$$t(r,x) = t_n + q(r) \cdot x / (\rho_c \cdot C_c \cdot v), \quad (15)$$

где $q(r) = \frac{\gamma_{tc} \cdot U^2}{r^2 \cdot \ln^2(R/r_0)}$ (16)

Подставляя (16) в (15) получим распределение температуры между цилиндрическими электродами

$$t(r,x) = t_n + \frac{\gamma_{tc} \cdot U^2 \cdot x}{\rho_c \cdot C_c \cdot U \cdot r^2 \cdot \ln^2(R/r_0)} \quad (17)$$

Средняя температура по сечению коаксиальной электродной системы

$$\bar{t} = \frac{1}{\pi \cdot (R^2 - r_0^2)} \cdot \int_{r_0}^R 2 \cdot \pi \cdot t(r,x) \cdot r \cdot dr \quad (18)$$

Таким образом формулы (11), (14), (17) и (18) позволяют рассчитать температуру кормосмеси в зоне, граничащей с поверхностью электрода и между плоскими и цилиндрическими коаксиальными электродами.

Толщина пограничного слоя может быть определена по известным формулам. Например, для кормовых систем профиль скорости соответствует турбулентному с постоянной величиной в ядре и переменной в пограничном слое. В этом случае толщина пограничного слоя наиболее близко описывается формулой

$$\delta(x) = 3,7 \cdot x \cdot Re^{-0,5}$$

где Re - число Рейнольдса.

Температура кормовой системы зависит от удельной электрической проводимости, которая в свою очередь зависит от температуры и длины электродов. Эту взаимозависимость должна учитывать методика расчета $t(x,y)$.

Результаты расчетов по формулам (11, 14, 17, 18) позволяют сделать следующие выводы:

1. Обработка грубодисперсных кормовых материалов возможна только в плоских электродных системах, создающих равномерное температурное поле (рис. 2).

2. Цилиндрические коаксиальные электроды создают недопустимый перегрев материала у поверхности внутреннего электрода в то время как температура у наружного значительно ниже нормируемой (рис. 3).

3. Обработка жидких кормов возможна в плоских и коаксиальных системах при соответствующем подборе отношений наружного и внутреннего диаметров электродов (табл. 1).

4. Расчет коаксиальных электродных систем по средней температуре ведет к большим погрешностям (рис. 3).

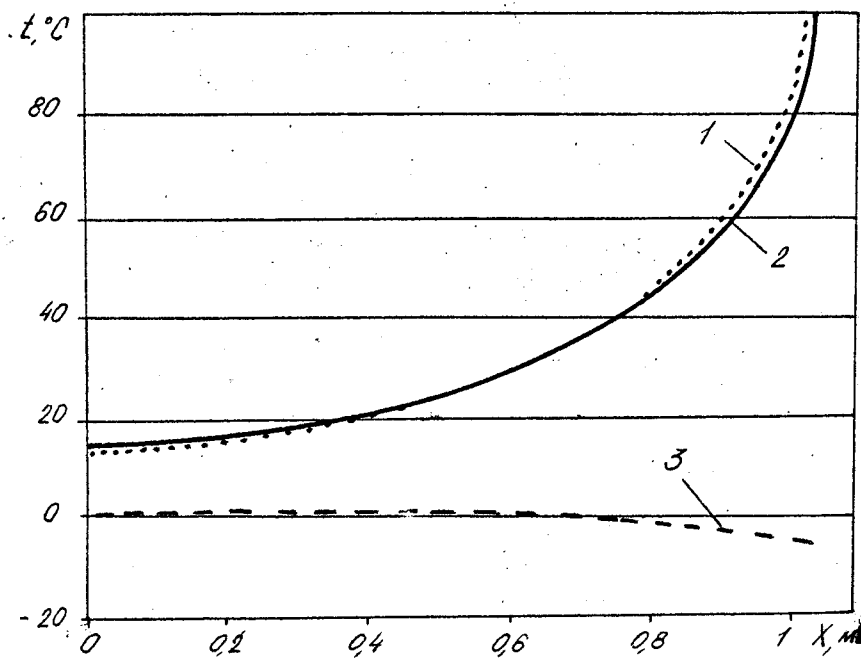


Рис. 2. Изменение температуры по длине плоских электродов X при обработке содомы:
 1 - температура поверхности;
 2 - температура ядра;
 3 - разность температур.

Таблица 1

Изменение температуры по длине
цилиндрической коаксиальной системы

Длина электрода, м	Температура, °С			
	Средневзвешенная	электрода		разность
		внутреннего	наружного	
Солома, 600 кг/м ³ , 700 В/м, 0,003 м/с, $t_k \approx 90$ °С				
0,000	12,0	12,0	12,0	0,0
0,300	17,0	33,6	15,8	19,7
0,600	25,4	70,3	17,0	53,3
0,850	38,9	128,7	22,0	106,7
Зерно, 400 кг/м ³ , 1400 В/м, 0,003 м/с, $t_k \approx 80$ °С				
0,000	12,0	12,0	12,0	0,0
0,050	16,7	23,6	14,4	9,2
0,100	24,6	42,8	18,3	24,5
0,150	40,0	80,5	26,1	54,5
0,170	51,2	108,0	31,7	76,3
Меласса, 1400 кг/м ³ , 4000 В/м, 0,003 м/с, $t_k \approx 60$ °С				
0,000	12,0	12,0	12,0	0,0
0,100	15,1	16,5	14,2	2,3
0,200	19,3	22,7	19,2	7,4
0,300	25,5	31,7	21,7	10,0
0,400	35,6	46,3	29,0	17,4
0,500	54,7	74,0	42,6	31,4

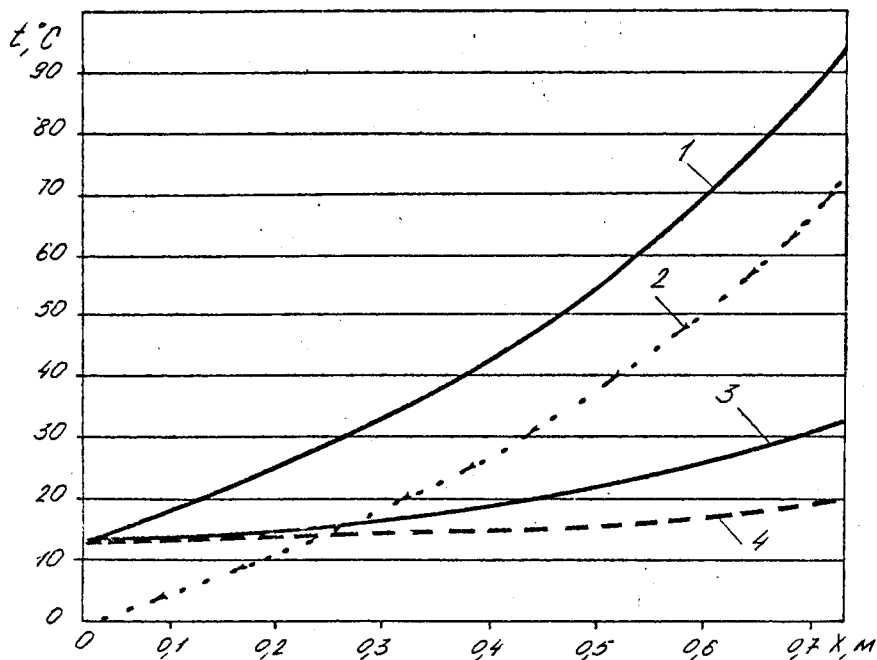


Рис. 8. Изменение температуры по длине коаксиальных электродов X при обработке осломом:
 температура у внутреннего (1) и наружного (3) электродов;
 2 - разность (1) и (3);
 4 - средневзвешенная температура материала.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ
АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ В САМОСПЛАВНЫХ СИСТЕМАХ
НАВОЗООУДАЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Оборот воды в животноводстве сопровождается рядом экономических и экологических издержек, основная часть которых вызвана гидросмывом навоза и навозного осадка из навозосборных каналов самосплавных систем навозоудаления. Широкое распространение в СССР закольцовывания навозных каналов, создание при помощи поперечных перегородок моющих зазоров, в которых происходит формирование придонных потоков для эффективного смыва навозного осадка, выражает стремление к рационализации использования жидкой навозной фракции с целью вытеснения практики гидросмыва, что вплотную подводит к оптимизации режимов и средств управления навозными каналами.

Для анализа информационных возможностей, возникающих вследствие взаимодействия поперечной перегородки с потоком жидкой навозной фракции, рассмотрим расчетную схему подвижной перегородки, представленную на рис. 1, где использованы следующие обозначения:

M - сумма моментов сил, воздействующих на перегородку относительно центра шарнира O , $H \cdot m$;

F_{11} , F_{12} - силы давления жидкой навозной фракции на перегородку соответственно со стороны глухого торца навозного канала и со стороны шибера, H ;

F_3 - вес перегородки, H ;

F_{41} - выталкивающая сила, действующая со стороны жидкой навозной фракции на перегородку, H ;

F_5 - сила трения, действующая на шарнир перегородки, H ;

F_6 - внешняя сила реакции опор и сопротивления перемещению перегородки, H ;

l_{01} - расстояние между нижним краем перегородки и центром шарнира O , m ;

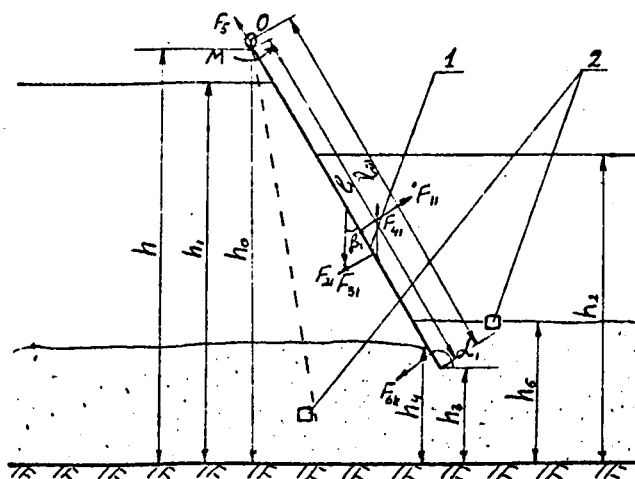


Рис. I. Расчетная схема подвижной перегородки:
 I - подвижная перегородка; 2 - ограничители перемещения подвижной перегородки.

l_1 - длина перегородки, м;

α_1, β_1 - соответственно угол поворота перегородки относительно шарнира и дна навозного канала и угол между направлением силы тяжести и поверхностью перегородки со стороны глухого торца навозного канала, а также между направлением выталкивающей силы и поверхностью перегородки со стороны шибера, рад;

h_0 - высота подвеса перегородки на оси OY над дном навозного канала, м;

h_1, h_2 - уровни навоза относительно дна навозного канала соответственно со стороны его глухого торца и шибера, м;

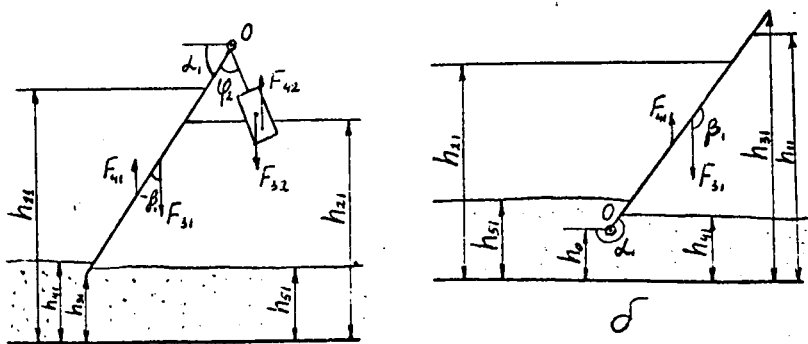
h_3 - высота зазора между нижним краем перегородки и дном навозного канала, м;

h_4, h_5 - уровни навозного осадка относительно дна навозного канала по обе стороны от перегородки соответственно со стороны его глухого торца и шибера, м.

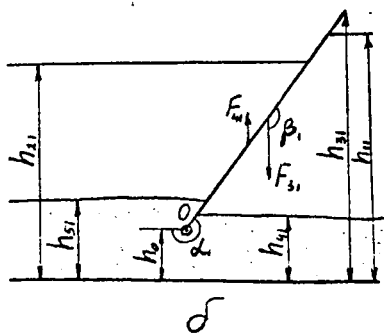
Позиция I обозначает подвижную перегородку с возможностью поворота вокруг оси O между ограничительными перемещения перегородки 2.

Дополнительно введем обозначения удельных весов соответственно материала перегородки γ_1 и жидкой навозной фракции γ , ширины b_1 и толщины ε_1 перегородки, площади S_w поверхности трения шарнира, коэффициента трения шарнира $K_{тр}$.

Очевидно, что на расчетной схеме приведен частный случай расположения перегородки в навозном канале при $\frac{1}{2}\pi \leq \alpha < \pi$. На рис. 2 (а, б и в) изображены варианты расположения поперечной перегородки при изменении угла α , от 0 до 2π радиан соответственно при $0 \leq \alpha_1 < \frac{1}{2}\pi$, $\pi \leq \alpha_1 < \frac{3}{2}\pi$ и $\frac{3}{2}\pi \leq \alpha_1 < 2\pi$.



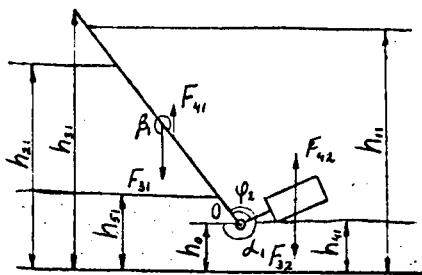
а



б

Рис. 2. Варианты расположения поперечной перегородки при различных значениях угла α_1 :

- 1 - $0 \leq \alpha_1 < \frac{\pi}{2}$
- 2 - $\frac{\pi}{2} \leq \alpha_1 < \frac{3\pi}{2}$
- 3 - $\frac{3\pi}{2} \leq \alpha_1 < 2\pi$



в

При этом перегородки (см. рис. 2 а и в) снабжены противовесами как необходимое условие устойчивого равновесия при соответствующих значениях α_1 . Исходя из этого в расчетную схему вводятся значения сил F_{32} и F_{42} противовеса соответствующие силам F_{31} и F_{41} перегородки, а также расстояния между точками приложения этих сил и центром шарнира O соответственно l_{32} и l_{42} , а также значения углов α_2 и β_2 соответствующие углам α_1 и β_1 перегородки и значение угла ρ_2 между линией, соединяющей точку приложения результирующей силы противовеса и центр шарнира O и перегородкой.

Параметры модели должны быть изменены при использовании их в расчетах, если они попадают под ограничения модели, которые приведены ниже и в которых преобразуемые параметры отличаются от параметров используемых в расчетах индексом m .

Известно, что в закольцованных навозных каналах понятия глухого торца и стороны шибера могут меняться местами в зависимости от направления выпуска навоза из навозного канала. Исходя из этого на модель накладывается следующее ограничение:

$$\begin{aligned}
 h_{1m} &< h_{21} \\
 h_1 &= h_{2m} \\
 h_2 &= h_{1m} \\
 \alpha &= \pi - \alpha_m \\
 \varphi &= -\varphi_m \\
 h_u &= h_{5m} \\
 h_5 &= h_{4m}
 \end{aligned}
 \tag{I}$$

Поскольку при расчете M имеет значение только гидравлическое экранирование перегородки навозным осадком и его сопротивление перемещению, то в модели учитывается лишь часть навозного осадка, входящая во взаимодействие с перегородкой. Исходя из этого для значений $0 \leq \alpha_1 < \pi$ вводятся следующие ограничения:

$$\begin{cases} h_{1m} < h_{3m} \\ h_1 = h_{3m} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} h_{2m} < h_{3m} \\ h_2 = h_{3m} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} h_{4m} < h_{3m} \\ h_4 = h_{3m} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} h_{5m} < h_{3m} \\ h_5 = h_{3m} \end{cases} \quad (5)$$

Гидравлическое экранирование перегородки при значениях $0 \leq \alpha_1 < \pi$ имеет место также и вследствие турбулентных явлений на выходе потока жидкой навозной фракции из мощевого зазора, сопровождающееся снижением эффективного значения h_2 на величину h_6 , как это отражено в следующем ограничении:

$$\begin{cases} h_{2m} < 1,5 h_{3m} \\ h_2 = h_{2m} - h_6 \end{cases} \quad (6)$$

Ограничения вследствие гидравлического экранирования перегородки для значения $\pi \leq \alpha_1 < 2\pi$ могут быть представлены в следующем виде:

$$\begin{cases} h_{1m} < h_0 + (l_{01} - l_1) \sin \alpha_1 \\ h_1 = h_0 + (l_{01} - l_1) \sin \alpha_1 \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} h_{2m} < h_0 + (l_{01} - l_1) \sin \alpha_1 \\ h_2 = h_0 + (l_{01} - l_1) \sin \alpha_1 \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} h_{4m} < h_0 + (l_{01} - l_1) \sin \alpha_1 \\ h_4 = h_0 + (l_{01} - l_1) \sin \alpha_1 \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} h_{5m} < h_0 + (l_{01} - l_1) \sin \alpha_1 \\ h_5 = h_0 + (l_{01} - l_1) \sin \alpha_1 \end{cases} \quad (10)$$

При расчете выталкивающей силы, действующей на перегородку, и возникающего от этого момента силы относительно центра шарнира O следует определять наибольший уровень навозного осадка относительно дна навозного канала из следующих соотношений:

$$\begin{cases} h_{4m} \geq h_{5m} \\ h_{\alpha} = h_{4m} \end{cases} \quad (II)$$

$$\begin{cases} h_{5m} > h_{4m} \\ h_{\alpha} = h_{5m} \end{cases} \quad (I2)$$

Все приведенные значения являются мгновенными значениями соответствующих величин в моменты времени τ , поэтому в расчетах эти и другие значения величин, кроме постоянных величин, представлены в функции времени.

Момент сил относительно центра шарнира O является суммой следующих моментов сил, действующих на перегородку и другие — элементы ее механической системы, относительно центра шарнира O :

- $M_{1j}(\tau)$ — моменты, создаваемые гидростатическим воздействием жидкой навозной фракции со стороны глухого торца навозного канала, Н·м;
- $M_{2j}(\tau)$ — моменты, создаваемые гидростатическим воздействием жидкой навозной фракции со стороны шибера, Н·м;
- $M_{3j}(\tau)$ — моменты, создаваемые весом соответствующих элементов механической системы, Н·м;
- $M_{4j}(\tau)$ — моменты, создаваемые выталкивающей силой, Н·м;
- $M_5(\tau)$ — момент, вызванный эффектом трения в шарнире, Н·м;
- $M_{6n}(\tau)$ — моменты, создаваемые внешними силами реакции и сопротивления, Н·м;
- $M_{7j}(\tau)$ — моменты сил инерции элементов механической системы, Н·м;
- $M_{8j}(\tau)$ — внешние моменты сил инерции, например, сдвигаемого навозного осадка, Н·м.

Индекс k отражает разнообразие внешних сил реакции и сопротивления, например, реакции опоры ограничителя перемещения в ее начальном $F_{01}(\tau)$ и конечном $F_{03}(\tau)$ положениях, а также сопротивление навозного осадка сдвигу $F_{02}(\tau)$.

Индекс j отражает возможное разнообразие элементов механической системы, включающей перегородку, дополнительный контур жесткости, балансировочные грузы, противовесы, окна и другие особенности формы перегородки.

В перечисленных выше и приводимых далее величинах $j = 1$ означает принадлежность к прямоугольной сплошной перегородке, а $j = 2$ - к противовесу.

Для представленных выше моментов сил, исключая моменты сил инерции, могут быть записаны следующие соотношения:

$$M_{1j}(\tau) = F_{1j}(\tau) \left(l_{1j}(\tau) + l_{01} - \frac{h_{1j}(\tau) - h_{3j}(\tau)}{\sin \alpha_j(\tau)} \right) \quad (13)$$

$$M_{2j}(\tau) = F_{2j}(\tau) \left(l_{2j}(\tau) + l_{01} - \frac{h_{2j}(\tau) - h_{4j}(\tau)}{\sin \alpha_j(\tau)} \right) \quad (14)$$

$$M_{3j}(\tau) = -F_{3j}(\tau) \sin \beta_j(\tau) l_{3j} \quad (15)$$

$$M_{4j}(\tau) = F_{4j}(\tau) \sin \beta_j(\tau) l_{4j}(\tau) \quad (16)$$

$$M_5(\tau) = -(\operatorname{sgn} \sum_{n=1}^{n=4} M_{nj}(\tau)) F_5(\tau) \rho_{\text{тр}} \delta_w \quad (17)$$

$$M_{6k}(\tau) = -(\operatorname{sgn} \sum_{n=1}^{n=4} M_{nj}(\tau)) F_{6k}(\tau) l_{6k}(\tau) \quad (18)$$

где $F_{1j}(\tau); F_{2j}(\tau); F_{3j}(\tau); F_{4j}(\tau); F_5(\tau); F_{6k}(\tau)$ - значения сил, создающих соответствующие моменты сил относительно центра шарнира O, H ; $l_{3j}(\tau); l_{4j}(\tau); l_{6k}(\tau)$ - расстояние между центром шарнира C и точками приложения соответствующих сил, m ;

$l_{1j}(\tau); l_{2j}(\tau)$ - расстояние между центрами смоченных поверхностей j -ого элемента механической системы и линиями пересечения свободной поверхности жидкой навозной фракции с j -ым элементом механической системы соответственно со стороны глухого торца и шибера, m .

Для прямоугольной перегородки с индексом $j = I$ могут быть записаны следующие соотношения:

$$F_{11}(\tau) = \frac{r(h_{11}(\tau) - h_{41}(\tau))^2}{2 \sin \alpha_1(\tau)} \cdot \ell_1, \quad (19)$$

$$F_{21}(\tau) = \frac{r(h_{21}(\tau) - h_{51}(\tau))^2}{2 \sin \alpha_1(\tau)} \cdot \ell_1, \quad (20)$$

$$F_{31} = r \cdot \varepsilon_1 \cdot \ell_1 \cdot \ell_1, \quad (21)$$

$$F_{41}(\tau) = \frac{r \varepsilon_1 \ell_1 (h_{31}(\tau) - h_{21}(\tau))}{\sin \alpha_1(\tau)}, \quad (22)$$

$$\ell_{11}(\tau) = \frac{2(h_{11}(\tau) - h_{41}(\tau))}{3 \sin \alpha_1(\tau)} \quad (23)$$

$$\ell_{21}(\tau) = \frac{2(h_{21}(\tau) - h_{51}(\tau))}{3 \sin \alpha_1(\tau)} \quad (24)$$

$$\ell_{31} = (\ell_{01} - \frac{\ell_1}{2}) \quad (25)$$

$$\ell_{41}(\tau) = (\ell_{01} - \frac{h_{21}(\tau) - h_{31}(\tau)}{2 \sin \alpha_1(\tau)} - \frac{h_{41}(\tau) - h_{51}(\tau)}{\sin \alpha_1(\tau)}) \quad (26)$$

$F_5(\tau)$ представляет собой абсолютное значение векторной суммы составляющих веса и выталкивающей силы приложенных к элементам механической системы и направленных вдоль соответствующих направлений ℓ_{3j} и $\ell_{4j}(\tau)$. Для удобства расчета разложим векторы сил F_{31} и $F_{41}(\tau)$ на составляющие по направлениям ℓ_{31} и повернутом вокруг оси OY от ℓ_{31} на $\angle \varphi_0$.

Поскольку за редким исключением, связанным со сложной формой j -ого элемента, точки приложения выталкивающей силы и силы тяжести лежат на одной прямой с центром шарнира O , то можно записать следующее выражение:

$$\begin{aligned}
 F_5(\tau) = & \left\{ \left[\sum_{j=1}^{n_j} (F_{3j} - F_{4j}(\tau)) \sin \alpha_j(\tau) \cos(\alpha_j(\tau) - \alpha_1(\tau)) \right]^2 + \right. \\
 & + \left[\sum_{j=1}^{n_j} (F_{3j} - F_{4j}(\tau)) \sin \alpha_j(\tau) \cos(\alpha_j(\tau) - \alpha_1(\tau) - \rho_0) \right]^2 + \\
 & + 2 \left[\sum_{j=1}^{n_j} (F_{3j} - F_{4j}(\tau)) \sin \alpha_j(\tau) \cos(\alpha_j(\tau) - \alpha_1(\tau)) \right] \times \\
 & \left. \times \left[\sum_{j=1}^{n_j} (F_{3j} - F_{4j}(\tau)) \sin \alpha_j(\tau) \cos(\alpha_j(\tau) - \alpha_1(\tau) - \rho_0) \right] \right\}^{\frac{1}{2}}
 \end{aligned} \quad (27)$$

Для сокращения количества тригонометрических переменных в функциональных связях можно использовать следующие выражения:

$$\sin \alpha_j(\tau) = \frac{h_{0j} - h_{3j}(\tau)}{l_{0j}}, \quad (28)$$

$$\cos \alpha_j(\tau) = (\sin \alpha_j(\tau)) \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_j(\tau)}, \quad (29)$$

$$\beta_j(\tau) = \alpha_j(\tau) - \frac{\pi}{2}, \quad (30)$$

$$\cos \beta_j(\tau) = \sin \alpha_j(\tau), \quad (31)$$

$$\sin \beta_j(\tau) = -\cos \alpha_j(\tau), \quad (32)$$

$$\alpha_j(\tau) - \alpha_1(\tau) = \varphi_j, \quad (33)$$

$$\sin(\alpha_1(\tau) + \varphi_j) = \sin \alpha_1(\tau) \cos \varphi_j + \sin \varphi_j \cos \alpha_1(\tau) \quad (34)$$

$$\cos(\alpha_1(\tau) + \varphi_j) = \cos \alpha_1(\tau) \cos \varphi_j - \sin \alpha_1(\tau) \sin \varphi_j \quad (35)$$

С учетом вышесказанного, выражения (13-16) для перегородки примут следующий вид:

$$M_{11}(\tau) = \frac{\gamma \ell_0 \ell_0^2 (h_{11}(\tau) - h_{11}(\tau)) (3h_0 - 2h_{11}(\tau) - h_{11}(\tau))}{6 (h_0 - h_{11}(\tau))^2} \quad (36)$$

$$M_{21}(\tau) = \frac{\gamma \ell_0 \ell_0^2 (h_{21}(\tau) - h_{21}(\tau)) (3h_0 - 2h_{21}(\tau) - h_{21}(\tau))}{6 (h_0 - h_{21}(\tau))^2} \quad (37)$$

$$M_{41}(\tau) = \frac{-\gamma \ell_0 \ell_0^2 (h_{21}(\tau) - h_{21}(\tau)) (\sin \alpha_1(\tau))}{(h_0 - h_{21}(\tau))^2} \quad (38)$$

$$\times \sqrt{1 - \left(\frac{h_0 - h_{21}(\tau)}{\ell_0}\right)^2} \cdot \left(h_0 - h_{21}(\tau) - \frac{h_{21}(\tau) - h_{21}(\tau)}{2}\right), \quad (39)$$

$$M_{31}(\tau) = \gamma \ell_0 \ell_0 \ell_0 (\sin \alpha_1(\tau)) \sqrt{1 - \left(\frac{h_0 - h_{21}(\tau)}{\ell_0}\right)^2} \times \left(\ell_0 - \frac{\ell_0}{2}\right)$$

Принимая $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$ и с учетом выражений (33-35) можем записать выражение (27) в следующем виде:

$$F_3(\tau) = \left\{ \left[\sum_{j=1}^{n_2} (F_{3j} - F_{3j}(\tau)) (\sin \alpha_j(\tau) \cos \varphi_j + \sin \varphi_j \cos \alpha_j(\tau)) \times \right. \right. \quad (40)$$

$$\left. \times \cos \varphi_j \right]^2 + \left[\sum_{j=1}^{n_2} (F_{3j} - F_{3j}(\tau)) (\sin \alpha_j(\tau) \cos \varphi_j + \sin \varphi_j \cos \alpha_j(\tau)) \sin \varphi_j \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Поскольку $\varphi_1 = 0$ и ограничивая механическую систему перегородкой и противовесом с учетом выражений (21), (22), (28) и (40) можно записать выражение (17) в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 M_5(\tau) = & - \left(\operatorname{sgn} \sum_{n=1}^{n=4} M_{n,j}(\tau) \right) \left(\{ \varepsilon_1 \ell_1 \left[\frac{\delta_1 \ell_1 (h_0 - h_{21}(\tau))}{\ell_{01}} - \right. \right. \\
 & - \left. \left. r (h_{21}(\tau) - h_{31}(\tau)) \right] + (F_{32} - F_{42}(\tau)) \left[\frac{h_0 - h_{21}(\tau)}{\ell_{01}} \cos^2 \varphi_2 + \right. \right. \\
 & \left. \left. + (\operatorname{sgn} \cos \alpha_1(\tau)) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{h_0 - h_{21}(\tau)}{\ell_{01}} \right)^2} \cdot \frac{\sin 2\varphi_2}{2} \right] \right\}^2 + \\
 & + \left[(F_{32} - F_{42}(\tau)) \cdot \left[\frac{h_0 - h_{21}(\tau)}{2 \ell_{01}} \sin 2\varphi_2 + (\operatorname{sgn} \cos \alpha_1(\tau)) \cdot \right. \right. \\
 & \left. \left. \times \sqrt{1 - \left(\frac{h_0 - h_{21}(\tau)}{\ell_{01}} \right)^2} \cdot \sin \varphi_2 \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}.
 \end{aligned} \tag{41}$$

Представленные выше математические выражения составляют математическую модель динамических характеристик подвижной поперечной перегородки как пассивного формирователя потока жидкой навозной фракции.

В результате исследований, проведенных во Всероссийском НИИ механизации животноводства получены зависимости изменения величин $h_{11}(\tau)$ и $h_{21}(\tau)$ при неподвижной вертикальной поперечной перегородке. В соответствии с условиями и результатами этого исследования для случая неподвижно закрепленной на ОУ и расположенной вертикально перегородки с величиной мощного зазора $h_{31}(\tau) = 0,2$ м и параметрами $\ell_1 = 0,9$ м, $\ell_2 = 0,65$ м, $\ell_{01} = 0,46$; м 0,66; 0,86 м, $h_0 = 0,66$; 0,86; 1,06 м были произведены расчеты с помощью математической модели, представленной выше. На рис. 3 даны расчетные зависимости момента $M(\tau)$ относительно центра шарнира О и экспериментальные зависимости $\Delta h(\tau) = h_{11}(\tau) - h_{21}(\tau)$ в функции времени, из которых следует, что при измерении величины $M(\tau)$ также как и по результатам экспериментальных измерений величин $h_{11}(\tau)$ и $h_{21}(\tau)$ может быть определен момент времени $\tau_{\text{ин}}$ соответствующий прорыву навозного осадка в мощном зазоре, который является важным параметром контроля. Кроме того момент времени τ , когда $M(\tau)$ впервые становится равным нулю в результате ослабления потока жидкой навозной фракции, означает прекращение концентрации его в мощном зазоре и начало свободного истечения жидкой навозной фракции из навозного канала

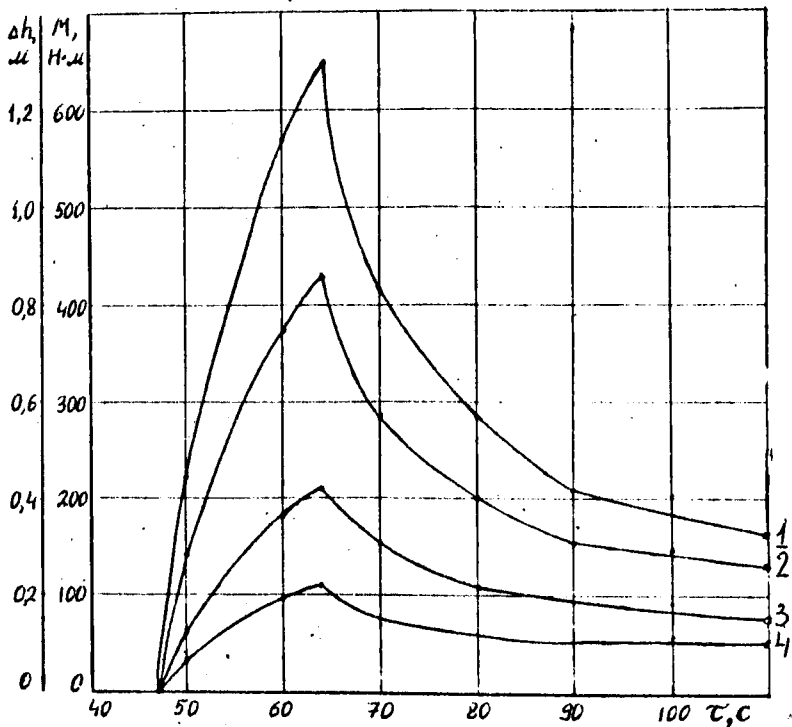


Рис. 3. Зависимости $M=f(\tau)$ и $\Delta h=f(\tau)$ в период выпуска навоза из навозного канала для случая неподвижно закрепленной вертикальной поперечной перегородки с параметрами $\varphi_1 = 0,9$ м, $\ell_1 = 0,65$ м и значением мощного зазора $h_{3,1} = 0,2$ м:

1 - $M(\tau)$ при $\ell_{01} = 0,86$ м, $h_0 = 1,06$ м; 2 - $M(\tau)$ при $\ell_{01} = 0,66$ м, $h_0 = 0,86$ м; 3 - $M(\tau)$ при $\ell_{01} = 0,46$ м, $h_0 = 0,66$ м; 4 - $\Delta h(\tau)$ при $\ell_{01} = 0,66$ м, $h_0 = 0,86$ м.

со скоростью меньшей значения так называемой размывающей скорости. Этот момент времени является основанием для сигнала на закрытие шибера, так как дальнейший бесполезный выпуск жидкой навозной фракции приведет к ухудшению условий смыва при следующем выпуске навоза в этом или в закольцованном с ним навозном канале.

Таким образом можно говорить о создании реальных технических предпосылок для организации двухпозиционного регулирования в навозном канале ССЦД, заключающемся в открытии шиберов при достижении навозом в канале верхнего уровня и закрытии шиберов при достижении потоком жидкой навозной фракции в месте размещения пассивного формирователя потока скорости меньшей значения размыкающей скорости потока.

УДК 621.316.1;631.371

В.П.Счастный, кандидат технических наук;

А.И.Жуковский, инженер

К ВОПРОСУ О ВЗАИМОВЛИЯНИИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И НАДБАВОК ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,38 кВ

Использование компенсирующих устройств (КУ) в электрических сетях позволяет снизить потери мощности и энергии, а также увеличить уровни напряжения в узлах сети. Экономичность работы сети должна достигаться с соблюдением технических требований нормальной работы сети и приемников. В процессе решения задачи оптимальной компенсации реактивной мощности необходимо учитывать уровни напряжения в сети.

В промышленных электрических сетях регулирование напряжения осуществляется с помощью устройств РПН на трансформаторах, что позволяет не учитывать данный параметр в процессе решения задачи оптимальной компенсации [1].

В сельских электрических сетях учет напряжения в процессе выбора КУ обязателен. Это обусловлено отсутствием устройств РПН на трансформаторах потребительских (ТП), а также более резким, чем в промышленных сетях, различием конфигураций графиков нагрузок.

Для решения данной задачи рассмотрим участок сети с активным сопротивлением R и индуктивным сопротивлением X . Потери активной мощности определим по выражению

$$\Delta P = (P^2 + Q^2) \cdot R / U_H^2 \quad (1)$$

С учетом мощности конденсаторной батареи, установленной в сети, выражение (1) будет иметь вид

$$\Delta P = \frac{P^2 \cdot R}{U_H^2} + \frac{(Q - Q_K)^2 \cdot R}{U_H^2}, \quad (2)$$

где Q_K - реактивная мощность конденсаторной батареи.

Разделив обе части уравнения (2) на величину Q , и сделав необходимые математические преобразования получим

$$\Delta P = \frac{P^2 \cdot R}{U_H^2} + \frac{Q^2 \cdot R \cdot (1 - C)^2}{U_H^2}, \quad (3)$$

где $C = Q_K/Q$ - степень компенсации реактивной мощности.

Выразив $Q = P \cdot \operatorname{tg}(\varphi)$, где $\operatorname{tg}(\varphi)$ - коэффициент реактивной мощности, получим

$$\Delta P = \frac{P^2 \cdot R}{U_H^2} + \frac{P^2 \cdot R \cdot \operatorname{tg}^2(\varphi) \cdot (1 - C)^2}{U_H^2}, \quad (4)$$

или

$$\Delta P = \frac{P^2 \cdot R}{U_H^2} + [1 + \operatorname{tg}^2(\varphi) \cdot (1 - C)^2]. \quad (5)$$

Проанализируем влияние степени компенсации реактивной мощности на величину потерь в линии при различных значениях $\cos(\varphi)$ нагрузки, задавшись произвольными исходными данными (например, $P = 100$ кВт, $R = 10$ Ом). Принимаем, что параметры P , R , $\operatorname{tg}(\varphi)$, и U_H в выражении (5) постоянны.

Из полученных зависимостей (рис. 1) видно, что при увеличении степени компенсации реактивной мощности, потери активной мощности в сети уменьшаются, достигая минимального значения при $C = 1$. Причем при более низком $\cos(\varphi)$ нагрузки, снижение потерь происходит более резко.

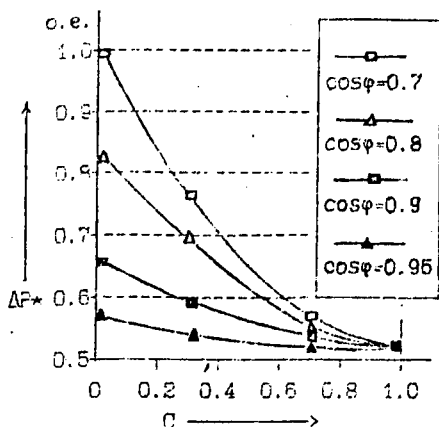


Рис. I. Зависимости нагрузочных потерь в сети от степени компенсации реактивной мощности.

На практике осуществить полную компенсацию потребляемой реактивной мощности не всегда возможно, так как установка в сети дополнительных конденсаторных мощностей приведет к снижению потерь напряжения в линии и, соответственно, к увеличению напряжения на зажимах электроприемников. Может получиться, что при $C = 1$ отклонение напряжения у электроприемников превысит допустимое значение.

Потери напряжения на участке сети с активным сопротивлением R и индуктивным сопротивлением X , с учетом мощности конденсаторной батареи равны

$$\Delta U = \frac{P \cdot R}{U_n} + \frac{(Q - Q_k) \cdot X}{U_n} \quad (6)$$

Разделив обе части выражения (6) на Q , и сделав ряд преобразований, получим

$$\Delta U = \frac{R \cdot P}{U_n} + \frac{Q \cdot X \cdot (1 - C)}{U_n} \quad (7)$$

Выразив $Q = P \cdot \operatorname{tg}(\varphi)$ и $X = R \cdot \operatorname{tg}(\varphi)$ в (7), получим

$$\Delta U = \frac{P \cdot R}{U_n} + \frac{P \cdot R \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \cdot (1 - C)}{U_n} \quad (8)$$

или

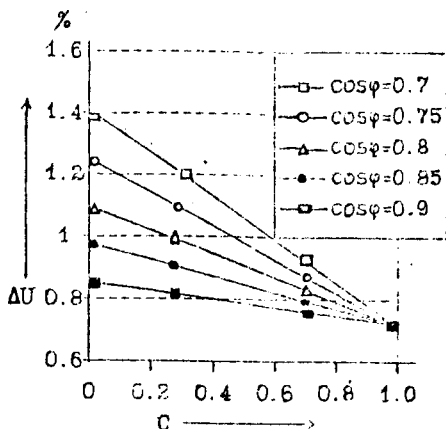
$$\Delta U = \frac{P \cdot R}{U_H} \cdot [1 + \operatorname{tg}^2(\varphi) \cdot (1 - c)] \quad (9)$$

Разделив это выражение на U_H , определяем относительное значение

$$\Delta U^* = \frac{P \cdot R}{U_H^2} \cdot [1 + \operatorname{tg}^2(\varphi) \cdot (1 - c)] \quad (10)$$

На рис. 2 показаны зависимости потерь напряжения в линии (%) от степени компенсации реактивной мощности при заданных выше параметрах.

Рис. 2. Зависимости потерь напряжения в линии от степени компенсации реактивной мощности.



С увеличением степени компенсации реактивной мощности, потери напряжения в линии уменьшаются. Причем при более низком $\cos(\varphi)$ происходит более значительное снижение потерь напряжения.

Выразим отклонение напряжения на зажимах электроприемников δU_H через отклонение напряжения на шинах потребительской ТП δU_w , потери напряжения в линии ΔU и надбавку напряжения в трансформаторе δU_A

$$\delta U_H = \delta U_w + \delta U_A - \Delta U \quad (11)$$

Подставив значение потерь напряжения в линии (10) в выражение (11), получим

$$\delta U_n = \delta U_w + \delta U_A - \frac{P \cdot R}{U_n^2} \cdot [1 + \operatorname{tg}^2(\varphi) \cdot (1 - C)]. \quad (12)$$

Проанализируем влияние степени компенсации реактивной мощности на значение δU_n , при различных δU_A , используя исходные данные, указанные выше, и задавшись $\cos(\varphi) = 0,7$, $\operatorname{tg}(\varphi) = 1$, $\delta U_w = +1\%$.

На рис. 3 представлены зависимости δU_n от C . Увеличение степени компенсации приводит к повышению напряжения на зажимах электроприемников. При $\delta U_A = +5\%$, отклонение напряжения (при заданных условиях) выходит за пределы допустимого значения. А это значит, что в данном случае увеличение степени компенсации до значения $C = 1$ не представляется возможным.

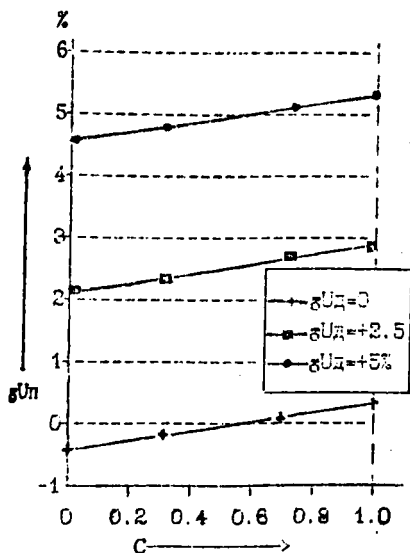


Рис. 3. Зависимости отклонения напряжения у потребителя от степени компенсации реактивной мощности при $\cos(\varphi) = 0,7$.

На рис. 4 представлены зависимости δU_n от C при различных значениях $\cos(\varphi)$ нагрузки сети. При увеличении значения коэффициента мощности в сети, отклонение напряжения у потре-

бителя может превышать нормируемое значение в зависимости от уровня компенсации реактивной мощности. Достичь минимальных потерь в сети можно манипуляцией надбавок трансформатора и величиной степени компенсации.

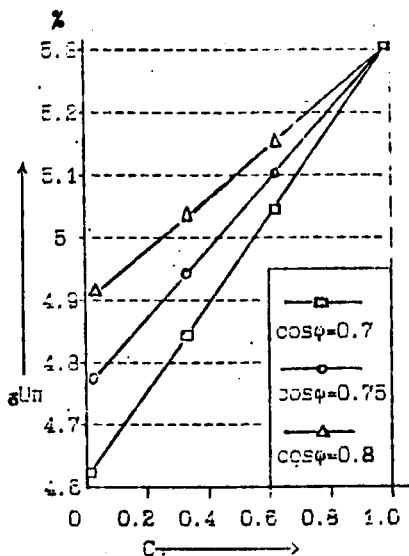


Рис. 4. Зависимости отклонения напряжения у потребителя от степени компенсации реактивной мощности при $\delta U_{\text{А}} = +5\%$.

Для решения данной задачи разработана программа для реализации на ПЭВМ алгоритма оптимизации.

Вывод. Разработанная методика позволяет производить выбор оптимальных параметров КУ и надбавок трансформаторов с учетом максимальной компенсации реактивной мощности и соблюдением технических требований нормальной работы сети и приемников. Она может быть использована при проектировании и эксплуатации сельских электрических сетей 0,38 кВ с потребительскими подстанциями, имеющими трансформаторы без РПН.

Л и т е р а т у р а

1. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах. - М.: Энергоиздат, 1981.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО АППАРАТА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ КОТЛОВОЙ ВОДЫ

Ультразвуковые колебания снижают интенсивность накипеобразования в котлах и других теплообменных аппаратах, разрушают слой ранее образовавшейся накипи, препятствуют зарастанию труб ферромагнитными отложениями, снижают динамические нагрузки на них [6]. При этом увеличивается теплоотдача греющих поверхностей за счет интенсификации отвода от них пузырьков газа, дегазации воды, перемешивания ее пристенного слоя. Происходит ультразвуковая пассивация металла, уменьшающая коррозию внутренних поверхностей котлов.

Рядом исследователей отмечается лучший противонакипный эффект при использовании магнитострикционных аппаратов с генераторами ударного действия. Они отличаются относительной простотой, так как не требуют поляризации магнитостриктора, синхронизации частоты его колебаний с частотой генератора. Структурная схема таких аппаратов содержит источник питания с напряжением U_1 , который через сопротивление R заряжает накопительный конденсатор емкостью C до конечного напряжения заряда U_3 , при достижении которого последний электронным ключом разряжается через обмотку магнитостриктора, представляющего собой катушку индуктивности L с сердечником. Под воздействием ударного электрического импульса магнитостриктор совершает затухающие колебания на резонансной частоте. Частота срабатываний электронного ключа f_y в различных конструкциях аппаратов колеблется от 5 до 50 Гц, а частота собственных колебаний магнитостриктора f_0 от 18 до 44 кГц.

Отсутствие аналитических зависимостей, устанавливающих взаимосвязь перечисленных параметров, затрудняет оптимизацию принципиальной схемы магнитострикционных аппаратов с генераторами ударного действия при их проектировании.

В силу особенностей схемы импульсного магнитострикционного аппарата для ультразвуковой обработки котловой воды оптимизация режимов его работы сводится к выбору следующих параметров: частоты резонансных колебаний магнитостриктора; частоты срабатываний электронного ключа и характеристик ударного импульса;

геометрических размеров магнитостриктора;

емкости накопительного конденсатора, числа витков обмотки возбуждения магнитостриктора и сопротивления цепи заряда накопительного конденсатора.

Исходя из известных соотношений [7], поглощение акустических колебаний в жидкости может быть описано выражением

$$A_x = A_0 e^{-\alpha' f^2 x} \quad (I)$$

где A_x - амплитуда упругих колебаний на расстоянии x от источника;

A_0 - амплитуда упругих колебаний в точке $x = 0$;

α' - коэффициент поглощения;

f - частота колебаний.

Анализ выражения (I) показывает, что оптимальная частота собственных колебаний магнитостриктора как источника ультразвуковых колебаний находится в нижней области рабочего диапазона, если на конструкцию магнитострикционного преобразователя не накладываются ограничения по габаритам и массе.

Для обоснования оптимальной частоты срабатываний электронного ключа, параметров электрического импульса и геометрических размеров магнитостриктора представим магнитострикционный излучатель как систему призматических стержней, соединенных по торцам жесткой перемычкой. Материал стержней однороден, изотропен и подчиняется закону Гука. Излучатель установлен на демпфирующем основании (стенке теплообменного аппарата), а свободный конец периодически получает ударный импульс, под воздействием которого он перемещается вдоль продольной оси на величину ΔL , так что $\Delta L / L = \lambda_m$, где L - длина стержня, а ΔL - магнитострикция, соответствующая максимальной магнитной индукции H .

стержнях. В магнитоотрикате происходят потери механической энергии колебательной системы за счет рассеяния в металле (потери гистерезисного типа) и передачи ее в демпфирующее основание (превращения в акустические волны).

Решение дифференциального уравнения продольных колебаний системы призматических стержней [3] позволяет описать закон изменения амплитуды свободных колебаний торца магнитоотрикате уравнением

$$A_{i+N} = A_i e^{-\delta N}, \quad (2)$$

где A_i - амплитуда колебаний в начале анализируемого периода;
 N - число колебаний за анализируемый период t ;
 δ - декремент колебаний.

Приняв за начало отсчета момент максимума силы тока в обмотке магнитоотрикате ($Ll = 0$) и учитывая, что $N = f_0 t$ (где f_0 - частота собственных колебаний магнитоотрикате), из уравнения (2) можно получить аналитическую зависимость для расчета амплитуды свободных колебаний магнитоотрикате через время t после его возбуждения

$$A_t = A_0 e^{-\delta t f_0} \quad (3)$$

$$\text{Так как } A_0 = 2 \lambda_m, \text{ то } A_t = 2 \lambda_m e^{-\delta t f_0} \quad (4)$$

Максимальная амплитуда соответствует первому полупериоду свободных колебаний магнитоотрикате ($t = 1/2 f_0$).

$$A_{\text{макс}} = 2 \lambda_m e^{-\delta \frac{1}{2} f_0} = 2 \lambda_m e^{-\frac{\delta}{2}}$$

Декремент колебаний δ представляет собой отношение энергии, рассеянной за один период, к удвоенной потенциальной энергии периода колебаний. В нашем случае он представляет собой сумму декрементов, выражающих потери гистерезисного типа в

материале магнитоотрицателя δ_r и энергию, передаваемую котлу по акустическому каналу δ_a , то есть

$$\delta = \delta_r + \delta_a \quad (5)$$

С учетом (5) обобщенная зависимость для определения амплитуды свободных колебаний магнитоотрицателя имеет вид

$$A_t = 2\lambda_m e^{-(\delta_r + \delta_a)t/f_0} \quad (6)$$

а для определения максимальной амплитуды

$$A_{\max} = 2\lambda_m e^{-\frac{\delta_r + \delta_a}{2}} \quad (7)$$

Разделив (7) на (6), получим

$$\frac{A_{\max}}{A_t} = \frac{e^{-\frac{\delta_r + \delta_a}{2}}}{e^{-(\delta_r + \delta_a)t/f_0}} \quad (8)$$

Прологарифмируем обе части выражения (8) и решим его относительно t

$$t = \frac{1}{f_0} \left(\frac{\ln \frac{A_{\max}}{A_t}}{\delta_r + \delta_a} + 0,5 \right) \quad (9)$$

Формула (9) позволяет определить время затухания свободных колебаний магнитоотрицателя в m раз ($m = A_{\max}/A_t$) при известных резонансной частоте f_0 и декременте ($\delta_r + \delta_a$), то есть

$$t_m = \frac{1}{f_0} \left(\frac{\ln m}{\delta_r + \delta_a} + 0,5 \right) \quad (10)$$

Исходя из энергетических соотношений декремента колебаний его акустическая составляющая может быть определена по акустическому КПД магнитоотрицателя η_{ma} . Согласно [1, 2]

$$\eta_{ma} = 0,6 \div 0,7$$

Тогда

$$\delta_a = \frac{\eta_{ма}}{2} = 0,30-0,35.$$

Гистерезисная составляющая декремента колебаний в ряде случаев не является постоянной величиной и зависит от уровня напряжений сжатия (растяжения) в стержнях магнитостриктора [6].

Анализ фактических значений декремента колебаний показывает, что в режиме рабочей нагрузки резонансная составляющая не оказывает существенного влияния на максимальную амплитуду колебаний магнитостриктора.

В режиме холостого хода ($\delta_a = 0$)

$$A_{\max} = (1,99-2,00) \lambda_m$$

В режиме нагрузки

$$A_{\max} = (1,67-1,72) \lambda_m$$

В магнитострикционных аппаратах ударного действия обычно отсутствует звено обратной связи. В этом случае для достижения максимального КПД необходимо соблюдение условия, при котором очередной электрический импульс поступает в обмотку возбуждения магнитостриктора после практически полного затухания колебаний от предыдущего импульса.

В этой связи рассмотрим затухание свободных колебаний излучателя.

Как следует из формулы (10), время затухания увеличивается с уменьшением частоты резонансных колебаний f_0 .

Исследуем наиболее неблагоприятный случай — интересующую нас нижнюю область частот ультразвуковой магнитострикции ($f_0 = 20$ кГц) в режиме холостого хода и рабочей нагрузки при $m = 20$ (затухание на 95%), $m = 50$ (затухание на 98%) и $m = 100$ (затухание на 99%).

Результаты расчетов представлены на рис. 1.

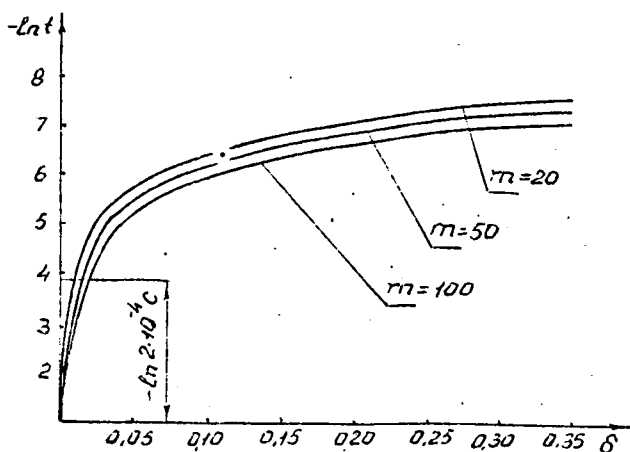


Рис. 1. Зависимость времени затухания свободных колебаний магнитостриктора до уровня 5% ($m = 20$); 2% ($m = 50$) и 1% ($m = 100$) от декремента колебаний при $f_0 = 20$ кГц

Анализ полученных результатов показывает, что практически полное затухание свободных колебаний магнитостриктора за время $t = 2 \cdot 10^{-2}$ с наблюдается при декрементах $\delta > 0,053 - 0,0012$. В режиме номинальной нагрузки затухание наступает за время $t = 6,8 \cdot 10^{-4}$ с. С учетом неизбежных потерь энергии на излучение в окружающую среду в режиме холостого хода можно утверждать, что высокие энергетические характеристики магнитострикторов ударного действия могут быть достигнуты при частоте ударных импульсов $f_{y0} = 50$ Гц.

С точки зрения максимального использования мощности питающего генератора и кинетической энергии магнитостриктора ударный импульс должен удовлетворять двум условиям.

Во-первых, его длительность должна быть достаточной для полного проникновения магнитного поля в тело магнитостриктора.

Во-вторых, импульс не должен воздействовать на магнитостриктор в противофазе, то есть во время его обратного хода при уменьшении напряженности магнитного поля.

Из литературы [5] известна формула для определения минимальной продолжительности импульса, при которой весь объем ферромагнитного тела пронизывается магнитным полем

$$\Delta t = 6,4 \cdot 10^{-12} \frac{\sigma}{H} B D^2 \quad (II)$$

где σ - удельная проводимость ферромагнитного материала;

B - индукция в ферромагнитном материале;

H - напряженность магнитного поля;

D - эффективный диаметр ферромагнитного элемента.

Рассмотрим предельный случай при $D = D_{\text{макс}}$. Известно [1], что во избежание поперечных резонансных колебаний максимальный размер поперечного сечения магнитоотриктора должен удовлетворять условию

$$D_{\text{макс}} < \frac{V}{2f_m}, \quad (12)$$

где V - скорость звука в материале магнитоотриктора;

f_m - частота колебаний магнитоотриктора.

Подставив (12) в (II), получим

$$\Delta t_{\text{мин}} = 6,4 \cdot 10^{-12} \frac{\sigma B}{H} \left(\frac{V}{2f_m} \right)^2 \quad (13)$$

Анализ входящих в формулу (13) величин показывает, что $\Delta t_{\text{мин}}$ для различных магнитоотрикторных материалов имеет одинаковый порядок. Исследуем минимальную длительность импульса на примере широко применяемого в магнитоотрикторах никеля при $B = 0,63$ Тс и $H = 9 \cdot 10^3$ А/м. Скорость продольных волн $V = 7,46 \cdot 10^3$ м/с, удельная проводимость - $1,4 \cdot 10^7$ Ом⁻¹·м⁻¹.

Решение уравнения (13) при заданных значениях параметров показывает, что в диапазоне частот $f_m = 18-45$ кГц минимальная длительность импульса составляет

$$\Delta t_{\text{мин}} = (1,1 \cdot 10^{-10} - 1,8 \cdot 10^{-11}) \text{ с.}$$

Очевидно, что ударный импульс не будет воздействовать на магнитоотриктор в противофазе при отсутствии подмагничивания в том случае, если его максимальная длительность не превышает полупериода собственных колебаний, то есть

$$\Delta t_{\text{макс}} = \frac{1}{2f_0} \quad (14)$$

Исходя из выполненного анализа можно утверждать, что длительность ударного импульса ограничена значениями $\Delta t_{\text{мин}}$ и $\Delta t_{\text{макс}}$, определяемыми по формулам (13) и (14). Поэтому при аппаратурной реализации целесообразно соблюдать условие

$$\Delta t_{\text{опт}} \rightarrow \Delta t_{\text{макс}}$$

При этом длина магнитостриктора

$$L_M = 0,25 \left[\sqrt{a^2 + \left(\frac{2\alpha V_n}{f_0} \right)^2} - a \right], \quad (15)$$

где α - ширина пакета магнитостриктора;

V_n - скорость продольных волн в материале стержня магнитостриктора;

f_0 - требуемая резонансная частота продольных колебаний магнитостриктора;

α - поправочный коэффициент на скорость продольных волн (при $f_0 \leq 25$ кГц $\alpha = 1,10$; при $25 < f_0 < 50$ кГц $\alpha = 1,21$).

Мощность импульса при условии полного заряда и разряда накопительного конденсатора определяется его емкостью C и напряжением питания U_n .

Средняя мощность, отдаваемая конденсатором магнитостриктору, определяется частотой срабатывания управляющего ключа f_y

$$W_{CP} = f_y \frac{CU_n^2}{2} \quad (16)$$

при условии, что

$$\bar{T}_P \leq \frac{1}{f_y},$$

где \bar{T}_P - время разряда конденсатора.

Цепочка конденсатор-магнитостриктор представляет собой колебательный контур, собственная частота колебаний которого определяется из выражения

$$f_k = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

где L - индуктивность магнитостриктора.

Под воздействием этих колебаний магнитостриктор совершает вынужденные колебания с периодом T_0 , причем $T_0 = 0,5 T_k$, где $T_k = 1/f_k$.

Очевидно, что для работы аппарата в ударном режиме необходимо, чтобы импульс тока был однополярным, что может быть достигнуто выбором времени срабатывания ключа и гашением обратной полуволны тока за счёт энергии магнитного поля магнитостриктора. При этих условиях после подачи в обмотку возбуждения импульса тока магнитостриктор собирает собственные колебания на резонансной частоте с периодом T_0 .

Из энергетических соображений приемлемым является условие $f_k \geq f_0$ ($T_k \leq T_0$), а оптимальным - равенство резонансных частот колебательного контура и механической системы магнитостриктора.

Исходя из этих соображений допустимое соотношение параметров колебательного контура определяется из выражения

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \geq f_0,$$

откуда

$$L \leq \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C} \quad (17)$$

Рассмотрим магнитостриктор как катушку с сердечником, индуктивность которой

$$L = \frac{B_m S n^2}{H_m l_{cp}} = \mu_0 \frac{S n^2}{l_{cp}}, \quad (18)$$

где B_m - магнитная индукция при напряженности магнитного поля H_m ;

n - суммарное число витков обмоток магнитостриктора;

μ_0 - абсолютная магнитная проницаемость материала магнитостриктора;

l_{cp} - средняя длина магнитопровода.

Из соотношения (18)

$$n = \sqrt{\frac{L H_m L_{cp}}{B_m S}}$$

Подставив L из (17) в (18), получим

$$n \leq \frac{1}{2\pi f_0} \sqrt{\frac{H_m L_{cp}}{B_m C S}} \quad (19)$$

$$n \leq \frac{1}{2\pi f_0} \sqrt{\frac{L_{cp}}{\mu_0 C S}} \quad (20)$$

Магнитная проницаемость является величиной переменной и зависит от напряженности магнитного поля. В формуле для расчета количества витков обмотки магнитостриктора следует принимать среднее (эффективное) значение магнитной проницаемости. В соответствии с законом полного тока сила тока в обмотке

$$I = \frac{H_m L_{cp}}{n}$$

Максимальная сила тока

$$I_{макс} = \frac{H_{макс} L_{cp}}{n} \quad (21)$$

Поскольку сила тока в обмотке изменяется по синусоиде, ее текущее значение

$$i = I_{макс} \sin(2\pi f_0 t)$$

В пределах полуволны гармонических колебаний силы тока в контуре ее среднее значение в импульсе

$$I_{ср.имп} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} i dt \approx 0,637 I_{макс} \quad (22)$$

Поскольку схема работает в импульсном режиме с длительностью импульса $1/f_0$ и периодом повторения $1/f_y$ (где f_y - частота срабатывания управляющего ключа), то расчетная сила тока в обмотке магнитостриктора

$$I_{расч} = \frac{I_{ср.имп} f_k}{f_0} = \frac{0,637 I_{макс} f_k}{f_0} \quad (23)$$

Подставив значение I_{\max} из (21) в (23), получим

$$I_{\text{расч}} = \frac{0,637 H_{\text{расч}} L_{\text{ср}} f_y}{f_0 R} \quad (24)$$

Волновое сопротивление контура

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (25)$$

Подставив L из (17) в (25), получим при условии $f_k = f_0$, что

$$Z_0 = \frac{1}{2\pi f_0 C} \quad (26)$$

Так как максимальное напряжение в контуре равно U_n , то с учетом (21)

$$U_n = I_{\max} Z_0 = \frac{H_{\max} L_{\text{ср}}}{2\pi f_0 C R} \quad (27)$$

Из зависимости переходного процесса в RC -цепи при заряде конденсатора

$$U_c = U_n - U_n e^{-t/\tau} \quad (28)$$

найдем величину сопротивления R , при котором конденсатор зарядится до напряжения $U_c = k U_n$ за время $t = 1/f_y - 1/f_0$, где f_y - частота следования ударных импульсов, имея в виду, что постоянная времени $\tau = RC$.

Подставив в уравнение (28) значения U_c , t и τ и решив его относительно R , получим формулу для расчета сопротивления в цепи заряда, при котором накопительный конденсатор зарядится за период между ударными импульсами до уровня $k U_n$:

$$R = \frac{\frac{1}{f_y} - \frac{1}{f_0}}{C \ln \frac{1}{1-k}} \quad (29)$$

При $f_y = 50$ Гц; $f_0 = 22$ кГц и $\kappa = 0,9$

$$P = \frac{I}{1,15 \cdot 10^{-4} C}, \quad (30)$$

где C — величина накопительной емкости в микрофарадах.

Оптимальным режимом работы аппарата для ультразвуковой обработки котловой воды является импульсный, с частотой следования ударных импульсов 50 Гц и частотой собственных колебаний магнитострикционного преобразователя 18–22 кГц. Длительность ударного импульса не должна превышать половину периода собственных колебаний магнитостриктора. Приведенные в статье аналитические зависимости позволяют выполнить расчет магнитострикционного аппарата с генератором ударного действия.

Л и т е р а т у р а

1. Гершал Д.А., Фридман В.М. Ультразвуковая технологическая аппаратура. — М.: Энергия, 1976.
2. Донской А.В., Келлер О.К., Кратыш Г.С. Ультразвуковые электротехнологические установки. — Л.: Энергоиздат, 1982.
3. Писаренко Г.С., Матвеев В.В., Яковлев А.П. Методы определения характеристик демпфирования колебаний упругих систем. — Киев: Наукова думка, 1976.
4. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Справочник. — Киев: Наукова думка, 1971.
5. Преображенский А.П. Магнитные материалы и элементы. — М.: Высшая школа, 1976.
6. Тебенихин Е.Ф. Безреагентные методы обработки воды в энергоустановках. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
7. Ультразвуковая технология /Под ред. Б.Н.Агранта. — М.: Металлургия, 1974.

С.С.Ходыко, Н.П.Малашенко, Э.П.Сорокин, кандидаты технических наук;

В.М.Колончук, инженер

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ОВЦЕВОДСТВА

Овцеводство в Беларуси исторически развивалось и являлось существенным подспорьем в питании, одежде и лечении людей. Овца является неприхотливым животным, у которого существенно выше выход продукции на единицу корма, чем у других животных. Поэтому в последнее время у населения поголовье овец возросло более чем в три раза. В то же время в государственном секторе наблюдается резкое сокращение и даже ликвидация поголовья овец. Проведенные исследования показали на субъективный характер причин снижения поголовья овец в колхозах и совхозах. Процесс ликвидации поголовья в государственном секторе не является естественным, неизбежным и необратимым. Все дело в формах ведения овцеводства, заинтересованности получения прибыли и ответственности за принимаемые решения. Другие государства смогли развить овцеводство и заполнить рынок товарами и оборудованием.

Одним из самых трудоемких процессов в овцеводстве является стрижка овец, проводимая в строго сжатые зоотехнические сроки, ибо непродолжительные по времени задержки приводят к невосполнимым потерям шерсти. Низкая надежность и работоспособность выпускаемого оборудования для стрижки овец влечет за собой дополнительные трудовые ресурсы в период напряженных сельскохозяйственных работ и повышенное энергопотребление. По данным машиноиспытательных станций, специализирующихся на испытаниях стригального оборудования, продолжительность отыскания и устранения отказов составляет от 76,7 % до 6,4 % чистой работы в результате потери работоспособности. Наблюдается превышение сверх допустимых норм температуры и вибрации. Превышение допустимых норм температуры корпуса приводит к ожогу овцы и руки

стригалия. Вибрация больших амплитуд, но малых частот может вызвать смещение отдельных органов, а вибрация малых амплитуд, но больших частот действует преимущественно на нервные окончания и является причиной возникновения вибрационной болезни, что требует дополнительных затрат на излечение от профзаболеваний.

Существенно снизить расход топливно-энергетических ресурсов при стрижке овец и уменьшить или ликвидировать эти недостатки за счет совершенствования конструктивных параметров основного рабочего инструмента стригалия – стригальной машинки, способов и средств ее технического обслуживания и ремонта. На основании проведенных исследований разработаны два основных направления снижения ТЭР.

Первое направление – совершенствование конструктивных параметров.

1. Для уменьшения опасных сечений деталей и исключения статической неопределимости механизма привода и размыкания ножа с гребенкой, что приводит к заземлению шерсти или травмированию окружающих, предложены различные варианты дополнительной установки упругого элемента (рис. 1). В данном случае уменьшаются допускаемые перегрузки электродвигателя по мощности. Существующие конструкции увеличивают мощности привода на 6 % и более, а это приводит к значительным перегрузкам и выходу из строя электропривода, так как при повторно-кратковременном режиме работы существующий электропривод допускает перегрузки до 50 % 5 .

Существующий диапазон изменения усилий прижима ножа к гребенке и конструктивное оформление деталей передаточного механизма приводят к недостаточно высокому запасу прочности упругого элемента, определяемого по формуле 1 .

$$\frac{1}{\lambda_2} = \frac{\tau_{\text{mix}}}{2\tau_l} \left[5 + \varepsilon + \frac{2\tau_0}{\tau_l} - 1 \right] \cdot (1 - \varepsilon),$$

где λ_2 – запас прочности пружины;

τ_{mix} – максимальное напряжение кручения;

τ_l – предел прочности материала при сдвиге;

τ_0 – касательные напряжения;

ε – коэффициент, характеризующий цикл изменения напряжений.

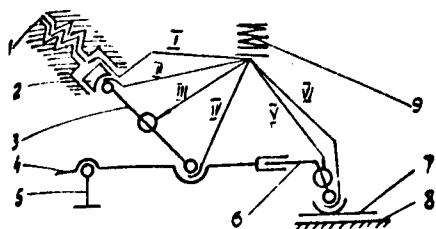
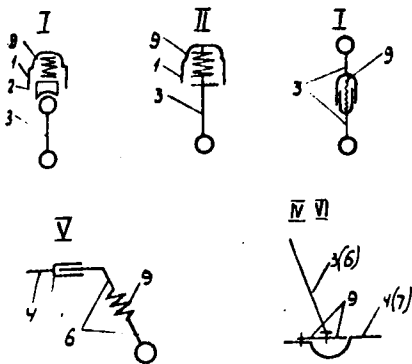


Рис. I. Кинематические схемы исключения статической неопределенности механизма привода и замыкания ножа с гребенкой:

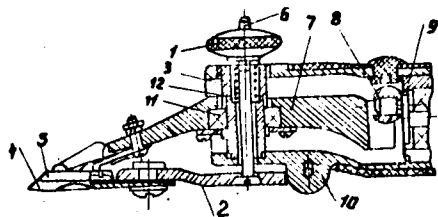
I - регулировочная гайка; 2 - нажимной патрон; 3 - укороченный стержень; 4 - рычаг; 5 - центр качания; 6 - нажимные лапки; 7 - нож; 8 - гребенка; 9 - упругий элемент.



Более рациональной является конструкция передаточного механизма с установкой неподвижно в вертикальной плоскости рычага на опоре трения качения, а регулирование нагрузки на режущую пару осуществляется неподвижной системой посредством прижима гребенки к ножу (рис. 2).

Рис. 2. Совершенствование механизма регулирования нагрузки на режущую пару:

I - регулировочная гайка; 2 - нажимная пластина; 3 - упругий элемент; 4 - гребенка; 5 - нож; 6 - винт;



7 - рычаг; 8 - ролик; 9 - кривошип; 10 - корпус; 11 - подшипник; 12 - втулка.

2. Стабилизация скорости движения ножа и уменьшение времени его холостого хода в одном из крайних положений достигается конструкцией передаточного механизма (рис. 3) с дополнительной парой некруглого зацепления, характеризующегося нелинейной зависимостью между углами поворота ведущего и ведомого звеньев, то есть передачи с мгновенным переменным передаточным отношением скорости i .

$$i_{12} = \frac{\omega_{\text{ведущ}}}{\omega_{\text{ведом}}} = \frac{1}{f'(\varphi_1)},$$

где i_{12} - передаточное отношение;
 ω ведущ, ω ведом - угловые скорости ведущего и ведомого звеньев;
 $f'(\varphi_1)$ - функция передаточного числа ведущей шестерни.

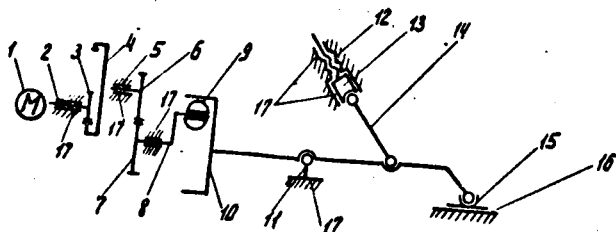


Рис. 3. Кинематическая схема стригальной машинки с дополнительной парой некруглого зацепления:

1 - электродвигатель; 2, 5, 17 - корпус; 3 - вал-шестерня; 4 - шестерня внутреннего зацепления; 5, 7 - ведущая и ведомая некруглые шестерни; 8 - кривошип; 9 - ролик; 10 - рычаг; 11 - центр качания; 12 - регулировочная гайка; 13 - нажимной патрон; 14 - упорный стержень; 15 - нож; 16 - гребенка.

Зубчатая пара некруглого зацепления устанавливается таким образом, что в одном из крайних положений ножа ведущая шестерня большой полуосью соприкасается с малой полуосью ведомого колеса.

3. Для снижения величины опрокидывающего момента рычага рекомендуется установить кривошип в плоскости его движения (рис. 4). Это позволит уменьшить динамическую нагрузку и износ опорных поверхностей.

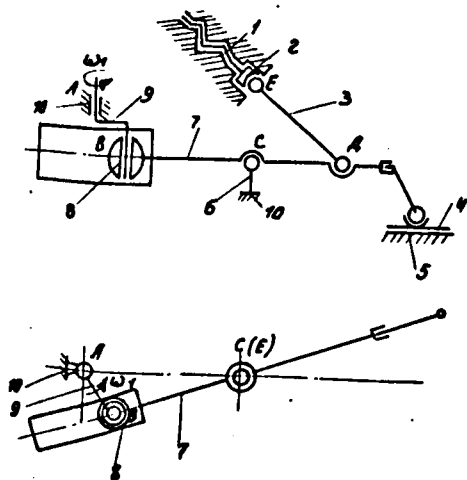


Рис. 4. Кинематическая схема исключения опрокидывающего момента рычага:

- 1 - регулировочная гайка;
- 2 - нажимной патрон;
- 3 - упорный стержень;
- 4 - нож;
- 5 - гребенка;
- 6 - центр качания;
- 7 - рычаг;
- 8 - ролик;
- 9 - кривошип;
- 10 - корпус.

4. Гироскопический момент ролика определяется выражением 3

$$M_{гир} = \frac{I}{60} \cdot \frac{\gamma}{g_{гир}} \cdot d_{ср}^4 \cdot \omega_0^2 \cdot D' \cdot \sin \varphi_p,$$

- где
- γ - плотность материала ролика;
 - $g_{гир}$ - гравитационная константа;
 - $d_{ср}$ и D' - средний и наружный диаметры окружностей контакта ролика;
 - ω - угловая скорость центра тяжести ролика;
 - φ_p - угол наклона оси вращения ролика по отношению к оси кривошипа.

Ролик должен быть выполнен с эллипсообразной рабочей поверхностью, большая полуось которого расположена вдоль цилиндрического паза хвостовика рычага, что уменьшит естественный износ рабочих поверхностей ролик-рычаг-кривошип.

5. Для повышения электробезопасности обслуживающего персонала и времени использования источника питания разработан принципиально новый пневмопривод для стригальных машинок (рис. Он имеет на противоположном ношу плече рычага камеру и соосно внутри ее пневмокамеру с тангенциальными отверстиями для приводимым сжатым воздухом шариков, количество которых не должно превышать половины объема камеры. Так как устойчивость рычага, установленного на опоре трения качения не одинакова в осевом и радиальном направлениях, то он под действием центробежной силы шариков совершает возвратно-качательные движения относительно оси его качания. Требуемая частота вращения шариков обеспечивается как давлением воздуха, так и количеством тангенциальных отверстий, а также расходом воздуха, определяемым величиной зазора между стенками камеры.

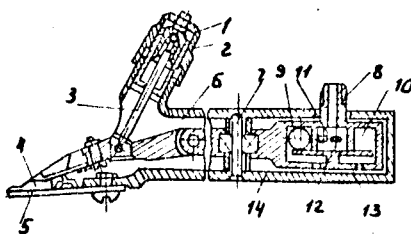


Рис.5. Стригальная машинка с пневмоприводом:

1 - регулировочная гайка; 2 - нажимной патрон; 3 - упорный стержень; 4 - нож; 5 - гребенка; 6 - рычаг; 7 - ось вращения; 8 - штуцер; 9 - шарик; 10 - камера; 11 - пневмокамера; 12 - отверстие тангенциальное; 13 - отверстие для выхода отработанного воздуха.

Второе направление – совершенствование способов и средств технического обслуживания и ремонта.

Существенное влияние на расход топливно-энергетических ресурсов оказывает работоспособность стригальных машинок, поддерживаемая обслуживающим персоналом за счет качественного и своевременного технического обслуживания.

I. Диагностирование технического состояния

Информацию о техническом состоянии любого устройства можно получить по параметрам рабочих процессов объектов диагностирования.

До настоящего времени техническое состояние стригальных машинок определяется по шуму, что зависит от индивидуальных способностей обслуживающего персонала, и с помощью разборочно-монтажных, дефектовочных и сборочно-регулирующих операций. В последнем случае требуются соответствующие оборудование с оснасткой и материалами, энергоресурсы и трудоемкость. Практический интерес представляет разработанное устройство для безразборного диагностирования технического состояния стригальных машинок. За параметр рабочего процесса взята неподвижность ножа в одном из крайних положений при перемене направления движения, как обладающая диагностическим признаком. Математическим ее выражением является угол мертвого хода 4 .

$$\theta = \arccos \frac{l_2 - l_3}{l_2} ,$$

где l_2 и l_3 – величины кривошипа и зазора в кинематической цепи, "кривошип-ролик-цилиндрический паз хвостовика рычага".

Устройство состоит из основания I (рис. 6), с двух сторон которого установлены в крайнем положении опоры 3 ножа инструмента, закрепленные на осях 2 кулачков с рукоятками 4 для крепления инструмента за гребенку; стержня 5 с рукояткой для жесткого соединения его с валом инструмента; указателя 6, жестко закрепленного на стержне 5, и измерительной шкалы 7, выполненной съемной и имеющей отверстие для свободного размещения в ней

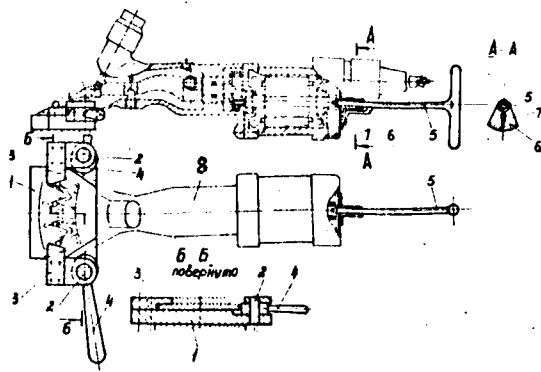


Рис. 6. Схема устройства для безразборного диагностирования технического состояния ручного электромеханизированного инструмента для стрижки овец:

1 - основание; 2 - ось; 3 - упор ножа; 4 - кулачок с рукояткой; 5 - стержень; 6 - указатель; 7 - шкала; 8 - ручной электромеханизированный инструмент для стрижки животных.

стержня. Шкала выполнена из магнитного материала для крепления ее к металлическому корпусу инструмента. Стержень 5 изготавливается из диэлектрического материала. Шкала имеет градуировку в процентном снижении работоспособности инструмента.

Устройство работает следующим образом: в стригальной машинке посредством приводного вала ее нож устанавливается в крайнее положение на основание 1 таким образом, что нож соприкасается с упором 3 и посредством кулачков с рукоятками 4, установленных на осях 2, закрепляется за гребенку. С торцевой стороны электродвигателя машинка относительно ее приводного вала снабжена шкалой 7 симметрично торцу электродвигателя таким образом, что бы ее отверстие совпадало с прорезью приводного вала. В прорезь приводного вала устанавливается стержень 5 с жестко закрепленным на нем указателем 6. За рукоятку стержень 5 поворачивается до упора в одну сторону. Совмещается нулевое деление шкалы 7 с указателем 6. Затем стержень 5 поворачивается в обратную сторону до упора и указатель 6 укажет на шкале 7 искомую величину, которая сравнивается с допустимой. Допустимое значение искомой величины имеет специальную отметку на шкале.

Применение устройства повышает производительность труда при техническом обслуживании аналогичного класса машин. Использование его как экспресс-метода выходного контроля на заводе-изготовителе и входного контроля у потребителя расширяет область использования.

2. Заточка режущих пар.

В сезон стрижки овец одни стригали остригают одной режущей парой большое количество овец без ее переточки. Другие - наоборот, причем, различие в обоих случаях существенно. Анализ работы стригального пункта показал, что одним из основных факторов, влияющих на производительность стригалей является заточка режущих пар (ножей и гребенок). У малоквалифицированных заточников в процессе заточки наблюдается пережег и неравномерная по ширине режущей пары заточка. Пережег режущей пары, из-за превышения допустимого на ее усилия ($12 \cdot 10^4$ Н/м² для ножа и $25 \cdot 10^4$ Н/м² для гребенки) и времени заточки (15-20 с для ножа и 20-25 с для гребенки) ведет к потере твердости и последующему выходу из строя. Неравномерная по ширине режущей пары заточка затрудняет равномерный прижим ножа к гребенке. Это приводит, с одной стороны, к заземлению шерсти, а с другой стороны - к заклиниванию механизма.

До сих пор режущие пары машинок для стрижки животных затачиваются на точильных аппаратах ТА-1 и ДАС-350 с торцевой рабочей поверхностью вращающегося обрабатываемого инструмента. Аппараты укомплектованы держателем режущей пары, подвешенном на стойке при помощи тяги. В устройстве отсутствует фиксированная нагрузка на режущую пару и она зависит от опыта заточника.

Анализ формулы удельных сил трения скольжения применительно к заточке режущих пар на существующем оборудовании имеет вид

$$A_i = -q \cdot f_{\text{тр}} \cdot v_i \cdot t = -q \cdot f_{\text{тр}} \cdot \omega \cdot l_i \cdot t,$$

где A_i - работа удельных сил трения скольжения в i -й точке ширины режущей пары;

- q - удельная распределенная нагрузка;
- $f_{тр}$ - коэффициент трения скольжения режущей пары о заточной диск;
- V_i - линейная скорость вращения заточного диска в i -й точке ширины режущей пары;
- ω - угловая скорость вращения заточного диска;
- l_i - расстояние от центра вращения заточного диска до i -й точки ширины режущей пары;
- t - время заточки.

Неравномерная по ширине заточка снижает продолжительность эксплуатации режущей пары и создает предпосылки статической неопределенности стригальной машинки.

Исследования показали, что для качественной заточки необходимо держатель режущей пары снабдить динамометрической рукояткой для создания требуемого усилия прижима, а точку приложения усилия смещать из центра ширины режущей пары в сторону вращения центра заточного диска на величину

$$x = \frac{q \cdot l^2}{2R + l};$$

- где l - ширина режущей пары (ножа или гребенки);
- R - расстояние от центра вращения заточного диска до начала ширины режущей пары.

Разработан экспериментальный образец держателя режущих пар (рис. 7), который имеет динамометрическую рукоятку с отметкой пределов усилий прижима ножа и гребенки к заточному диску и штифты для установки ножа или гребенки, взаимосвязанные с противоположных сторон маховичками. Один маховичок имеет ось, входящую в соответствующее для ножа и гребенки гнездо замка.

При заточке режущих пар на заточных аппаратах ТА-1 и ДАС-350 наблюдается повышенный расход наждачной пасты из-за ее разбрызгивания в плоскости вращения заточного диска. Исследовано снижение расхода наждачной пасты и предложена оптимальная конфигурация экрана 4 (рис. 8), позволяющая собирать разбрызгиваемую пасту и транспортировать ее в корыто 2 заточного аппарата под действием силы тяжести.

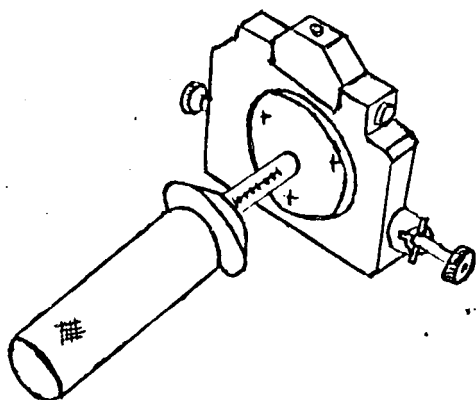


Рис.7. Общий вид держателя для заточки режущих пар машинок для стрижки животных.

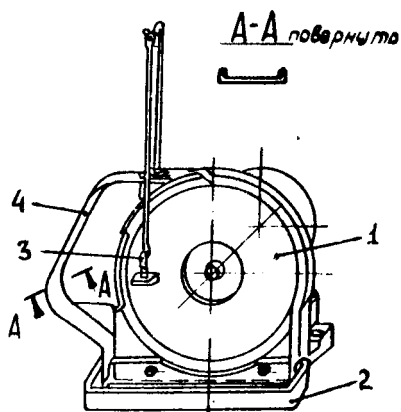


Рис.8. Общий вид устройства для заточки режущих пар:
1 - заточной диск; 2 - корыто; 3 - режущая пара (нож); 4 - защитный экран.

Использование данных разработок в производстве повысит производительность труда, снизит себестоимость стрижки шерсти при значительном повышении культуры производства и экологического состояния (табл. I).

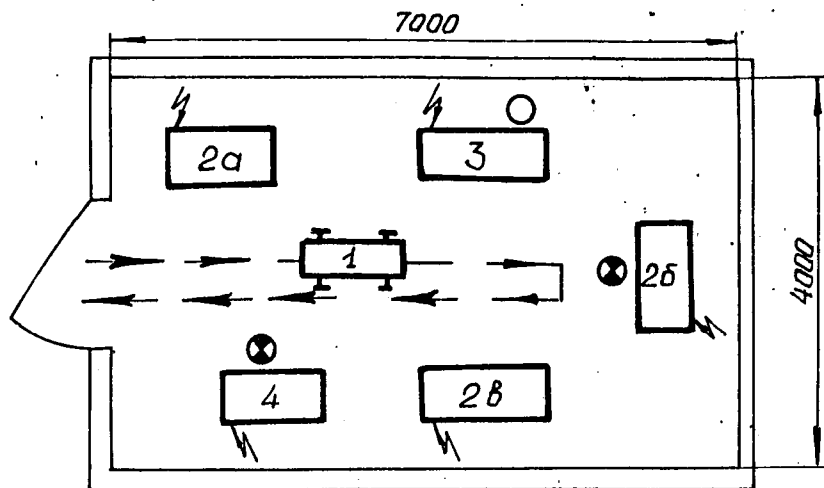
Таблица I
Технико-экономические показатели стрижки овец

Показатели	Единица измерения	Численные значения оборудования		
		существующее	предлагаемое	экономия
1. Количество остриженных овец	гол.	3000	3000	-
2. Количество стригалей	чел.	6	6	-
3. Продолжительность смены	ч	10	10	-
4. Номинальная мощность привода стригальной машинки	кВт	0,115	0,115	-
5. Производительность стригалы	гол/ч	8,5	10,6	2,1
6. Потери шерстной сечки на:	кг			
голову		0,025	0,018	0,007
стадо		75,0	54,0	21,0
7. Расход электроэнергии на:	кВт.ч			
одну стригальную машинку за сезон стрижки		1,67-1,86	0,9-1,18	0,77-0,68
стригальный агрегат ЭСА-12/200 за сезон		20,04-22,32	10,8-14,16	9,24-8,16
8. Расход электроэнергии на определение технического состояния	кВт.ч			
одной стригальной машинки		0,97-1,45	0,0-0,1	0,97-1,35
стригального агрегата ЭСА-12/200		11,64-17,40	0,0-1,2	11,64-16,20

3. Оборудование для ремонта.

Для ремонта стригальных машинок на специализированном участке разработан технологический процесс и необходимое оборудование. Технологическая планировка участка приведена на рис. 9 с примерной годовой программой 6000-12000 стригальных машинок на производственных площадях ремпредприятий.

В зависимости от годового объема работ количество единиц оборудования участка может меняться в соответствии с технологическим циклом.



Условные обозначения





-  - совмещение технологических операций;
-  - подвод электроэнергии;
-  - подвод воды;
-  - направление технологического процесса.

Рис.9. Технологическая планировка участка по ремонту стригальных машинок на производственных площадях ремонтных предприятий:

1 - стеллаж передвижной ОРГ-9140; 2 - стенд универсальный ОР-9135; 2а - стенд для разборки; 2б - стенд для дефектации деталей и заточки режущих пар; 2в - стенд для сборки; 3 - установка для мойки деталей ОМ-9101; 4 - стенд для обкатки стригальных машинок КИ-9139.

В зависимости от годового объема работ количество единиц оборудования участка может меняться в соответствии с технологическим циклом.

Стеллаж передвижной ОРГ-9140 предназначен для транспортировки и временного хранения стригальных машинок. Загружается на складе ремонтного фонда и транспортируется вручную на участок, где выполняются их техническое обслуживание и текущий ремонт с последующей транспортировкой на склад готовой продукции.

Стенд универсальный ОР-9135 служит для разборки и сборки стригальных машинок, дефектации деталей и заточки режущих пар.

Установка ОМ-9101 предназначена для мойки деталей, может использоваться для консервации стригальных машинок.

На стенде КИ-9139 обкатывают одновременно три стригальных машинки МСУ-200.

Некоторое оборудование участка может использоваться в овцеводческих хозяйствах, а передвижной стеллаж и универсальный стенд в соответствующей комплектации - и для других ремонтно-технологических или сборочных работ на предприятиях-изготовителях оборудования.

Комплект данного оборудования используется в ремонтно-обслуживающих предприятиях АПК России, Казахстана, Туркмении, Кыргызстана, Болгарии и Монголии.

Совершенствование конструктивных параметров, способов и средств технического обслуживания и ремонта включает использование упругого элемента для прижатия прижима режущих пар, стабилизацию скорости движения ножа и уменьшение продолжительности его холостого хода, снижение величины опрокидывающего момента ролика и использование принципиально нового пневмопривода, а также использование технических средств диагностирования технического состояния и определения работоспособности стригальных машинок, технических приспособлений (устройств) для заточки ее режущих пар и технических устройств и оборудования для ремонта (очистки, обкатки, разборки и сборки) и хранения снижает общее энергопотребление на 0,97-1,35 кВт.ч на одну стригальную машинку или на 11,64-16,20 кВт.ч на стригальный агрегат типа ЭСА-12/200.

Внедрение предлагаемых разработок в производство позволит удовлетворить потребности внутреннего рынка энергосберегающим оборудованием и быть источником валютных поступлений от экспорта способов, средств и разработанных при этом научных идей.

Л и т е р а т у р а

1. Борисов С.И. Теория механизмов и деталей точных приборов. - М.: Машиностроение, 1966.
2. Литвин Ф.Л. Некруглые зубчатые колеса. Проектирование, теория зацепления и производство. 2-е изд., перераб. и доп. - М-Л: Машгиз, 1956.
3. Орлов П.И. Основы конструирования. Справ.-метод. пособие ТЗ - М.: Машиностроение, 1977.
4. Проников А.С. Надежность машин. - М.: Машиностроение, 1978.

УДК 637.125

Н.С.Шерчук, кандидат технических наук;

В.И.Курниенко, инженер

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДОКОЛЬЦЕВЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Институтом проведены исследования по обоснованию параметров и изысканию способов повышения надежности вакуумных насосов агрегатов индивидуального доения коров. Использовался водокольцевой насос, разработанный БелНИИагроэнерго и изготовленный Кобринским ремонтным заводом. Испытания проводились по специально разработанной программе и методике.

При работе в водокольцевой насос постоянно подается холодная вода, выполняющая различные функции:

отвод теплоты сжатого воздуха;

пополнение жидкостного кольца, из которого часть жидкости постоянно уходит вместе с сжатым газом через нагнетательное отверстие;

уплотнение торцевых зазоров между вращающимся рабочим колесом и крышками насоса;

охлаждение и смазка внутренней части сальника.

Расход воды для образования жидкостного кольца и охлаждения сальников зависит от:

- размеров нагнетательного отверстия;
- давления, под которым подается вода в насос;
- способа подачи воды в насос.

Из проведенных исследований следует, что с увеличением нагнетательного отверстия расход воды увеличивается. Объясняется это тем, что с увеличением нагнетательного отверстия увеличивается количество протекающего воздуха, а, следовательно, вместе с воздухом уносится и большее количество воды в нагнетательный патрубок.

С увеличением давления поступающей воды расход ее увеличивается. Объясняется тем, что вакуумный насос во время работы потребляет определенное количество воды для пополнения жидкостного кольца, излишнее же количество воды он выбрасывает в нагнетательный трубопровод.

Если в родокольцевой насос воды подается меньше, чем необходимо для пополнения жидкостного кольца, то производительность насоса и вакуум начинают падать и насос перестает работать. Если же в вакуумный насос подавать большее количество воды и под повышенным давлением, то вакуумный насос начинает работать рычками, периодически выбрасывая отдельными порциями большее количество воды.

Для регулирования количества подаваемой воды была предусмотрена установка в штуцере сменных жиклеров с диаметром сечения 2,5; 4,0; 5,6 и 8,0 мм. Был определен расход воды через жиклеры при подаче ее самотеком и под вакуумом 47 кПа. Результаты исследований (рис. 1) показывают, что расход при вакууме в 2 раза больше и составляет, например, для жиклеров 5,6 и 8,0 мм соответственно 5,8 и 6,6 л/мин.

Существенное значение на работу насоса оказывает способ подачи воды. Заложенный в конструкции испытываемого насоса способ самовсасывания отрицательно сказывался на работе насоса, так как из-за незначительного объема воздухоотделителя при увеличении подачи вода не возвращалась обратно в бак, а уносилась вместе с воздухом.

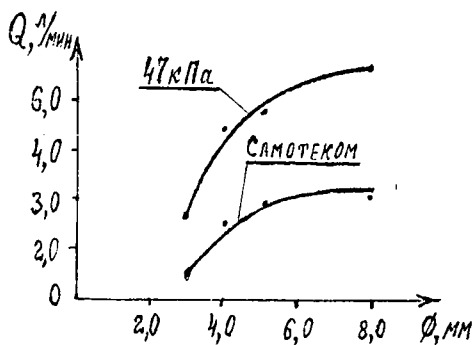


Рис. 1. Зависимость расхода воды от диаметра сменных жиклеров при подаче ее самотеком и под вакуумом.

Способ подачи воды из бабка, установленного на высоте 2 м, устранил недостатки способа самовсасывания, однако требовал для реализации наличия двух шлангов и крана, которым необходимо управлять во избежание полного заполнения корпуса водой и ее воздействия на датчик вакуумметра, вследствие малого сечения нагнетательного отверстия.

Эти способы подачи воды имеют один существенный недостаток, а именно: свежая вода, подающаяся в насос для образования жидкостного кольца, пополняет его внизу. Внизу насоса жидкостное кольцо уже теряет частично энергию и при пополнении его свежей водой оно еще больше теряет энергию, которая должна идти на сжатие газа. Рациональнее подавать воду для пополнения жидкостного кольца сверху вакуумного насоса со стороны нагнетания в точку, которая находится на радиусе, проведенном через наивысшую точку нагнетательного отверстия.

При таком способе жидкостное кольцо пополняется сверху свежей водой и при выходе из ячеек ротора все частицы воды получают запас кинетической энергии от лопаток ротора, которая идет на сжатие газа. Место подачи воды для образования жидкостного кольца оказывает большое влияние на работу вакуумного насоса и должно быть конструктивно решено.

Характеристика водокольцевого насоса, снятая при разных расходах воды (рис. 2), показывает, что при вакууме 47 кПа наивысшая производительность и устойчивая работа достигались при использовании жиклера диаметром отверстия 5,6 и 8,0 мм при подаче воды под давлением 19 кПа. При использовании жиклеров диаметром 2,5 и 4,0 мм производительность уменьшилась на 40 и 15 % соответственно, однако при подаче воды самовсасыванием процесс был нестабильным, происходило выбрасывание воды из воздухоотделителя из-за его незначительного объема и малых проходных сечений нагнетательной магистрали.

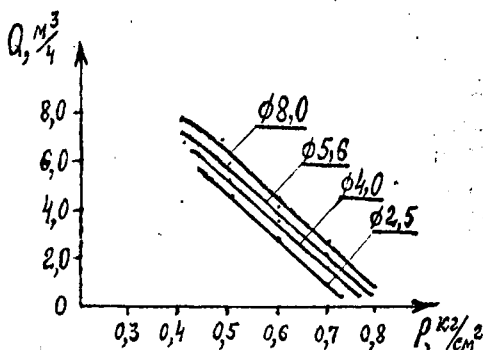


Рис. 2. Характеристики водокольцевого насоса при разных расходах воды.

Обработка данных испытаний зависимости температуры охлаждающей воды от времени работы водокольцевого насоса (рис. 3) показывает, что в конце первого часа работы средняя температура воды была равна $40,7^\circ\text{C}$ при первоначальной $- 20^\circ\text{C}$. С увеличением вакуума в магистрали температура воды повышается, при этом скорость нарастания температуры в течение всего времени работы не одинакова. Данный характер изменения температуры объясняется тем, что при меньшей величине вакуума через насос прокачивается большее количество воздуха, который охлаждает рабочие органы насоса.

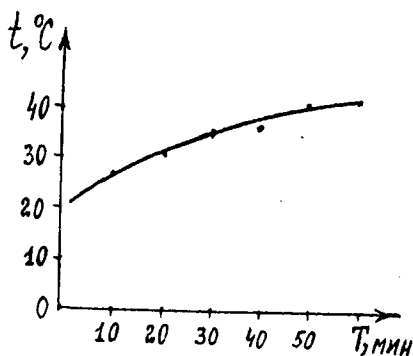


Рис. 3. Зависимость температуры воды от времени работы насоса.

Во время работы водокольцевого насоса (продолжительность доения 1,5–2,0 ч) температура воды изменяется, а значит изменяется и производительность.

Анализ зависимости производительности от температуры охлаждающей воды при разных ее расходах (рис. 4) показывает, что если принять производительность водокольцевого насоса в начале работы за 100 % при соответствующей величине вакуума в магистрали, то с течением времени его работы за счет уменьшения коэффициента стеснения, производительность насоса в конце первого часа работы уменьшается на 8–10 %. Уменьшение производительности не оказывает существенного влияния на режим работы доильного аппарата, так как водокольцевой насос спроектирован с определенным запасом производительности.

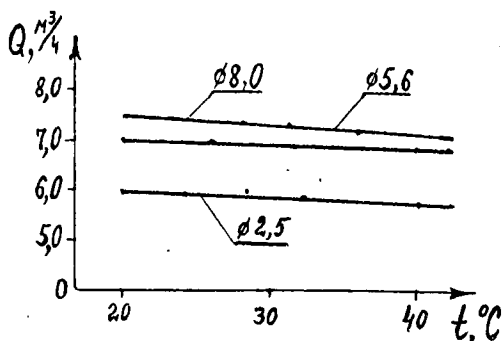


Рис. 4. Зависимость производительности водокольцевого насоса от температуры охлаждающей воды.

Для поддержания рабочей величины вакуума на протяжении всего времени работы доильной установки необходимо, чтобы количество воздуха, которое проходит через вакуумрегулятор в единицу времени было большим по сравнению с величиной снижения производительности вакуумного насоса за счет нагрева охлаждающей воды.

По данным испытаний при уменьшении величины вакуума в магистрали с 47 до 37 кПа, то есть изменение вакуума на 10 % вызывает изменение числа пульсаций при доении аппаратом АДУ-1 с 70 до 63 пульсаций в минуту или на 9 %.

Во время доения величина вакуума в магистрали может изменяться еще в больших границах, а значит изменяться и число пульсаций доильного аппарата, что отрицательно влияет на молокоотдачу.

Водокольцевые насосы могут быть использованы в качестве вакуумной системы агрегатов индивидуального доения коров. При использовании одного доильного ведра производительность насоса должна составлять 5-6 м³/ч, а при комплектации с двумя ведрами - 10-12 м³/ч. При диаметре ротора насоса 200 мм его длина равна соответственно 20 и 30 мм.

УДК 697.329:662.997

В.И.Русан, доктор технических наук;

В.Ф.Селицкий, кандидат технических наук;

В.П.Василевич, кандидат технических наук (консорциум "АУМ")

ПОТЕНЦИАЛ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В АПК

Из всех нетрадиционных возобновляемых источников энергии самым крупным потенциалом обладает солнечная энергия.

Основными элементами, характеризующими солнечный режим территории, являются: прямое солнечное излучение, полный поток солнечного излучения и радиационный баланс земной поверхности. Полный поток солнечного излучения, поступающий на горизонтальную поверхность - важнейшая природная составляющая радиационного баланса. Величина полного потока при ясном небе зависит от высоты солнца над горизонтом и физического состояния атмосферного воздуха.

Солнечный режим Беларуси целесообразно рассмотреть на основании многолетних наблюдений Минской метеостанции. В Минске в декабре и январе солнечное излучение поступает в течение 8 ч и 10 ч в феврале. Летом день почти вдвое увеличивается и в июне поступление суммарной радиации на земную поверхность продолжается около 18 ч (с 3 до 21 ч). В зависимости от высоты солнца интенсивность радиации увеличивается от восхода к полудню и уменьшается к заходу. Средние часовые суммы постепенно растут, достигая максимума в околополуденные часы, а затем начинают убывать. В июне максимум равен $3,17 \text{ МДж/м}^2$ ($1 \text{ МДж/м}^2 = 0,28 \text{ кВт.ч}$), а в декабре — всего $0,71 \text{ МДж/м}^2$. Дополуденная суммарная радиация при безоблачном небе несколько превосходит послеполуденную, так как во второй половине дня возрастают влагосодержание и запыленность атмосферы. Средние суточные суммы за каждый месяц изменяются от $29,83 \text{ МДж/м}^2$ в июне и до $3,31 \text{ МДж/м}^2$ в декабре.

Большое влияние на суточный ход суммарной радиации оказывает облачность (табл. I). Поступление потока солнечного излучения к земной поверхности при средней облачности начинается и заканчивается в те же часы, что и при ясном небе. Максимумы средних часовых величин суммарного потока совпадают с максимальной высотой Солнца и изменяются от $0,30 \text{ МДж/м}^2$ в декабре и до $2,21 \text{ МДж/м}^2$ в июне. В холодное полугодие дополуденный полный поток несколько меньше послеполуденного. Это объясняется тем, что зимой в первой половине дня большая вероятность сплошной облачности и туманов. В теплое полугодие наблюдается обратное явление: послеполуденная суммарная радиация значительно меньше, так как во второй половине дня обычно формируется кучевая облачность. Средние суточные величины суммарной радиации при ясном небе большие, чем при средних условиях облачности летом примерно на 50 %, а в зимний период — на 100 %.

Суточный ход абсолютных максимумов часовых сумм радиации повторяет ход средних значений. Наибольшая величина абсолютного максимума радиации для Минска ($3,83 \text{ МДж/м}^2$) приходится на 12–13 ч в мае, когда в воздухе меньше продуктов конденсации. Летом возрастают запыленность и влагосодержание воздуха, что уменьшает интенсивность радиации. Значение месячной суммы суммарной радиации в процессе ее годового расхода резко возрастает от февраля к марту, что объясняется быстрым увеличением высоты Солнца, продолжительности дня и уменьшением плотной об-

Таблица I

Средние часовые и суточные суммы суммарной радиации при средней облачности, МДж/м²

Истинное солнечное время, ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
3-4					0,00	0,02	0,00					
4-5					0,07	0,16	0,11					
5-6			0,00	0,08	0,31	0,47	0,37		0,02			
6-7		0,00	0,07	0,33	0,63	0,85	0,74		0,16	0,02		
7-8	0,00	0,06	0,34	0,68	1,09	1,27	1,16		0,47	0,46	0,01	
8-9	0,07	0,25	0,67	1,05	1,51	1,69	1,53		0,64	0,71	0,31	0,01
9-10	0,21	0,50	1,00	1,36	1,81	1,99	1,84		1,22	1,30	0,54	0,08
10-11	0,36	0,70	1,23	1,59	1,98	2,13	2,02		1,56	1,63	0,71	0,19
11-12	0,46	0,82	1,36	1,63	2,06	2,21	2,04		1,79	1,83	0,81	0,31
12-13	0,47	0,83	1,36	1,59	1,99	2,15	2,01		1,81	1,89	0,80	0,38
13-14	0,48	0,82	1,23	1,47	1,86	2,02	1,91		1,85	1,92	0,71	0,39
14-15	0,47	0,83	1,23	1,47	1,86	2,02	1,91		1,85	1,92	0,71	0,32
15-16	0,46	0,82	1,11	1,31	1,71	1,86	1,75		1,81	1,87	0,64	0,24
16-17	0,45	0,81	0,99	1,27	1,63	1,77	1,65		1,75	1,81	0,54	0,13
17-18	0,44	0,80	0,88	1,17	1,51	1,64	1,52		1,65	1,71	0,46	0,07
18-19	0,43	0,79	0,78	1,07	1,40	1,52	1,40		1,55	1,61	0,38	0,03
19-20	0,42	0,78	0,68	0,97	1,34	1,45	1,33		1,41	1,47	0,30	
20-21	0,41	0,77	0,59	0,88	1,27	1,37	1,25		1,31	1,37	0,22	
до полудня	1,10	2,33	4,67	6,72	9,51	10,79	9,81		7,91	5,31	2,48	0,64
после полудня	1,14	2,41	4,71	6,35	8,78	10,00	9,22		7,51	5,19	2,51	0,70
за сутки	2,24	4,74	9,38	13,07	18,29	20,79	19,03		15,42	10,50	4,99	1,34

лачности. По этой причине на май, июнь, июль приходится почти 50 % годовой величины суммарной радиации, в то время как на ноябрь, декабрь и январь - менее 5 % (см. табл. I). Соотношение прямой и рассеянной радиации в общем количестве суммарной радиации непостоянно в течение года, почти все месяцы прямая радиация меньше, чем рассеянная. Особенно велика эта разница в зимний период, так как доля рассеянной радиации возрастет с уменьшением высоты Солнца над горизонтом и увеличением облачности. Только с мая по июнь поступление прямой радиации несколько больше, чем рассеянной.

Используя данные табл. 2, оценим минимальный годовой солнечный потенциал Беларуси (для самых неблагоприятных погодных условий). Суммируя месячные суммы суммарной радиации получаем $2648 \text{ МДж/м}^2 = 735,5 \text{ кВт.ч/м}^2$. Оценивая годовую потребность

Таблица 2

Средние и экстремальные месячные суммы суммарной радиации, МДж/м^2

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Минимум	41	95	190	269	456	489	381	380	194	99	32	22
Среднее значение	69	133	291	392	567	624	590	478	315	155	59	42
Максимум	86	195	414	550	663	760	728	595	400	226	86	56

Беларуси в электроэнергии в 50 млрд. кВт.ч и принимая КПД фотоэлектрического преобразования, равным 10 %, получаем требуемую площадь фотопреобразователя - 680 км². Иногда утверждают, что КПД солнечных элементов составляет менее половины КПД автономных станций или теплосиловых станций. Это неадекватное сравнение с точки зрения политической стратегии по отношению к источникам энергии. КПД теплосиловых станций, равный 38 %, означает, что впустую затрачено 62 % дорогостоящей нефти, а энергетические потери приводят к экологическим нарушениям в природе. С другой стороны, КПД фотопреобразователей солнечной энергии, составляющий даже 10 %, указывает на эффективное использование бесплатной солнечной энергии, которая в ином случае пропадала бы без пользы. Например, размещение солнечных батарей на крышах домов предотвращает выделение во внешнюю среду избыточного тепла и способствует установлению теплового баланса на данном участке местности.

В настоящее время разрабатывается фотоэлектрическая установка для электропитания водоподъемника мощностью до 2 кВт удаленных объектов колхозов и совхозов и фермерских хозяйств агропромышленного комплекса, которая также может быть использована для электроснабжения бытовой техники и производственных целей.

Установка сохраняет работоспособность после воздействия:

- солнечного излучения с удельной энергетической мощностью не менее 1125 Вт/м^2 , в том числе плотностью потока ультрафиолетовой части спектра (длин волн 280-400 нм) - 68 Вт/м^2 ;
- дождя интенсивностью 5 мм/мин.

Кроме этого установка сохраняет работоспособность при воздействии ветра со скоростью до 150 км/ч.

В состав установки входит: рама, фундамент, модульные фотопреобразователи, инвертор напряжения, шкаф электрооборудования.

Место, выбранное для размещения установки, должно быть открыто для доступа прямого солнечного света в течение светлого времени суток. На модульный фотопреобразователь не должна падать тень в течение светлого времени суток от деревьев или отдельно стоящих зданий, сооружений и предметов.

КПД солнечных батарей, выпускаемых промышленностью Германии, США, Японии и других стран, составляет 11-15 %, экспериментальные образцы достигают КПД 28 % при теоретически возможном 31 %. Эффективность может быть существенно повышена за счет концентрации солнечной энергии.

Формирование рынка систем солнечной энергии в Беларуси сдерживается в достаточной степени отсутствием демонстрационных проектов. Первая демонстрация фирмой "Полеан" электропастухов для колхозов в период 1993-1994 годов привлекла большое количество заказчиков и продемонстрировала перспективность систем солнечной энергетики.

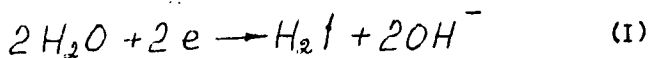
Производственный и научный потенциал РБ и СНГ позволяет в самое короткое время без существенных капиталовложений создать демонстрационные проекты следующих систем:

- электропастухов со сроком эксплуатации не менее 20 лет;
- маломощных систем для питания переносной радиоаппаратуры на постоянное напряжение 4,5; 6; 9; 12 и 24 В;
- солнечных электростанций с мощностью по переменному току от 500 до 3000 Вт, включающих солнечные и аккумуляторные батареи, контроллеры подзарядки и инверторы для автономного электропитания.

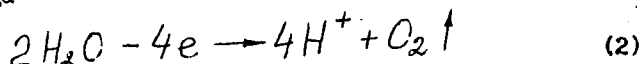
ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ МОЩЕГО И ДЕЗИНФИЦИРУЮЩЕГО РАСТВОРОВ

Электрохимическая обработка водных солевых растворов, к которым относится и обыкновенная водопроводная вода, неизбежно содержащая растворенные соли, обнаруженные при электролизе, протекающем в диафрагменном электролизере. В сосуде между анодом и катодом помещена пористая диэлектрическая диафрагма, препятствующая перемешиванию порций раствора, обрабатываемых в зоне анода и в зоне катода.

Переход электронов через межфазную границу "электрод-электролит" сопровождается электрохимическими реакциями, среди которых основной является разложение воды. На катоде протекает реакция восстановления воды с выделением водорода

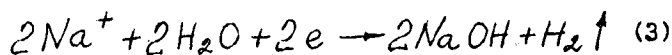


На аноде протекает реакция окисления воды с выделением кислорода



Минимальное напряжение, необходимое для разложения воды, — 1,23 В.

Если в воде, подвергающейся униполярной (в отделенных одна от другой анодной и катодной зонах) электрохимической обработке, растворить хлориды щелочных металлов (NaCl , KCl), то у катода образуются гидроксиды NaOH и KOH , то есть ионы OH^- образуют вблизи катода с ионами Na^+ и K^+ щелочи NaOH и KOH

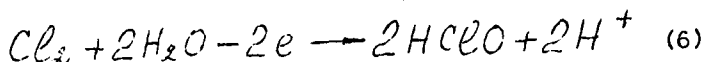


Растворимые гидроксиды щелочных металлов обуславливают низкую концентрацию в катодите ионов водорода, то есть высокое значение pH.

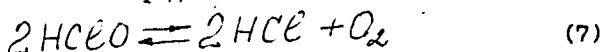
На поверхности анода наряду с окислением воды в хлоридных растворах происходит выделение газообразного хлора



Выделяющийся хлор частично растворяется в воде с образованием хлорноватистой и соляной кислот



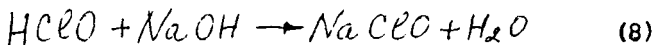
Хлорноватистая кислота существует только в растворе. В нейтральной или щелочной среде на свету происходит ее разложение с выделением кислорода



Таким образом, в катодной камере электролизера катодит приобретает щелочные свойства, имея способность к эмульгированию жира, разрыхлению и растворению белков, обладая тем самым, свойствами мощных растворов. В анодной камере анолит приобретает ярко выраженные кислотные и окислительные свойства и обладает обеззараживающим действием.

Реакционная окислительная или восстановительная способность продуктов анодных или катодных реакций увеличивается с изменением концентрации ионов водорода, соответственно, с уменьшением pH анолита или увеличением pH католита. Задача экспериментального исследования будет состоять в определении рациональных численных значений pH анолита и католита, при которых достигается требуемый эффект от мойки и дезинфекции доильного оборудования. А эти значения в первую очередь зависят от концентрации хлоридов щелочных металлов в исходном растворе, заправленном в электролизер.

Следует заметить, что при значительных перетоках анолита или католита через диафрагму в процессе электрохимической обработки происходит уменьшение их окислительной (восстановительной) активности. Также перетекание сопровождается образованием гипохлоритов металлов, например, гипохлорита натрия



Реакция (8) является результирующей для процессов синтеза гипохлоритов в бездиафрагменном электролизере, когда все количество щелочи, образующейся у катода, поступает к аноду. Задача достаточного разделения электродных продуктов (анолита и католита) является довольно сложной потому, что щелочные (у катода) и кислые (у анода) растворы стремятся диффундировать один к другому. Поэтому физико-химические и фильтрационные свойства диафрагмы играют важную роль при получении анолита и католита, так как способны существенно изменить их активность при всех равных условиях электрохимической обработки: удельной затрате количества электричества, исходной минерализации раствора и других параметрах.

УДК 631.371:621.311

С.А.Марченко, кандидат технических наук;

В.О.Скробков, П.В.Карабанюк, В.Г.Шахрай, инженеры

К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В условиях новых экономических отношений возникла потребность в разработке системы энергооборудования сельскохозяйственного производства, ориентированного на ресурсосбережение [3, 7].

Нами проведен анализ энергетического оборудования, используемого в сельском хозяйстве [1, 2, 4, 6, 8, 9, 10, 11].

Сельскохозяйственное производство — крупный потребитель тепловой и электрической энергии, которая используется для технологических целей, отопления и освещения помещений. В колхозах и совхозах эксплуатируется 23170 паровых огневых установок и 34250 электродеталей и водонагревателей. Значительная часть эксплуатируемых котлов морально и физически устарели, 1343 котла эксплуатируется 20 и более лет.

В настоящее время НПП "Белкотломаш", фирмой "Экотерм", Теплоэнергопромом разработаны и выпускаются более экономичные котлы [2, 10].

В электроприводах сельскохозяйственного назначения эксплуатируется около 1,3 млн. электродвигателей серии 4А общей установленной мощностью 6200 тыс. кВт.

Освоен выпуск электродвигателей серии АИ. Они по сравнению с двигателями 4А облегчены на 19 %, а КПД их выше на 1 %.

Электротепловые установки не полностью отвечают требованиям сельскохозяйственного производства. Например, электроводонагреватели БЭТ и УАП емкостью 400, 800, 1600 л не могут применяться в системах автопоения животных в связи с их непригодностью для работы в замкнутых циркуляционных системах и не позволяют получать горячую воду в строгой зависимости от технологического процесса, отсутствует возможность регулирования расхода нагретой воды на выходе из водонагревателя.

В последние годы широкое применение для производства технологического пара на фермах получили электропарогенераторы типов ЭЭП и КЭПР на 25-400 кВт, которые по сравнению с топливными паронагревателями имеют более высокий КПД, обеспечивают лучшие санитарно-гигиенические условия, уменьшают загрязненность окружающей среды [4, 10, 11]. Однако эти установки не имеют совершенной системы управления, что приводит к излишнему расходу электроэнергии и затрат труда на обслуживание.

Оборудование для обеспечения микроклимата, используемое в хозяйствах республики, имеет ряд недостатков и требует совершенствования (повышение КПД и надежности, снижение металлоемкости и энергоемкости).

Перспективным является применение электротеплового оборудования для создания оптимального микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях.

Широкое применение наиболее прогрессивных, надежных и пожаробезопасных в эксплуатации электротепловых установок позволит полностью автоматизировать процессы создания надлежащего микроклимата в помещениях, сократить обслуживающий персонал и обеспечить строгое поддержание нормативных параметров воздушной среды в помещениях и тем самым гарантировать высокую продуктивность животных и птиц.

Важнейшими условиями достижения запланированных экономических и социальных результатов от внедрения новой системы энергооборудования являются полная ее реализация, улучшение качества изготовления и надежности техники, комплексная поставка машин и оборудования потребителям, совершенствование организации труда и управления производством.

При разработке и обосновании перспективной системы энергооборудования решаются следующие задачи:

подбор существующего и обоснование нового энергетического оборудования и установок, позволяющих значительно сократить энергоемкость сельскохозяйственной продукции;

выявление энергоемких технологических процессов и их ликвидация на основе комплексной электромеханизации и автоматизации;

повышение непрерывности производства на основе внедрения новой технологии и применения комплектов энергетического оборудования и установок;

переход производства на использование оборудования и установок более высокого технического уровня на основе модернизации существующих устаревших технических средств более прогрессивными;

обоснование оборудования и установок для использования нетрадиционных источников энергии.

Разработка системы энергооборудования для сельскохозяйственного производства, а тем более ее реализация представляет весьма сложную в методическом и организационном отношении задачу, которую можно подразделить на несколько стадий:

методическое обеспечение процесса создания и реализации системы;

разработка (пересмотр) системы;

подготовка и реализация системы;

проведение НИР для ОКР и ПТР;

разработка конструкторской и технологической документации;

подготовка и освоение производства технических средств;

поставка и эксплуатация технических средств;

накопление предложений по совершенствованию системы.

Система энергооборудования состоит из введения и основных разделов.

В эксплуатируемых системах обеспечения оптимального микроклимата не предусмотрена очистка воздуха. Отработанный вентиляционный воздух выбрасывается в атмосферу и загрязняет окружающую среду. Это приводит к огромному материальному ущербу, так как загрязнение окружающей среды часто является причиной эпидемических заболеваний животных и птицы, что вызывает снижение их продуктивности и увеличение отхода. Защита окружающей среды от загрязнения отходами животноводства имеет огромное социальное значение.

Серьезными недостатками вентиляционных систем, используемых в хозяйствах республики, являются довольно высокие энергозатраты на процесс создания микроклимата в помещениях для содержания животных и птицы. Вместе с тем огромное количество тепла, удаляемого из помещения с отработанным вентиляционным воздухом, практически не используется.

Разработаны и освоено производство комплектов теплоутилизационного оборудования "Климат-ЗМУ", установок вентиляционных УТ-Д-12 с утилизацией тепла, которые рекомендуются для использования на фермах и комплексах.

В БелНИИагроэнерго разработано устройство управления вентиляцией птичников по избыточному давлению воздуха в помещениях. Одной из составных частей, которой является микропроцессорный терморегулятор и универсальный таймер.

Источники освещения представлены (80 %) малоэффективными лампами накаливания. РМЛ "Белсельхозэнерго" и БелНИИагроэнерго разработаны и внедряются высокоэкономичные светильники.

Анализ показал, что недостаточная фондо- и энерговооруженность труда, высокая энергоемкость сельскохозяйственной продукции вызвана отсутствием научно обоснованной системы энергооборудования.

Создание системы энергооборудования агропромышленного комплекса является весомым вкладом в ресурсосбережение. Производство и поставка техники в соответствии с системой энергооборудования позволят сократить издержки производства сельскохозяйственной продукции.

Система энергооборудования представляет собой комплекс функционально сопряженных по технико-экономическим параметрам,

времени и эффективности технических средств, необходимых для осуществления определенных технологических процессов и выработки заданного количества и качества продукции с минимальными затратами труда и средств.

В основу предлагаемой системы энергооборудования для сельскохозяйственного производства положены: Концепция развития энергетики АПК Республики Беларусь до 2010 года [3], Программа энергосбережения в АПК Республики Беларусь до 2010 года [7] и др.

Перспективная система энергооборудования сформулирована на принципах системного подхода, позволяющего учитывать вопросы организации производства отдельно по линейным подразделениям и стационарным базам этих подразделений, вопросы технологии производства, разработка и освоение новых технических средств [5]. Составные части этой системы связаны между собой по организационным, функциональным, производственным, технологическим и другим признакам.

В систему входят не только уже созданные конструкции и новые образцы, соответствующие высшему мировому техническому уровню, но также машины и оборудование, которые еще предстоит разработать и внедрить в производство. Система разрабатывается на основе прогрессивных технологий. По каждому техническому средству задаются основные параметры, обеспечивающие его высокую эффективность.

В настоящее время системы машин строятся по иерархическому принципу. Предусматривается последовательный переход от высших подсистем к подсистемам более низкого уровня и, наконец, элементам. Системы машин разрабатываются на 10 лет с последующим периодическим пересмотром каждые 5 лет с учетом новейших научно-технических достижений и социально-экономических задач очередного этапа развития народного хозяйства, отрасли, подотрасли [5].

Формирование перспективной системы энергооборудования не подменяет разработку целевых, комплексных и других научно-технических программ, а служит основой для планирования НИОКР на очередной пятилетний период и составления мероприятий по внедрению новой техники в производство.

Во введении дана актуальность, назначение, состав и структура системы и ее состояние с производством, основные направления технологической политики в подотрасли, ожидаемые результаты от реализации и другая информация.

Каждый раздел системы формируется в виде самостоятельной части, включающей основные направления НТП в конкретном производстве и перечень оборудования для производства данных видов продукции или работ.

Основные направления НТП по разделам энергооборудования, установок оформляются в виде текстового материала, отражающего состояние, пути и тенденции развития технологии, энерго- и электрооборудования в подотрасли, количественный и качественный состав оборудования по подразделу, ожидаемый экономический эффект от реализации подсистемы.

Перечень энерго- и электрооборудования по каждому разделу системы представляется в табличной форме, где пригодятся: шифр, наименование, марка (ГОСТ, ОСТ, ТУ), назначение, основные параметры и состояние с производством изделия, а также завод-изготовитель или разработчик (табл. I).

Таблица I

Шифр	Наименование технического средства	Марка, стандарт, ТУ	Назначение	Основные параметры	Состояние с производством	Завод-изготовитель
------	------------------------------------	---------------------	------------	--------------------	---------------------------	--------------------

Обозначение (шифр) технических средств осуществляется в системе в виде трех групп цифр, где первая группа цифр обозначает номер раздела, вторая - подраздела и третья - порядковый номер изделия в подразделе и приводится только один раз. Если для выполнения конкретного процесса используется энергооборудование, приведенное в предыдущих разделах и подразделах, то их шифры даются в примечании к данному подразделу.

Марка, ГОСТ, ОСТ, ТУ по выпускаемым и разработанным изделиям записываются в графе 3 в полном объеме по каждому оборудованию. Для нового оборудования ставится прочерк. В графе 4 приводится перечень основных видов работ, выполняемых оборудованием. В графе 5 представляются основные параметры: производительность, мощность, габариты, масса и др.

Состояние с производством (графа 6) показывается по всем видам энергооборудования на дату утверждения системы в виде следующих индексов:

П – технические средства, находящиеся в производстве и отвечающие по своим производственным характеристикам современным технологическим, техническим и другим требованиям;

Н – новые машины, намечаемые к конструктивной разработке и внедрению в производство, для создания которых выполнены экспериментально-теоретические исследования и разработаны проекты исходных требований, а по некоторым из них утверждены исходные требования и разработаны технические задания на проектирование и изготовление производственных образцов;

М и З – машины и установки, находящиеся в производстве, но подлежащие модернизации или замене новыми;

Р – машины и установки, прошедшие производственную проверку, государственные испытания и рекомендованные к производству;

И – технические средства, находящиеся на государственных испытаниях и, по предварительным результатам испытаний, отвечающие требованиям сельскохозяйственного производства.

Перспективная система энергооборудования включает около 750 наименований оборудования, оснастки и изделий, из которых 340 находятся на производстве, 280 подлежат освоению и 130 являются новыми.

Внедрение перспективной системы энергооборудования позволит снизить энергоемкость и металлоемкость сельскохозяйственной продукции в I, I-1,2 раза, сократить эксплуатационные издержки на 5-10 %, прямые затраты труда в I,2-I,3 раза.

Л и т е р а т у р а

1. Каталог: Продукция предприятий Республиканского концерна "Белагромаш". – Мн.: Концерн "Белагромаш", 1995.
2. Каталог промышленной продукции жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь. – Мн.: Минкомунмаш РБ, 1993.
3. Концепция развития энергетики агропромышленного комплекса Республики Беларусь до 1995 года на период до 2010 года. – Мн.: Академия аграрных наук РБ, 1993.

4. Машины и оборудование для цехов и предприятий малой мощности по переработке сырья: Каталог ч. I. Разд. I-4. - М.: Информагротех., 1991.
5. Методические указания по разработке общесоюзных систем оборудования для перерабатывающих отраслей АПК на 1996-2005 годы. - М.: ГОСНИТИ, 1990.
6. Номенклатурный каталог НКСХ - 90. Электрооборудование, выпускаемое электротехнической промышленностью и рекомендуемое для применения в сельском хозяйстве. - М.: Информэлектро, 1990.
7. Программа энергосбережения в агропромышленном комплексе Республики Беларусь до 2000 года. - Мн.: Академия аграрных наук РБ, 1993.
8. Сельская энергетика Республики Беларусь. Проспект-каталог. Под ред. А.К.Сигаева. - Мн.: ПО "Белагропромэнерго", 1995.
9. Табель оснащённости машинами и оборудованием предприятий "Сельхозэнерго" и хозяйств /ВНИИПТИМЭСХ, Мн.: Колос, 1984.
10. Электротехническая и энергетическая продукция объединений и предприятий ПО "Белагропромэнерго", Каталог, - Мн.: ПО "Белагропромэнерго", 1992.
11. Электротехническая продукция для агропромышленного производства. - М.: НИИэлектропривод, 1991.

УДК 637.125.002

Н.П.Малашенко, С.С.Ходыко, кандидаты технических наук;

В.М.Колончук, инженер

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЙКИ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ ДОИЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Задача интенсификации технологического процесса очистки сосковой резины доильных аппаратов существующих доильных установок решена при исследовании и разработке моечной машины путем улучшения кинематических параметров ее рабочего органа.

Институтом разработан технологический процесс с использованием установки для мойки сосковой резины доильных аппаратов и их деталей на участке техобслуживания станции технического обслуживания Логойской райагропромтехники, который заключается в следующем: заполняются ванны моющим раствором, в сетчатые каркасы укладываются изделия, подлежащие очистке или при необходимости расконсервации, сетчатые каркасы устанавливаются на платформы моющих секций машины и крепятся на них пружинными прижимами.

Техническая характеристика машины приведена в табл. I

Таблица I

Техническая характеристика

Наименование показателя и единицы измерений	Значение
Масса, кг	320
Продолжительность мойки, ч, не более	0,25
Продолжительность ополаскивания, ч, не более	0,01
Температура моющего раствора, °C	60±5

Принцип работы моечной машины заключается в использовании безреверсивного изменяющегося по направлению и времени движения рабочего органа, позволяющего интенсифицировать технологический процесс, снизив в 1,5 раза расход электроэнергии.

С целью улучшения технических показателей и кинематических параметров рабочего органа установки для очистки сосковой резины были установлены уровни варьирования температуры моющего раствора - 60 ± 5 °C; концентрация раствора - 5-20 г/л; средняя скорость движения изделий - 0,2-2,4 м/с; уровень раствора в секциях машины - 300-450 мм; продолжительность очистки - 300-900 с и угловая скорость кривошипа - 50-60 с⁻¹.

Установлено, что коэффициент полноты очистки (отношение количества смытых в машине загрязнений к их общему первоначальному количеству до очистки) равен единице по истечении 0,17 ч и 0,68 по истечении 0,06 ч.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОЮЩЕГО И ДЕЗИНФИЦИРУЮЩЕГО РАСТВОРОВ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Проведенные некоторыми авторами [1, 2] исследования показали, что в результате обработки в диафрагменном электролизере водных растворов солей слабой концентрации получится анолит и католит, обладающие моющими и дезинфицирующими свойствами, которые с успехом могут заменить применяемые в настоящее время на молочных фермах экологически вредные моющие и дезинфицирующие средства.

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению основных параметров электролизера, концентрации соли в растворе, а также моюще-дезинфицирующих свойств анолита и католита.

Исследования проводились на экспериментальной установке, позволяющей проводить активацию постоянным током водных растворов солей различной концентрации. Принципиальная схема установки показана на рис. 1.

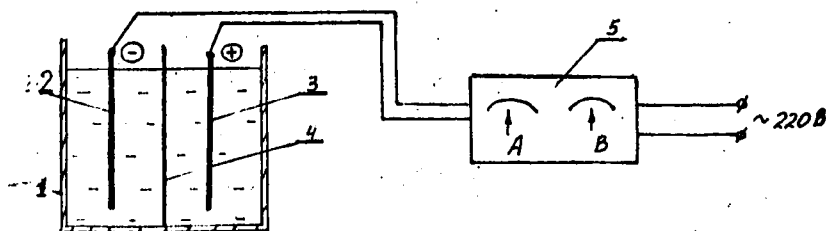


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки:
1 - емкость; 2 - катод; 3 - анод; 4 - ионопроницаемая диафрагма; 5 - выпрямитель.

Экспериментальная установка позволяет регулировать напряжение активации от 0 до 250 В, а также измерять напряжение и силу тока. Электроды были изготовлены из листовой стали 12Х18Н10Т и из графита марки "ПШГ" (анод). В качестве диафрагмы использовался брезент и асбест прессованный листовой. В экспериментах использовалась поваренная соль "Экстра". Концентрация соли определялась путем взвешивания порций соли на весах ВТ-500 и в дальнейшем растворяемых в дозированных количествах воды. Вода использовалась из водопроводной системы. Обработка проводилась до достижения максимальных значений рН анолита и католита при заданной концентрации соли. Значения рН определяли с помощью бумаги индикаторной универсальной. Время обработки растворов определяли с помощью секундомера. Плотность тока рассчитывали из отношения потребляемого тока и площади электрода. Температуру полученного раствора определяли ртутным термометром. Мощные свойства анолита и католита определяли по способности очищать искусственно загрязненные жиром (сметаной 25 % жирности) стеклянные поверхности последовательно католиком и анолитом [3] .

Напряжение на электродах оказывает существенное влияние на процесс активации и нагрев раствора. При возрастании напряжения скорость активации раствора и его нагрев возрастают и при напряжении 2x0 В активацию растворов с концентрацией соли 0,1 % и более из-за интенсивного нагрева и высокой электроопасности проводить невозможно. Вследствие этого, а также наличия серийно выпускаемых источников питания, напряжение активации было выбрано в пределах 24-40 В.

Расстояние между электродами изменялось от 90 мм до минимально возможного, когда электроды приближены один к другому и были разделены только диафрагмой. Уменьшение расстояния между электродами приводило к увеличению потребляемого тока и ограничивалось проницаемостью диафрагмы, а также поверхностью электродной жидкости, так как поверхность электродов в процессе активации покрывается пузырьками газов, затрудняющих прохождение электрического тока. Газы, поднимаясь в виде пузырьков, перемешивают раствор и, вследствие этого, затрудняют диффузию ионов через

диафрагму, что приводило к замедлению процесса активации и не позволяло получить анолит и католит с наибольшими (возможными для определенной концентрации соли) значениями pH. Одновременно увеличение удельного значения тока ускоряет процесс разрушения анода. В результате на его поверхности образуются видимые невооруженным глазом раковины, а продукты разложения анода переходят в анолит. Состояние поверхности катода в процессе экспериментов оставалось неизменной. Это подтвердило предположение о том, что катод в процессе активации не подвергается электрохимическому разрушению. Вследствие этого требования к материалу, из которого изготавливается катод могут быть ниже, чем для анода.

Как показали наблюдения за процессом и оценка состояния поверхности электродов (анода) плотность тока должна быть не более 500-600 А/м². При этом значении плотности тока время активации растворов не превышало 10 минут.

Изучение влияния pH анолита и католита на их моющую способность проводилось по способности удалять жировые отложения со стеклянной поверхности в режиме полоскания без механического воздействия [3].

В результате было установлено, что моющей способностью с оценкой "хорошо" обладает католит со значением pH = 10 и более, а анолит со значением pH = 3.

Влияние температуры на моющую способность изучалось на основании рекомендуемых и применяемых на практике температурных режимов мойки и прополаскивания доильного оборудования. Так, в экспериментах моющая способность определялась после ополаскивания поверхности водой при температуре 30 °С сначала католиком, а затем анолитом. При изменении температуры моющих растворов от комнатной до 65 °С, моющая способность растворов менялась от оценки "плохо" до оценки "отлично". Изменение последовательности мойки (сначала - анолит, а затем - католит) приводило к ухудшению качества мойки.

Таким образом, для обеспечения хорошего качества мойки необходимо использовать анолит и католит при значениях pH не менее 10 и 3 и температуре 60-65 °С. Такие растворы можно получить при исходной концентрации NaCl не менее 0,1 % или 1 г соли на 1 л воды.

Дезинфицирующие свойства приготовленного раствора (анолита) определялись по концентрации активного хлора в применяемых в настоящее время дезинфицирующих средствах. Для дезинфекции молочного оборудования применяют растворы с 0,025 % содержанием активного хлора. Установлено, что 0,05 % раствор *NaCl* позволяет получить анолит с указанной выше концентрацией активного хлора.

Выводы.

1. Установлено, что при 0,1-0,3 % концентрации *NaCl* полученный католит обладает хорошими моющими свойствами.

2. Установлено, что при 0,1 % концентрации *NaCl* полученный анолит содержит, как минимум 0,025 % концентрацию активного хлора, при которой в настоящее время производится дезинфекция молочного оборудования.

3. Определено рациональное напряжение питания электролизера, которое должно составлять не более 40 В.

4. Определен рациональный режим подготовки анолита и католита. Температура их должна быть +55-65 °С.

Л и т е р а т у р а

1. Бахир В.М. и др. Об электрохимической активации и воде "живой" и "мертвой". - М., 1990 (Электрохимическая активация: новая техника, новые технологии, вып.1).
2. Ваннер Н.Э. О некоторых физико-химических и биологических свойствах электролитов. Труды Всесоюзного НИИ ветеринарной санитарии. -М., 1986.
3. Методические рекомендации по оценке качества моющих и дезинфицирующих средств, предназначенных для санитарной обработки молочного оборудования на животноводческих фермах и комплексах. - М., 1982.

О.В.Свидерская, кандидат технических наук (БАТУ);

В.Ф.Свидерский, кандидат технических наук (Белэнергосетьпроект)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в последнее время стали важнейшими факторами, определяющими перспективы развития народного хозяйства и его отдельных отраслей.

Для формулировки проблемной ситуации, связанной с защитой окружающей среды от воздействий электросетевых объектов и воздушных линий (ВЛ) электропередачи и подстанций (ПС) разных напряжений, выделяются три взаимосвязанных аспекта последствий их воздействия на окружающую среду:

экологический - воздействие на окружающую природную среду и на протекание естественных природных процессов в ее компонентах: воздействие на растительный и животный мир - нарушение почвенно-растительного комплекса и рельефа местности; разрушение ценных сельскохозяйственных земель; последствия вырубki леса - снижение водоохраннх и водорегулирующих, противозерозионных, климаторегулирующих, почво- и полезащитных функций леса; изменение среды обитания животных и птиц и их генофонда; ограничение и пересечение путей миграции животных и птиц; нарушение связи веками складывающихся биологических сообществ (биогеоценозов) и экологического равновесия в микрорайонах, пересекаемых ВЛ; вредное влияние электрического поля ВЛ сверх- и ультравысокого напряжения на биологическую среду;

социальный - влияние на условия жизни, отдыха и реабилитации человека - дискомфорт, обусловленный безопасностью, акустическим шумом, воздействием на телевидение, радио, связь и различные измерительные приборы; ухудшение эстетического восприятия ландшафта; воздействие на природные, исторические, археологические и культурные памятники; снижение санитарно-гигиенических, кислородообразующих и рекреационных функций окружающей среды;

экономический - воздействие на общественное производство и его конечные результаты: ухудшение экологической обстановки, снижение объемов производства сельскохозяйственной продукции в связи с отводом земель под опоры ВЛ; ограничение хозяйственной деятельности в зоне отчуждения ВЛ - ухудшение условий работы сельскохозяйственных машин и механизмов из-за механических препятствий, ограничение применения авиации и машинного орошения; порча посевов и верхних плодородных слоев земли при строительстве и ремонте ВЛ; ухудшение использования земель, прилегающих к опорам; потрапы при устройстве подъездных путей к ВЛ; снижение объемов производства лесной продукции и продуктов побочного пользования лесом. Воздействия подстанций на окружающую среду связаны с отводом земельных площадей, вырубкой лесных насаждений, утечкой трансформаторного масла, а также имеют визуальный и акустический характер. При проектировании не всегда учитываются внешний вид самих ПС, а также коридоров ВЛ в их окрестностях.

Последствия размещения ВЛ и ПС: рост ограничений в ведении хозяйственной деятельности в охранной зоне ВЛ; изменение характера земле- и лесопользования; снижение производственного потенциала лесного и сельского хозяйства; развитие эрозии и дефляции; образование оползней; снижение средоохранительных, рекреационных и эстетических функций леса; сокращение поголовья диких животных и птиц; нарушение целостности и красоты природных ландшафтов. Это отражается на животном и растительном мире и, в конечном счете, на жизни общества.

В настоящее время при проектировании ВЛ электропередачи и ПС экологические аспекты учитываются в той мере, в какой это необходимо для обеспечения их сохранности, нормальных условий эксплуатации и предотвращения несчастных случаев. Полный же учет ущерба, как правило, не производится. Таким образом окружающей среде наносится значительный ущерб, который не учитывается при известных методах оптимального проектирования, при сравнении вариантов развития электрических сетей и выборе природоохранных мероприятий. Полные проектные затраты для таких электросетевых объектов неизменно значительно ниже, чем фактические затраты. В результате снижается роль и достоверность технико-экономических расчетов при их планировании и проектировании.

Избежать воздействия ВЛ и ПС на окружающую среду в полной мере принципиально невозможно. Поэтому особо актуально умение определять характер и масштабы этих воздействий, их продолжительность и интенсивность, предсказывать их на перспективу, оценивать количественные показатели воздействий, выявлять негативные последствия и принимать меры по сведению их к минимуму.

Наилучшим экологическим решением проблемы размещения электрических сетей и охраны окружающей среды является замена ВЛ электропередачи подземными кабельными линиями (КЛ). Однако такое решение требует обычно больших затрат. Стоимость строительства подземных КЛ 110 кВ и выше в 10 и более раз превышает стоимость ВЛ таких же напряжений. Поэтому в настоящее время прокладка подземных КЛ электропередачи в обычных условиях не может считаться экономически оправданной. С учетом изложенного в обозримой перспективе прокладка КЛ 110 кВ и выше будет ограничиваться небольшими участками в городских районах и на промышленных предприятиях, где применение ВЛ или невозможно, или вызывает особые затруднения. Кроме того, стоимость прокладки ВЛ в городских условиях с учетом стоимости земли и инженерного обеспечения (транспортное обеспечение и обеспечение инженерными коммуникациями) отчуждаемой территории становится соизмеримой со стоимостью КЛ такого же напряжения или даже превышает ее.

Качественное решение проблемы охраны и формирования окружающей среды при развитии электрических сетей возможно на основе комплексного (системного) подхода путем проведения экологических, социальных и экономических исследований. В результате соединения итогов всех трех направлений исследований можно получить показатели эколого-экономико-социальных оценок, которые позволят характеризовать свойства исследуемой системы и отражать интересы других отраслей народного хозяйства и общества. Такие оценки дадут возможность определять, с одной стороны, экологический, социальный и экономический ущерб, наносимый народному хозяйству электросетевыми объектами, а с другой — дополнительные затраты на его предотвращение (или снижение), компенсацию или искусственное восстановление ресурсов. Именно эти факторы должны фигурировать в хозяйственных отношениях при переходе народного хозяйства к рыночной экономике.

По существу учет экологических условий функционирования электрических сетей (наряду с техническими и экономическими условиями) означает переход от экономического обоснования принятия решений к эколого-экономическому. Это означает, что эффективность функционирования электросетевых объектов следует оценивать не только с позиций данной отрасли, но и всего народного хозяйства, а природу и экономику следует рассматривать как единую систему с помощью эколого-экономического моделирования. Эколого-экономический критерий выражает минимизацию приведенных затрат, в состав которых кроме капитальных и текущих затрат входят также и затраты природного (экологического) потенциала.

Сформулированный критерий эффективности принимаемых решений, например, по ВЛ электропередачи с учетом природопользования и охраны окружающей среды можно представить в виде формулы приведенных затрат, дополнив ее затратами экологического потенциала

$$Z = Z_{л} + Z_{п} , \quad (1)$$

- где Z - суммарные приведенные эколого-экономические затраты в ВЛ электропередачи;
- $Z_{л}$ - приведенные затраты непосредственно в ВЛ электропередачи;
- $Z_{п}$ - приведенные затраты природного (экологического) потенциала, представляющего собой количество и качество природных ресурсов, связанных с сооружением ВЛ.

Интегральная оценка последствий каждого вида воздействий ВЛ на окружающую среду примет вид

$$Z = Z_{л} + Z_{п \text{ экол}} + Z_{п \text{ соц}} + Z_{п \text{ экон}} , \quad (2)$$

- где $Z_{п \text{ экол}}$, $Z_{п \text{ соц}}$, $Z_{п \text{ экон}}$ - приведенные затраты экологического потенциала, связанные с воздействием ВЛ соответственно на экологические, социальные и экономические системы.

Дополненный критерий минимизации приведенных затрат отражает важное положение о взаимосвязи труда и природы как необходимых элементах производства материальных благ. Он зиждется на

исчислении комплексной эффективности затрат: живого труда; овеществленного труда; природы (будущего труда). Исходя из данного критерия из двух проектов может быть выбран тот, у которого алгебраическая сумма приведенных затрат, учитывающих экономическую и экологическую составляющие, — меньше.

Значительная часть ВЛ проходит по лесу. Анализ комплексной оценки леса показал, что вследствие органической связи в природе воздействие ВЛ на окружающую среду не ограничивается одной компонентой, а может проявляться в нескольких видах (рис. 1). Так, вырубка лесных насаждений оказывает отрицательное влияние на растительный и животный мир, климат и экономику района, средооградительные, эстетические и рекреационные условия жизни общества.

При проектировании линий электропередачи учитывается стоимость только одной компоненты окружающей среды — блоком I4 (см. рис. 1). Все остальные полезности леса — экологические, социальные и недревесные экономические — как правило, при проектировании не учитываются. Между тем, по данным ученых-лесоведов польза только от социальных функций леса может превышать доход, получаемый от древесины [5], а экономический ущерб, причиняемый государству вырубкой водоохраных лесов, значительно превышает стоимость древесины [2]. Поэтому экономическая оценка экологических и социальных функций леса становится такой же необходимой частью интегральной эколого-экономико-социальной оценки, как и оценка древесно-сырьевых функций. Общий коэффициент, учитывающий стоимостную оценку потерь полезных функций леса относительно потерь от снижения прироста древесины, установлен равным 5,39 [1]. При этом учитывается атмосфероочищающая, почвозащитная, кислородобразующая, климаторегулирующая и другие функции леса. Разумеется, этот коэффициент должен уточняться по мере накопления знаний о количественных и стоимостных характеристиках всех функций леса в каждом регионе страны.

Учет всех факторов, на которые воздействуют электросетевые объекты, является исключительно важной и в то же время весьма сложной и многогранной проблемой. Сложность объясняется тем обстоятельством, что электросетевые объекты оказывают воздействия как на экономические, так и на экологические и социальные

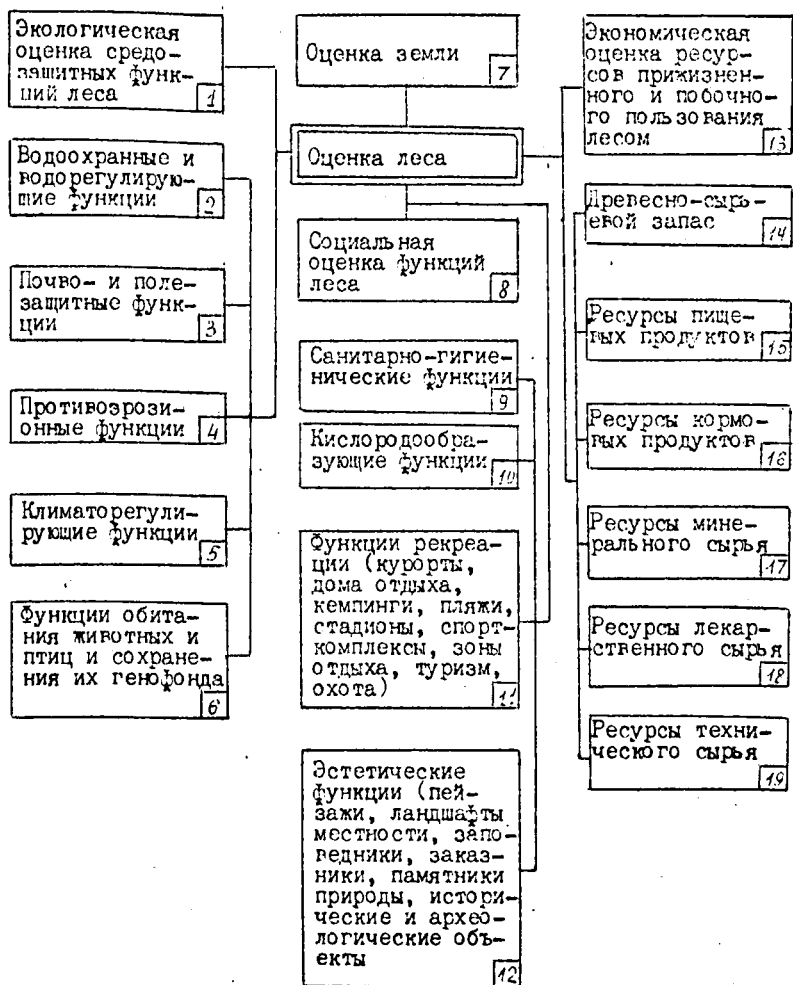


Рис. I. Классификационная схема комплексной оценки леса, выражающая народнохозяйственный эффект многоцелевого его использования

факторы окружающей среды, количественное описание которых разработано недостаточно. Экономическая оценка таких воздействий естественно затруднена, а в некоторых случаях даже невозможна. Весьма сложно получение количественных оценок социальных ущербов, особенно эстетических, психологических, нравственных, престижных. Например, весьма труднооценимы экономические последствия снижения эстетической ценности природных объектов, генетические последствия воздействия электрического поля на живые организмы и неудовлетворенность населения качеством окружающей среды.

На данном этапе для оценки экологического и социального воздействия электросетевых объектов можно выделить следующие подходы: включение дополнительных критериев в функционал расчета приведенных затрат; использование теории нечетких свидетельств; многоцелевой, позволяющий определять эффективность совокупности поставленных целей; использование натуральных или абсолютных показателей; применение искусственной шкалы.

Для реализации большинства этих подходов требуется количественная оценка экологических и социальных ущербов, вызванных воздействием электросетевых объектов на компоненты окружающей среды. Для ряда наиболее существенных экологических и отдельных социальных последствий, связанных со строительством хозяйственных объектов, экономической наукой в 1970-1980-х годах разработаны стоимостные оценки [3-5, 7].

Для определения экологического и социального воздействия на окружающую среду, не поддающихся денежной оценке на данном этапе, авторами разработана искусственная шкала. В качестве единицы измерения для оценки воздействия ВЛ принимаются так называемые эквивалентные километры. Перевод реальных километров в эквивалентные производится по шкале, приведенной в табл. I. Шкала разработана на основании проектных и литературных источников для усредненных условий Республики Беларусь. Участки линий, проходящие по более ценным и живописным местам, ценятся выше, чем участки линий, проходящие по местам с менее ценным ландшафтом. С помощью такой шкалы можно определить ценностные установки, включающие в себя два аспекта: экологическое и эстетическое воздействие, вызванное сооружением и эксплуатацией ВЛ электропередачи.

Таблица I

Протяженность ВЛ, км		Условия прохождения трассы ВЛ
реальных	эквивалентных	
I	I	По ненаселенной сельской местности, не оказывает заметного влияния на животный и растительный мир и жизнь населения. Она не видна с автострადы (расстояние до трассы более 6 км)
I	2	По живописным местам вдоль автострад (параллельный пробег вдоль автострადы более 2 км и на расстоянии менее 6 км от нее)
I	3-4	Через лесные массивы со строевым лесом, ценными породами, искусственными насаждениями, местами обитания диких животных и птиц
I	5-6	Через места, признанные особо живописными
I	3	По территории города с застройкой: а) до 3-х этажей; б) 4 этажа и выше
I	4-8	
I	9-10	Через заказную, заповедную, парковую и лесопарковую зоны
I	11-12	Вблизи историко-архитектурных, природных, культурных и других памятников, охраняемых государством, по местам массового отдыха людей
I	15 и более	Через уникальные природные комплексы, затрагивает редкие биологические виды или экосистемы, реликтовые растения, места обитания редких или уникальных видов диких животных и птиц, находящихся под угрозой исчезновения

Более полный учет экологических факторов при проектировании электрических сетей существенно (на 10-20 % и более) повышает их стоимость и стоимость передачи электроэнергии. Эти повышения могут окупиться благодаря уменьшению размера неучтенного ущерба народному хозяйству и обществу, наносимого электросетевыми объектами при их сооружении и эксплуатации. Учет дополнительных затрат при рассмотрении нескольких вариантов трасс, типа ВЛ и ее параметров, а также вариантов площадок и типа ПС позволяет оценить стоимость следующих мероприятий: выбора более протяженной трассы для удаления ВЛ от магистральных железных и шоссейных дорог, обхода густонаселенных пунктов, особо живописных мест, заповедников и заказников, мест массового отдыха людей, природных и культурных памятников, высокопродуктивных и орошаемых земель, лесных массивов с ценными породами леса и местами обитания редких животных и птиц и т.д.; посадки на отдельных участках вдоль трассы ВЛ и вокруг территории подстанции деревьев, маскирующих их конструкции; применения лучших эстетических форм опор и других элементов ВЛ; группировки ВЛ разных напряжений в специально создаваемые коридоры, что значительно уменьшает зрительный эффект; применения на отдельных участках ВЛ двух- и многоцепных опор; разработки и применения повышенных опор, позволяющих производить подвеску проводов над лесным массивом (без вырубки просек); внедрения сверх- и ультравысоких напряжений для транспорта больших количеств электроэнергии и обеспечения наиболее эффективного использования земли, занятой под полосы отчуждения; разработки и применения новых типов ВЛ электропередачи, позволяющих значительно повысить пропускную способность; демонтажа линий низших напряжений и сооружения на их трассах новых ВЛ высшего напряжения.

Особого внимания заслуживает система электроснабжения крупных городов с большими концентрированными нагрузками. Для их покрытия требуется передача больших потоков мощности в центры городских районов. Отсутствие свободных земельных участков и их высокая стоимость в густонаселенных районах городов, а также несоответствие внешнего вида традиционных открытых подстанций и воздушных линий электропередачи современным архитектурно-эстетическим и экологическим требованиям (дисгармония с

окружающей застройкой города, нарушение ландшафта, наличие вблизи подстанций большого числа воздушных линий разных напряжений и конструкций, шум от трансформаторов и реакторов, теле- и радиопомехи и т.д.) вынуждает искать новые пути в построении системы электроснабжения города.

Оптимальным решением задачи является передача больших потоков мощности при повышенном напряжении (2,0-330 кВ) непосредственно к центрам потребления с применением подземных токопроводящих систем повышенной пропускной способности и закрытых подстанций с малогабаритным оборудованием. Рассматриваются варианты схем с использованием маслонеполненных кабелей, кабелей с пластмассовой изоляцией и газоизолированных линий в сочетании с закрытыми подстанциями с комплектными распределительными устройствами с элегазовым оборудованием (КРУЭ) и элегазовыми токопроводами (ЭТ).

Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией по сравнению с традиционными распределительными устройствами обладают рядом существенных преимуществ: небольшие габариты, позволяющие значительно сократить площади распределительных устройств (до 80-90 %); высокая эксплуатационная надежность и большой межремонтный период (до 10-12 лет); большой срок службы (по предварительным оценкам до 30-40 лет); значительное сокращение материалоемкости, объема и стоимости строительно-монтажных работ; сокращение продолжительности строительства подстанции на 40-80 % в связи с возможностью изготовления и поставки оборудования крупными блоками; возможность выполнения КРУЭ по модульному принципу, позволяющему собирать любую схему электрических соединений; повышенная надежность КРУЭ позволяет упростить схему подстанции, что особо важно для городских подстанций; соответствие современным эстетическим и экологическим требованиям.

Среди большого числа критериев, по которым сравниваются подстанции с традиционным и элегазовым оборудованием, для условий густонаселенных районов городов помимо стоимости, надежности и эксплуатационных особенностей, определяющими являются занимаемая площадь, архитектурно-эстетические соображения и влияние на окружающую среду.

Предварительные технико-экономические показатели глубокого ввода 330 кВ с закрытой подстанцией 330/110/10 кВ с элегазовым оборудованием, питаемой кабельными маслонаполненными линиями 330 кВ показали преимущества такой системы электроснабжения города перед традиционной [6].

Стоимостная оценка комплекса потенциальных земельных и лесных ресурсов и полезностей позволит выявить фактический экономический ущерб, наносимый народному хозяйству электросетевыми объектами, повысить ответственность и стимулировать мероприятия по рациональному использованию естественных богатств в условиях свободной рыночной экономики. Дешевая линия электропередачи или подстанция обходятся государству слишком дорого.

Л и т е р а т у р а

1. Балацкий О.Ф., Мельник Л.Г., Яковлев А.Ф. Экономика и качество окружающей природной среды. - Л.: Гидрометеиздат, 1984.
2. Бедный О.П. Основные направления совершенствования методов определения экологической эффективности при планировании природоохранных затрат. Экономические оценки в системе охраны природной среды СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1988.
3. Ильев Л.И., Гордиенко Р.Н. Экономическое значение лесов зеленой зоны. - Лесной журнал, 1973, № 3.
4. Овсиенко Ю.В., Соболев И.И. Проблема оптимизации использования лесных ресурсов с учетом их экологического значения. - Экономика и мат. методы. 1983. Т. XIX. Вып. 5.
5. Паулюкявичус Г.Б. Опыт количественной оценки экологических функций лесов Литвы. - Лесоведение, 1977, № 1.
6. Пospelов Г.Е., Федин В.Т., Свидерская О.В., Свидерский В.Ф. Технико-экономическое обоснование применения элегазового оборудования в системах электроснабжения городов. - Энергетическое строительство, 1985, № 8.
7. Туркевич И.В., Позывайло Ю.Н. Основные положения методики экономической оценки лесов. Экономическая оценка лесных земель. - Каунас: Литовск. НИИ лесн. хоз-ва, 1974.

Б.Ф.Горбунов, кандидат технических наук;

С.Г.Гатальский, В.Н.Савицкий, Я.Ч.Кудина, инженеры

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ВОЗДУШНЫХ ТУРБОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ СОВМЕСТНОГО ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛА И ХОЛОДА

В связи с реформированием сельскохозяйственного производства и роста цен на энергоносители в хозяйствах республики ощущается острый недостаток в энергетических установках по производству тепла и холода.

Вопросы энергетического обеспечения отдельных технологических процессов (вентиляции поступающего с поля влажного зерна в буртах, подсушка и хранение капусты, лука и чеснока непосредственно в местах их производства, охлаждения или замораживания скоропортящихся плодов в местах их сбора, охлаждение молока при пастбищном содержании КРС), требующие большого количества разнообразной специализированной техники и больших энергозатрат, сегодня весьма актуальны. По данным БелНИИМСХа при сушке ржи активным вентилярованием в установках с радиальной или вертикальной подачей воздуха и использованием калориферов удельная энергоемкость достигает 40 кВт.ч/т.

Не на много ниже энергозатраты на обеспечение технологических операций при сушке и хранении капусты, лука, где предусматривается переключение режимов с подогревом подаваемого воздуха на охлажденный или на режим низких температур при быстром замораживании плодово-ягодной продукции в местах их сбора.

При наличии стационарной линии электропитания эти задачи решаются с большими трудностями даже если в хозяйствах имеются промышленные теплохолодильные установки типа ТХУ-14 и ТХУ-23.

Подобная система энергообеспечения, особенно при использовании ее в условиях лагерного содержания животных в пастбищный период, разбросанности и удаленности других объектов сельскохозяйственного производства при работе оборудования только

в летний период, когда режим энергетических нагрузок в течение суток отличается крайней неравномерностью (коэффициент неравномерности более 2), по своим техническим возможностям является малоэффективной.

В этих условиях представляет интерес разработка мобильного теплохладоэнергетического средства, которое, работая в автономном режиме, обеспечит потребность в комплексной выработке тепла и холода, обеспечивающих практически все энергоемкие технологические операции в сельскохозяйственном производстве отдельно взятого хозяйства (колхоз, фермерское хозяйство и т.д.) по максимуму заданному уровню тепло- и хладопроизводительности.

Принципы мобильности и автономности будут обеспечены, если такое средство базировать на тракторе как на первичном источнике энергии (энергии привода), который постоянно закрепляется за лагерьом животных на пастбищный период, совпадающим с уборкой зерновых и плодовоовощной продукции, для выполнения транспортно-спомогательных работ.

Что же касается непосредственно самого энергетического средства, то на основании изучения литературных источников и предварительным технико-экономическим расчетам за основу его при разработке можно принять достаточно известный принцип получения холода с применением в качестве холодильного агента атмосферного воздуха и использования (утилизации) сопутствующего ему с большими массовыми расходами горячего или холодного воздуха и при необходимости подогретой воды.

Воздух как холодильный агент использовали еще в начале второй половины прошлого столетия. Однако воздушные холодильные машины, несмотря на существенные преимущества — доступность и безвредность холодильного агента, высокие эксплуатационные качества на рубеже XX столетия были полностью вытеснены из сферы наиболее широкого применения искусственного холода (пищевая промышленность, кондиционирование воздуха) более экономичными парокомпрессионными машинами. Применение воздушных машин ограничивалось лишь процессами получения низких температур охлаждения (при сжижении газов, разделении воздуха и т.д.), недоступных парокомпрессионным машинам.

Причина низкой экономичности первых воздушных холодильных машин — несовершенство термодинамической схемы их работы и использование для осуществления процессов сжатия и расширения поршневых компрессоров и детандеров с низкими КПД.

Возрождение воздушных холодильных машин связано с применением регенеративных циклов, позволяющих получать низкие температуры охлаждения при малых степенях сжатия, и использованием высокоэффективных компрессоров и турбин.

Развитие авиационной турбореактивной техники привело к созданию высокоэффективных осевых компрессоров с КПД до 88 % и турбины с КПД до 92 %.

Использование этих достижений позволило создать современные воздушные турбохолодильные машины нового поколения. В 1960 году в СССР разработали опытную турбохолодильную машину ТХН-300, где был использован новый оригинальный воздушный регенеративный цикл открытого типа. В этом цикле рабочим телом (хладагентом) является атмосферный воздух без предварительной его осушки.

Применение в этой машине регенераторов позволило получить низкие температуры при малых степенях сжатия в компрессоре и расширения в турбодетандере, а использование высокоэффективных осевых компрессоров и турбин авиационного типа обеспечило высокие технико-экономические показатели.

И если сегодня уже можно смело говорить о внедрении воздушных турбохолодильных машин в различных областях науки и техники, то остается только констатировать тот факт, что такая область, как сельскохозяйственное производство, которая из-за недостатка тепла и холода для обеспечения технологических операций сохранности сельскохозяйственной продукции, несет огромные убытки, практически не затронута.

Доступность и безвредность хладагента, быстрый выход машины на расчетный режим в отличие от парокompрессионных, позволяют с учетом ее мобильности обеспечивать различные технологические операции (например, охлаждение молока на пастбище, сушка зерна в буртах в ночное время, охлаждение или замораживание плодовоовощной продукции) с высоким коэффициентом загрузки.

Укоренившееся в сознании специалистов-аграриев не всегда обоснованное мнение о более высокой экономичности парокompрессионных установок в сравнении с воздушными в области сельскохозяйственного производства является и сегодня сдерживающим фактором разработки и внедрения в сельскохозяйственное производство экономичной мобильной воздушной установки для комплексного производства тепла и холода, особенно с использованием конверсионных или исчерпавших свой ресурс авиационных турбореактивных агрегатов.

Для укрупненной оценки энергетической эффективности воздушной установки для совместного производства тепла и холода был проведен расчет затрат условного топлива при комплексном получении тепла и холода и при раздельном. В табл. I приведены данные по расходу условного топлива при раздельной выработке тепла и холода и при совместной выработке на воздушной теплохладоэнергетической установке.

Таблица I

Расход условного топлива при выработке тепла и холода	
раздельной	совместной
<p>1. Расход условного топлива в специализированной вентиляционной установке для выработки заданной теплопроизводительности - 120 кВт</p> $G_{\text{ду}} = \frac{Q}{7000} = \frac{120000}{7000 \cdot 0,9} \approx$ $\approx 20 \text{ кг у.т./ч}$	<p>Количество условного топлива, расходуемого для выработки $Q_{\text{у}} = 70$ кВт электроэнергии, необходимой согласно проведенных расчетов на привод воздушной установки с учетом потребной тепло- и хладопроизводительности</p> $G_{\text{уст}} = q \cdot \frac{Q_{\text{у}}}{\eta} \approx 10,5 \text{ кг у.т./ч}$
<p>2. Расход условного топлива в компрессионной установке для выработки заданной холодопроизводительности - 50 кВт</p> $G_{\text{хл}} = q \cdot \frac{Q_{\text{хл}}}{\eta} \approx 8 \text{ кг у.т./ч}$	
<p>3. Суммарный расход условного топлива при раздельной выработке тепла и холода</p> $G_{\text{разд}} = G_{\text{ду}} + G_{\text{хл}} = 28 \text{ кг у.т./ч}$	

Несложный расчет показывает, что экономия условного топлива при совместном производстве тепла и холода составит 50-60 %

$$\Delta G = \frac{G_{\text{разд}} - G_{\text{уст}}}{G_{\text{разд}}} \cdot 100 \% = \frac{28 - 10,5}{28} \cdot 100 \% \approx 60 \%$$

Внедрение в сельскохозяйственное производство мобильных воздушных энергетических установок для совместного производства тепла и холода при небольших затратах на разработку конструкторской документации с учетом специфики области ее применения, может принести большой экономический эффект.

УДК 658.2:628.8:662.927

Г.Ф.Колеснев, кандидат технических наук;

И.М.Майзельсон, инженер

О НОРМИРОВАНИИ РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОБОГРЕВ ЗДАНИЙ

В соответствии с "Основными положениями по нормированию расхода топлива, тепловой и электрической энергии в народном хозяйстве" при нормировании расхода энергоресурсов устанавливалось два вида норм - технологические и общепроизводственные, причем общепроизводственные нормы включают в себя расходы энергии на выполнение технологического процесса, а также на вспомогательные нужды производства и технически неизбежные потери в сетях и преобразователях, отнесенные на производство данной продукции (работы).

С целью повышения научной обоснованности норм расхода тепловой энергии признана целесообразной раздельная разработка норм расхода тепловой энергии на технологические и на вспомогательные нужды, к которым относится обогрев зданий.

Обогрев зданий представляет собой работу, которую необходимо совершить системам отопления и вентиляции за отопительный период по созданию комфортных условий труда в зданиях различного назначения, находящихся в определенных климатических условиях.

Работа обогрева зданий измеряется в $\text{м}^3 \cdot \text{сут.} \cdot ^\circ\text{С}$.

Индивидуальная норма расхода тепловой энергии на обогрев здания — это плановая величина расхода тепловой энергии на производство единицы работы обогрева здания, которая устанавливается для здания данного назначения при определенных условиях эксплуатации.

Индивидуальная норма имеет размерность $\frac{\text{Ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{сут.} \cdot \text{град.}}$.

В состав индивидуальных норм включаются расходы на основной технологический процесс — возмещение тепловых потерь здания через ограждающие конструкции и потерь с удаляемым воздухом.

В основу разработки индивидуальных норм положены удельные отопительные и вентиляционные характеристики зданий, которые представляют собой потери тепловой энергии за один час при разности внутренней и наружной температур в один градус одного кубического метра отапливаемого здания (тепловая) и одного кубического метра вентилируемого воздуха (вентиляционная).

Расчет индивидуальной нормы расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию ведется в следующей последовательности:

1. Определяют максимальные часовые расходы тепловой энергии на отопление и вентиляцию:

$$Q_{от}^{час} = q_{от} V (T_в - T_{нот}) \quad , \text{Ккал/ч,}$$

$$Q_в^{час} = q_в V (T_в - T_{нв}) \quad , \text{Ккал/ч,}$$

где $q_{от}; q_в$ — удельные тепловые характеристики зданий для расчета систем отопления и вентиляции,

$\text{Ккал/м}^3 \cdot \text{ч.} \cdot ^\circ\text{С}; \text{град}$

V — строительный объем отапливаемых помещений по наружному обмеру, м^3 ;

$T_в$ — нормируемая температура воздуха в помещении, $^\circ\text{К}$;

$T_{нот}; T_{нв}$ — расчетная температура наружного воздуха для расчета системы отопления и вентиляции, $^\circ\text{К}$;

2. Определяют годовые расходы тепловой энергии на отопление и вентиляцию:

$$Q_{от}^{год} = Q_{от}^{час} \cdot \frac{T_b - T_{нсп}}{T_b - T_{нот}} \cdot 24 \cdot n_{от} \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал,}$$

$$Q_b^{год} = Q_b^{час} \cdot Z_b \left[n_{от} + \frac{T_b - T_{нвсп}}{T_b - T_{нб}} (n_{от} - n_{отб}) \right] \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал,}$$

- где $Q_{от}^{час}$, $Q_b^{час}$ - часовые расходы тепловой энергии на отопление и вентиляцию, Ккал/ч;
- Z_b - число часов работы системы вентиляции в сутки, ч/сут.;
- $T_{нсп}$ - средняя температура воздуха за отопительный период, °К;
- $T_{нвсп}$ - средняя температура наружного воздуха за часть отопительного периода с температурами воздуха выше $T_{нб}$;
- $n_{от}$ - количество суток отопительного периода; сут.;
- $n_{отб}$ - количество суток в отопительном периоде с температурами воздуха ниже $T_{нб}$, сут.

3. Определяют индивидуальную норму расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию:

$$[H_{об}^a] = \frac{k \sum Q_{об}^{год} \cdot 10^6}{\sum V_i n_{от} (T_{всп} - T_{нсп})}, \quad \frac{\text{Ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{сут.} \cdot \text{град.}}$$

- где $\sum Q_{об}^{год}$ - суммарный годовой расход теплоты на отопление и вентиляцию, Гкал.
- $$\sum Q_{об}^{год} = \sum Q_{от}^{год} + \sum Q_b^{год}$$
- k - коэффициент, учитывающий потери тепловой энергии;
- $T_{всп}$ - средняя температура воздуха внутри отапливаемых помещений, К

$$\bar{T}_{в\text{ср}} = \frac{\sum T_{вi} \cdot V_i}{\sum V_i}, \quad \text{K}$$

В качестве примера рассмотрим определение норм расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий Слуцкого племптицезавода.

Для расчета были приняты следующие параметры:

количество дней отопительного периода - 206;

средняя температура воздуха за отопительный период - 271,6 К;

расчетная температура наружного воздуха для расчета систем отопления - 251 К;

расчетная температура наружного воздуха для расчета систем вентиляции - 263 К;

средняя температура наружного воздуха за часть отопительного периода с температурами воздуха выше $T_{н\bar{в}}$ - 272,8 К;

средняя температура отапливаемых помещений - 288,2 К;

количество суток в отопительном периоде с температурами воздуха ниже $T_{н\bar{в}}$ - 100;

коэффициент $K = 1,05$.

Расчет расхода тепловой энергии приведен в табл. I.

Индивидуальная норма расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию для Слуцкого ППЗ

$$[H_{об}^a] = \frac{1,05 \cdot 1393,58 \cdot 10^6}{25100 \cdot 206(288,2 - 271,6)} = 16,64 \frac{\text{Ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{сут.град.}}$$

Расчет расхода тепловой энергии

Исходные данные		Результаты расчетов						
		Наименование помещений	Строительный объем, м ³	Температура внутри помещения, t _в , °C	Удельные теплотехнические характеристики, Ккал/м ³ ·ч·град.	Максимальные часовые расходы теплоты, Ккал/ч	Расходы теплоты за год, Гкал	
							q ₀	q _в
	V					Q _{от}	Q _б	
1. Санпропускник	3888	15	0,37	1,0	53226	134,135	73,150	207,285
2. Ветеринарный блок	1512	16	0,35	0,95	20109	52,351	28,385	80,736
3. Механические мастерские	2916	15	0,38	0,3	40998	103,300	16,45	119,75
4. Гараж на 6 машин	1092	12	0,7	-	25989	58,236	-	58,236
5. Бригадный дом	835,2	18	0,43	-	14365	39,610	-	39,610
6. Бесовая	96	15	0,5	-	1776	4,47	-	4,47
7. Склад концентрированных кормов	480	15	0,85	-	15096	38,036	-	38,036
8. Янцесклад	1231	12	0,75	0,95	31390	70,340	18,67	89,01
9. Столовая	1764	16	0,35	0,75	23461	61,078	26,144	87,222
10. Контора	2088	18	0,5	-	41760	115,154	-	115,154
11. Материальный склад	1260	10	0,55	-	22176	51,642	-	51,642
12. Гараж на 25 машин	4914	12	0,45	0,7	75184	168,47	27,47	195,94
13. Инкубаторий	3024	22	0,56	1,055	74511	225,300	81,192	306,492
	25100							1393,583

Л.Д.Корольков, кандидат технических наук;

А.Г.Барабанова, инженер

ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ БИОГАЗОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ
В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В связи с резким увеличением цен на традиционные энергоносители наиболее остро встает проблема поиска новых альтернативных видов энергии. Одним из таких видов энергии является биогаз, получаемый от анаэробного разложения биомассы. Биологическая масса является вторым после солнца возобновляемым экологически чистым источником энергии, ее содержание в биосфере земли оценивается в 800 млрд. т, из которых 200 млрд. т ежегодно возобновляются. Для сравнения следует отметить, что разведанные запасы угля оцениваются в 500 млрд. т, нефти - 200 млрд. т, природного газа - 100 млрд. т. Таким образом, освоение биогазовой технологии может являться одним из наиболее реальных направлений поиска альтернативных источников энергии. Биогаз, получаемый в результате анаэробного сбраживания биомассы, содержит 50-70 % метана, 25-40 % двуокиси углерода и 3-5 % смеси различных газов, включая сероводород. Теплотворная способность биогаза при 60 % содержании в нем метана равняется 5500 Ккал/м^3 , что составляет 0,6 от теплотворной способности одного кубического метра природного газа.

Биогаз наиболее чистый вид топлива, горит голубым пламенем, не дает сильной копоти. Обычно биогаз может быть использован в пароводяных котлах для получения горячей воды, в бытовой технике для обогрева и приготовления пищи, в автомобильных двигателях, а также для получения электроэнергии с помощью мотор-генераторов. Биогазовая технология получила широкое распространение в странах Европы, США, Китае, в Латинской Америке. Так, в Бразилии в 1985 году было произведено 6,5 млн. т этанола из биомассы, полученной в виде отходов сахарного тростника. В этой стране весь автопарк работает на газохолде, который представляет смесь 80 % бензина и 20 % этанола. Биогаз как источник энергии составляет в США - 3,5 %, в Канаде - 5, Швеции - 10, Финляндии - 17 % от полного энер-

гопотребления этих стран. По перспективной программе в США к 2000 году доля биоэнергетики в общем балансе потребляемой энергии достигнет 5 %, что составляет 150 млн. т условного топлива [1].

В странах ЕЭС вклад биомассы в энергетику к 2000 году позволит снизить импорт нефти на 100 млн. т, то есть с ежегодной экономией на 10 млрд. долларов. В Великобритании разработана национальная программа освоения биогаза вплоть до полного энергообеспечения сельского хозяйства [1].

Столь серьезное отношение к вопросу биогазовой технологии не случайно. Под понятием "биомасса" имеются в виду все виды веществ растительно-животного происхождения и продукты их переработки. В развитых странах мира в год на одного человека накапливается до 5 т органических отходов по сухому весу [2]. Это в первую очередь требует неотложных мер по их утилизации, а во вторую - развития высокопроизводительных технологий их переработки. Биомасса трансформируется в топливо методами биологической и термохимической конверсии. Из биологических методов это в первую очередь получение биогаза и этилового спирта (этанола). При этом решается экологически важная проблема утилизации промышленных и бытовых отходов в городах и сельской местности, снижается энергопотребление за счет энергии используемого биогаза, и наконец, решается проблема получения экологически чистых, без семян сорняков и яиц гельминтов органических удобрений и органических кормовых добавок. Конверсия отходов, получаемых в мировом животноводстве, может на 10-15 % покрыть потребности современной энергетики. Многие страны подошли к освоению биогазовой технологии в результате разрешения экологических задач по утилизации навозных стоков и как сопутствующее этому производство органических удобрений. Для переработки органических отходов используется технология биометангенерации, при которой в специальных генераторах-метантенках с помощью "живых дрожжей" разово вводимых в биомассу для запуска процесса, происходит переработка последней с выделением биогаза. Биогаз выделяется из разлагающейся без доступа кислорода биомассы. Метановое брожение биомассы происходит при температуре 30-40 °С (мезофильный режим) или при 55-60 °С (термофильный режим). Получение биогаза осуществляется в реакторах-метан-

тенках объемом от одного до нескольких тысяч кубических метров. На каждую тонну сброженного органического вещества в сухом весе образуется от 250 до 500 м³ биогаза. При метановом сбраживании биомассы КПД превращения биомассы в биогаз достигает 80-90 % [5]. Типовой процесс получения биогаза на биогазовой станции выглядит следующим образом. Жидкий навоз из фермы поступает в навозосборник, где происходит сглаживание неравномерности его подачи. Навоз измельчается и попадает в подогреватель, где горячей водой, подаваемой в теплообменник, он нагревается до температуры сбраживания и кислотообразования (Т = 33-37 °С). Периодически сброженная масса подается в метантенки, где происходит процесс ее разложения и метангенерации при температуре 52-56 °С. Отработанная биомасса сбрасывается в навозохранилище. Образовавшийся в реакторах-метантенках биогаз после соответствующего влагоотделения компрессором подается в газгольдеры среднего давления (до 0,07 МПа). Из газгольдера биогаз поступает через газораспределительный пункт, понижающий давление до 200-300 мм водяного столба на горелки водогрейного котла, а также на мотор-генератор для получения электроэнергии. Тепловая энергия горячей воды от водогрейных котлов и сбросная теплота от мотор-генераторов идет на собственные нужды фермы, подогрев теплообменника и метантенков, а вырабатываемая электроэнергия направляется потребителям. Одновременно биогаз может быть использован как товарный биогаз для транспорта и бытовых нужд.

Первые шаги в развитии отечественной биогазовой технологии были сделаны в 80-х годах [4]. Центром проведения научно-исследовательских работ в этой области явилась Украина. По разработкам НПО "КТИСМ" г.Запорожье на 1.01.1993 г. заводом "Кургансельмаш" были выпущены первые 16 комплектов оборудования биогазовой станции типа "КОВОС". Из них работает на Украине - 5, в странах Балтии - 4, Туркменистане - 4, Армении - 2 и в Беларуси - 1. В 1991 г. в России создан центр по использованию природоохранных и ресурсосберегающих технологий. Центр осуществляет строительство "под ключ" типоразмерного ряда биогазовых станций. Анализируя современное состояние и перспективы биогазовой технологии следует подчеркнуть необходимость

значительных, капитальных вложений в развитие этого вида альтернативной энергетики. Вместе с тем срок окупаемости биогазовых установок в зависимости от их мощности составляет 0,7-2,3 года [3].

До настоящего времени развитие биогазовой технологии в Республике Беларусь не получило широкого применения.

Испытания единственной в республике промышленной установки "КОВОС", смонтированной в сельскохозяйственном объединении "КОЛОС" Брестской области показали ее низкую эффективность. Дело в том, что существующая система гидросмыва на животноводческих объектах приводит к резкому переумлаживанию навоза (до 98 %), в результате чего процесс метангенерации затрудняется и как следствие существенно снижается объем получаемого биогаза. Без дополнительных мер по обезвоживанию или наполнению сухой органикой (например, торфокрошкой) навозные стоки типовых животноводческих объектов мало пригодны для получения биогаза. Сбраживать такие стоки без их предварительной концентрации сложно и экономически нецелесообразно. С другой стороны установка "КОВОС", спроектированная для более южных широт бывшего СССР, показала повышенный расход энергоносителя на собственные нужды особенно в зимние месяцы.

Вместе с тем заслуживает особого внимания вопрос развития биогазовых технологий в Швеции и Финляндии. Ввиду ограниченности собственных энергоносителей биогазовые технологии получили там широкое применение и особенно в сельском хозяйстве. В Финляндии за счет использования биогаза покрывается до 17 % годового энергетического баланса.

Следует отметить следующее:

1. Освоение биогазовой технологии имеет важное народно-хозяйственное значение как с точки зрения защиты окружающей среды в местах содержания больших масс животных.

2. Внедрение биогазовых технологий требует больших капиталовложений в научную разработку, проектирование и строительство биогазовых станций. Эти разработки должны вестись в рамках республиканских программ и финансирования.

3. С целью интенсификации разработок и внедрения биогазовых технологий и установок целесообразно создание совместных предприятий с зарубежными специализированными фирмами.

4. В первую очередь представляется целесообразным разработать республиканские проекты биогазовых станций на базе типовых комплексов по производству свинины, говядины и птицы с последующим их тиражированием и пропагандой полученного опыта.

Л и т е р а т у р а

1. Выкова И.Я. Биогазовые станции на животноводческих фермах и комплексах (Обзорная информация). Строительство и архитектура.-М., ВНИИТНПИ, вып. 2, 1991.
2. Кожуринчев А.М. и др. Биогаз очистных сооружений и его применение: обзорная информация. - М., Институт экономики жилищно-коммунального хозяйства. 1992, серия "Тепло и электроснабжение".
3. Ковалев А.А., Левченко М.В. Повышение эффективности метанового сбраживания навоза - рациональный путь снижения энергозатрат в сельском хозяйстве. Сб. научных тр. ВИЭСХа, 1984.
4. Палкин Г.Г. Проблемы и перспективы использования биогазовых установок на животноводческих фермах. (Аналитическая записка). БелНИИинформагпрома, 1994.
5. Техника в сельском хозяйстве. 1998, № 1.

УДК 631.371

К-21

С.А.Марченко, кандидат технических наук;

П.В.Карabanuk, В.О.Скробков, Т.Д.Волкова, инженеры

К ВОПРОСУ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК

В условиях перевода животноводства и кормопроизводства на индустриальную основу важное значение приобретает развитие теплоэнергетической базы этих отраслей. С ростом потребления электрической энергии на привод средств механизации в производственных процессах значительно увеличивается расход тепловой энергии. Тепло вырабатывается оборудованием (котлами, теплогенераторами), работающими на жидком, газообразном или твердом топливе и использующими электроэнергию (электропечи и воздухоподогреватели). Фермы промышленного типа не могут нормально функционировать без надежного снабжения их электрической и

тепловой энергией, которые расходуются для приготовления кормов, охлаждения и пастеризации молока, стерилизации молочной посуды и технологического оборудования, создания необходимых режимов микроклимата в помещениях для содержания животных и удовлетворения производственных нужд [2] .

Агропромышленный комплекс с промышленными технологиями производства и переработки продукции растениеводства и животноводства становится все более энергоемкой отраслью. Несмотря на то, что за последние 20 лет электровооруженность труда увеличилась более чем в 10 раз и составила 4240 кВт.ч/чел. по уровню фондо- и энерговооруженности труда АПК значительно отстает от промышленности (в 1,3-1,5 и 2,5-3,5 раза соответственно), в то время как совокупные удельные затраты энергоресурсов на получение животноводческой продукции в 3-4 раза превышают уровень США, а в других развитых странах - в 1,5-2 раза.

Увеличение валовой продукции сельского хозяйства на 1 % сопровождается увеличением энергопотребления на 2-3 %. Результаты научных исследований показывают, что прирост электровооруженности труда в сельском хозяйстве на 1 % повышает производительность труда на 0,5 %, тогда как увеличение основных фондов на 1 % - лишь на 0,2 % [4] .

Однако уровень электрификации и автоматизации работ в сельском хозяйстве остается крайне низким.

На современном этапе развития сельскохозяйственного производства особое внимание уделяется вопросам экономного, эффективного использования топливно-энергетических ресурсов. Актуальность данного вопроса объясняется тем, что в агропромышленном производстве, в частности в животноводстве, наблюдается систематическая нехватка топлива и энергии, что отрицательно сказывается на эффективности производства. Ежегодная нехватка топливно-энергетических ресурсов по сельскому хозяйству составляет 18-20 %. С повышением роли рыночных методов хозяйствования, ростом цен на энергоносители, необходимостью увеличения производства продукции агропромышленного комплекса, вопросы более полного удовлетворения потребностей предприятий АПК в энергоресурсах в требуемой номенклатуре, рационального их использования приобретают еще большую актуальность.

Развитие топливной промышленности Республики Беларусь базируется на местных видах топлива (торф, дрова) и на привозных (нефть, газ, уголь). Кроме того имеются запасы горючих сланцев и бурых углей.

За счет ресурсов, добываемых и производимых в республике, обеспеченность котельно-печным топливом в 1990 году составила 60 %, а за счет добываемых - 13 % [1].

Стратегия использования топливно-энергетических ресурсов в агропромышленном комплексе должна осуществляться на основе научно обоснованных балансов, обеспечивающих рациональную структуру потребления тепловой и электрической энергии и вовлечение в энергобаланс экологически чистых возобновляемых источников энергии.

Покрытие дефицита топливно-энергетических ресурсов в агропромышленном комплексе в определенной мере может быть достигнуто за счет энергосбережения и изменения структуры топливно-энергетического баланса.

Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР), участвуя в процессе производства, оказывают существенное влияние на производственные процессы. Уровень потребления ТЭР влияет на эффективность производства, обеспечивает рост его технического оснащения, способствует повышению производительности труда, снижению доли ручного труда, решению социальных проблем на селе.

Агропромышленный комплекс является крупным потребителем топливно-энергетических ресурсов. Структура энергопотребления предприятий АПК приведена в табл. 1.

В балансе энергопотребления агропромышленного комплекса электроэнергия составляет 24,6 %, теплоэнергия - 34,2 и котельно-печное топливо - 41,2 %.

Основу котельно-печного топлива составляют природный и сжиженный газ (41,0 %), жидкое топливо (46,5 %), уголь (6,4 %). Все это привозные виды топлива.

Анализ структуры энергопотребления сельскохозяйственных предприятий, проведенный на примере ряда хозяйств республики, показал, что структура потребления энергоресурсов по видам производства сложилась следующим образом, %:

Таблица 1

Структура энергопотребления предприятий АПК в 1994-1995 гг.

Виды энергоресурсов	Единица измерения	Показатели						1995 г.		1994 г.	
		потреблено		удельный вес энергоресурсов в общей структуре, %	ожидаемое потребление	удельный вес энергоносителей в структуре, %	натуральное топливо, тыс. т. у. т.	натуральное топливо, тыс. т. у. т.	в % к 1994 г.	в % к 1994 г.	
		натуральное выражение	условное топливо, тыс. т. у. т.								
Электроэнергия	млн. кВт.ч	4678	1385	23,8	4129	1222	24,6	88,2			
Теплоэнергия	тыс. Гкал	11769	2000	34,2	9964	1694	34,2	84,7			
Котельно-печное топливо	тыс. т. у. т.	2449	2449	42,0	2041	2041	41,2	83,3			
в том числе:											
уголь	тыс. т.	24,9	206,6	3,6	175,4	131,2	2,6	72,2			
газ природный	млн. м ³	830,0	963,9	16,5	711,3	817,9	16,5	100,0			
газ сжиженный	тыс. т.	22,0	34,5	0,6	12,3	19,4	0,4	66,7			
мазут топочный	тыс. т.	678,4	906,6	15,5	542,7	743,5	15,0	96,8			
топливо печное бытовое	тыс. т.	26,5	43,1	0,7	29,8	43,2	0,9	128,6			
тяжелые нефтепродукты	тыс. т. у. т.	-	166,7	2,9	-	163,1	3,3	113,8			
торф и торфобрикеты	тыс. т.	37,1	20,2	0,4	37,3	20,6	0,4	100,0			
дрова	тыс. м ³	203,0	53,3	0,9	238,3	63,4	1,3	144,4			
прочие виды топлива	тыс. т. у. т.	-	54,0	0,9	-	38,7	0,8	88,9			
Всего потреблено		5834,0	100,0			4987,0	100,0	85,0			

основное производство - 80;
вспомогательное - 12;
коммунально-бытовое - 8;
по видам энергоресурсов:
электропотребление - 6-20;
теплопотребление - 25-45;
котельно-печное топливо - 40-70 от общего потребления
топливно-энергетических ресурсов.

В связи с систематическим ростом цен на энергоносители, поставляемые из-за пределов республики, и отсутствием в достаточном количестве финансовых средств для своевременной их оплаты, объемы поставок энергоносителей будут уменьшаться. Агропромышленный комплекс будет испытывать нехватку газа, мазута и угля.

Учитывая напряжение топливного баланса, особенно по нефтепродуктам, должны быть приняты эффективные меры по их максимальной экономии, изменению структуры топливного баланса АПК и замене на более доступные для нашей республики виды топлива - газ, торф, дрова и др.

Основными потребителями природного газа являются предприятия перерабатывающей промышленности, котельные, теплицы, объекты коммунально-бытового хозяйства. На производственное потребление расходуется 85,8 % всего потребляемого газа, на коммунально-бытовые нужды - 11,2, для населения - 2,8, на работу автотранспорта - 0,2 %.

Необходимо более быстрыми темпами решать проблему перевода двигателей внутреннего сгорания на сжиженный и сжатый, генераторный, биологический газ и водородное топливо. Особое внимание должно быть уделено использованию сжиженного и сжатого газа.

Техническая сторона этой проблемы решена. Широкое использование сжиженного и сжатого газа в двигателях сдерживается отсутствием заправочных станций и сервисного обслуживания газового оборудования.

Создание сети заправочных станций и организация сервисного обслуживания газового оборудования позволит сократить ввоз топлива для двигателей внутреннего сгорания на 400 тыс. тонн.

На ближайшую перспективу в больших масштабах необходимо использовать торф как бытовое топливо и для получения генераторного газа. Возможности увеличить производство торфа лежат в изменении технологии его добычи, строительстве малых торфобрикетных установок мощностью 5–10 тыс. т брикетов в год. На основе ресурсосберегающих технологий сушки и прессования, а также развития добычи кускового торфа можно выйти на объем производства кускового торфа – 500–600 тыс. т.

Внедрение ресурсосберегающих экологически безопасных технологий позволит повысить коэффициент использования торфяной залежи до 75–80 % (вместо существующего 45–50 %) и обеспечить увеличение извлекаемых запасов торфа до 300 млн. т. Новые технологии позволят осваивать малые торфяные месторождения, не рассматриваемые в настоящее время как сырьевые базы.

Увеличение объемов торфобрикетов и кускового торфа может быть достигнуто за счет создания на базе районных организаций Агрохимии и хозяйств акционерных обществ, в функции которых вошла бы заготовка топлива и доставка его потребителю в обслуживаемой зоне.

Республика Беларусь располагает большими запасами дров. По данным Министерства статистики и анализа сельского хозяйства в 1995 году израсходовано 238,3 тыс. м³ дров в качестве топлива. Резервы увеличения использования дров в качестве топлива есть и немалые.

Из всего объема заготавливаемых дров в настоящее время сельское хозяйство потребляет около 10 %. По данным Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь возможные объемы заготовки и поставки дров могут составлять в 1996–2000 годах 2500–2700 тыс. м³ в год при сложившихся объемах реализации. При увеличении спроса на дрова объемы их заготовки могут быть увеличены в 1,5–2 раза без нанесения ущерба для окружающей среды. Однако большие объемы заготовленных дров не используются.

При доведении потребления сельским хозяйством дров до 1,0–1,5 млн. м³ расход жидких видов котельно-печного топлива можно снизить на 13 %.

Для увеличения объемов заготовки дров необходимо на базе лесхозов совместно с Агрпромотехникой и хозяйствами создать акционерные общества. Используя технические возможности вышеуказанных субъектов хозяйствования, не потребуется значительных капитальных вложений и материальных затрат.

Для более рационального использования дров, торфобрикетов и кускового торфа не только в качестве бытового топлива, но и на производственные нужды необходимо создать новые энергосберегающие технологии и оборудование с широким использованием дров и торфа.

Для сжигания дров, торфобрикетов, кускового торфа в БелНИИ-агроэнерго создаются котлы, стационарные и мобильные газогенераторы, а также совместно с Минским моторным заводом двигатель на газогенераторном газу. Котлы могут быть использованы для отопления домов усадебного типа, теплиц, производственных и бытовых помещений.

Предлагаемые мероприятия позволят изменить структуру топливно-энергетического баланса АПК, снизить потребление ввозимых жидких топлив на 15-18 %, удельные расходы ТЭР на 10-12 % и в итоге заменить в топливном балансе АПК свыше 650 тыс. т жидкого топлива другими видами местного топлива.

Л и т е р а т у р а

1. Республиканская программа по энергосбережению на период до 2000 года. -Мн.: Белэнергосбережение, 1995.
2. Демин А.В. Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в животноводстве и кормопроизводстве. Науч.труды "Энергетика животноводческих ферм". -М., 1982.
3. Марочкин В.К., Байлук Н.Д., Брилевский М.Ю. Экономия топливно-энергетических ресурсов в сельском хозяйстве. -Мн.: Ураджай, 1987.
4. Экономия энергетических ресурсов в сельскохозяйственном производстве. -М.: Росагропромиздат, 1988.

АНАЛИЗ ЗАТРАТ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ОХЛАЖДЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ МОЛОКА

Технологические процессы охлаждения, замораживания и хранения сельскохозяйственной продукции требуют значительных затрат энергоресурсов. Фактический расход электроэнергии на выработку холода по данным обследований перерабатывающих предприятий достигает 50-60 % общего потребления на переработку продукции, в то время как расчетное значение должно составлять 20-30 % [1].

При существующих условиях хозяйствования предприятия существенно заинтересованы в экономии энергоресурсов. Поэтому разработка технически обоснованных требований к энергосбережению в ходе эксплуатации холодильной техники и организационно-технических мероприятий по снижению энергозатрат в технологических процессах охлаждения, замораживания и хранения сельскохозяйственной продукции является актуальной.

На животноводческих фермах и пунктах первичной обработки молока в хозяйствах республики эксплуатируется свыше 13 тысяч холодильных установок и резервуаров-охладителей молока более 20 различных марок. Не все животноводческие фермы обеспечены достаточным количеством этой техники. Проблема особенно усугубилась в последние годы. Резко сократились поставки холодильного оборудования из России и Украины. Прекратился ввоз из Польши, Германии и Эстонии. Производственные мощности по изготовлению молокоохладительных установок в Слонимской агропромтехнике не могут удовлетворить потребности хозяйств республики.

Для оценки загрузки и эффективного использования с точки зрения энергопотребления было обследовано оборудование для охлаждения и хранения молока на молочно-товарных фермах, комплексах и молокоприемных пунктах хозяйств Минского района, как наиболее обеспеченного этим оборудованием. Установлено, что в хозяйствах на молочно-товарных фермах с одинаковым поголовьем коров и сравнительно одинаковыми надоями используются

холодильные установки различной мощности. На фермах с поголовьем 100 коров имеются холодильные машины МКА-2000Л-2А, СМ-1250, ТОМ-2,0А, СД-1600. Такие холодильные установки используются и на молочно-товарных фермах на 200 коров. Аналогично тепло-холодильная установка ТХУ-14 используется на фермах с поголовьем 200 коров с одним резервуаром-охладителем РПО-2,5 и двумя резервуарами на комплексах, где содержится 400 коров. Например, в колхозе им.Калинина установка МКА-2000Л-2А одна установлена на ферме 200 коров и одна на 100 коров. Загрузка их по объему заполнения ванны составляет 75 и 35 процентов.

Значения расхода электроэнергии для одинаковых холодильных установок в различных хозяйствах и даже в одном хозяйстве в зависимости от загрузки имеют существенные различия. Для танка-охладителя молока ТОМ-2,0А величина этого показателя составляет: колхоз "Вишневка" (ферма "Нелидовичи") - 59,2 кВт.ч/м³, совхоз "Большевик" (ферма "Рахманьки") - 40,3 кВт.ч/м³, (ферма "Дубовляны") - 65,1 кВт.ч/м³. При оптимальном режиме значение - 31,8 кВт.ч/м³. Для холодильной установки МКА-2000Л-2А этот показатель имеет следующие значения по хозяйствам: колхоз им.Калинина (ферма "Новый двор") - 20,3 кВт.ч/м³, (ферма "Сухорева") - 18,2 кВт.ч/м³, совхоз "Озерный" (ферма "Сенково") - 20,0 кВт.ч/м³. Оптимальное значение удельного расхода электроэнергии для МКА-2000Л-2А - 17,5 кВт.ч/м³. Это свидетельствует о неправильном подборе и нерациональном использовании холодильной техники, что приводит к повышенному расходу электроэнергии и других материальных затрат на производство продукции.

Анализ данных обследования показывает, что комплектование холодильным оборудованием проводится в условиях ограниченных возможностей выбора необходимых машин, в результате чего из-за неполного соответствия требованиям технологических процессов потребителей холода и потенциальных возможностей применяемых холодильных машин, использование их во многих случаях малоэффективно. Удельные энергосатраты молокоохладительной установки МКА-2000Л изменяются от 18,2 до 25 кВт.ч/т, а танка-охладителя ТОМ-2,0А в пределах 35-65 кВт.ч/т. На многих предприятиях оборудование используется на 20-50 % своей мощности.

Значения расхода электроэнергии для одинаковых холодильных установок в различных хозяйствах и даже в одном хозяйстве в зависимости от загрузки имеют существенные различия. В ряде случаев они превышают номинальные и отличаются в 1,5–2 раза в сторону увеличения.

Анализ парка холодильного оборудования показывает, что его структура отличается большим многообразием по мощности холодильных агрегатов, типоразмеру, возрастному составу и конструктивному исполнению. Более 30 % установок эксплуатируется более 10 лет. Продолжительность цикла охлаждения этих машин, как правило, превышает номинальные значения, что наряду с загрузкой, которая колеблется от 20 до 100 %, оказывает существенное влияние на потребление электроэнергии. По расходу электроэнергии наилучшими холодильными установками являются: для молочно-товарных ферм с поголовьем от 200 до 1200 коров – резервуар-охладитель МКА 2000Л-2А; для ферм от 25 до 100 коров – РПО-Ф-0,5.

Эффективным направлением сокращения расхода электроэнергии является включение в комплекты холодильного оборудования сезонных охладителей молока ОМС-12 (для ферм 200–1200 коров) и ОМС-0,5 (на 25–100 коров). Это позволяет по сравнению с лучшими по энергопотреблению резервуарами-охладителями экономить на каждой тонне охлаждаемого молока 5–15 кВт.ч электроэнергии. Например, у ТОМ-2,0А показатель расхода электроэнергии – 31,8 кВт.ч/т; у комплекта оборудования 2РПО-2,5+ОМС-12+ТХУ-37 – 22,8 кВт.ч/т; у РПО-Ф-0,5 – 24,1 кВт.ч/т; а у РПО-Ф-0,5+ОМС-0,5 – 20,5 кВт.ч/т.

В результате анализа данных обследования установлено, что основными источниками неоправданных энергозатрат при эксплуатации холодильного оборудования на предприятиях и в организациях АПК являются:

неполная загрузка оборудования и завышенная энергетическая мощность его, что приводит к неполному использованию мощности; низкий процент заполнения емкости резервуаров (ниже 50 %) говорит о недогрузке оборудования, а повышенный процент заполнения (свыше 70 %) особенно в период максимальных надоев и соответственно увеличенное время охлаждения указывает на перегрузку установок, несоответствие мощности или недостаточном их количестве на ферме или молокоприемном пункте;

не используется утилизация вторичного тепла, обеспечивающая нагрев воды для технологических целей, а производится выброс его в атмосферу;

утечки "холода" вследствие недостаточной термоизоляции и негерметичности водопроводов, холодильных емкостей, ванн, камер, утечки хладагентов, хладоносителей, дефектов запорной и распределительной арматуры, неисправностей задвижек, дверей, уплотнений, неплотности во фланцевых соединениях и т.п.;

нарушение правил эксплуатации, технического обслуживания и ремонта оборудования, отклонение от графиков проведения планово-предупредительных работ.

Наиболее существенно влияет на перерасход электроэнергии нарушение правил эксплуатации: наличие воздуха в системе охлаждения; нарастание большого слоя инея на поверхности охлаждающих устройств; чрезмерное замазливание теплообменных поверхностей аппаратов; накопление смазочного масла в охлаждающих устройствах; недозаполнение испарительной системы хладагентом; загрязнение и накипь на теплообменной поверхности конденсаторов и др.

Наличие воздуха в системе вызывает повышение давления конденсации, что влечет за собой рост энергетических затрат на привод компрессоров. Повышение температуры конденсации на 1°C (в диапазоне температур конденсации от 20 до 40°C) приводит к увеличению удельного расхода на $3-4\%$.

В связи с этим необходимо исключить неплотности фланцевых соединений, сальников компрессора, а также попадание воздуха при замене масла и т.д.; обеспечить наличие воздухоотделителей (например, типа АВ-4). Еще один фактор перерасхода энергии - образование инея. Снижение температуры кипения на 1°C приводит к увеличению удельного расхода на 5% .

Своевременное проведение планово-предупредительных работ технического обслуживания и ремонта техники дает экономию электроэнергии свыше 5% .

Внедрение холодильных установок с системами утилизации тепла (а также модернизация путем комплектования теплообменными агрегатами) обеспечит снижение энергетических затрат на охлаждение молока и нагрев технологической воды в $1,5-2$ раза.

Применение на молочных фермах теплохолодильных установок позволит наряду с получением холода для охлаждения и хранения продукции получать значительное количество тепловой энергии. Применение установок ТХУ-14 дает экономии 55 тыс. кВт.ч электроэнергии в год [2].

Кроме того предлагается расширение внедрения энергосберегающих технологий и комплектование потребителей холода соответствующим набором технических средств. Для этого необходимо обеспечить технологические линии агрегатами предварительного охлаждения продукта.

В связи с большим номенклатурным парком холодильного оборудования в АПК должна быть развита и укреплена служба его эксплуатации особенно в хозяйствах, так как во многих случаях обслуживанием занимаются не подготовленные кадры.

Проведение мероприятий по экономии энергоресурсов невозможно без внедрения должного учета электроэнергии и контроля эксплуатационных параметров, влияющих на энергозатраты. Проведенный анализ энергозатрат показывает, что они во многих случаях превышают оптимальные. Это говорит о дальнейших резервах снижения потерь электроэнергии при выработке холода и повышении уровня эксплуатации холодильных установок.

Л и т е р а т у р а

1. Кузьмин М.П. и др. Пути снижения расхода электроэнергии при холодильной обработке и хранении пищевых продуктов. Холодильная техника, № 6, 1979.
2. Чумак И.Г., Шахневич В.И. и др. Экономия энергоресурсов и сокращение потерь продукции при холодильной обработке. - Киев, 1990.

УДК 621.316

В.Г.Шахрай, инженер

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

За последние годы возросла доля использования электроэнергии сельскими потребителями в балансе энергосистемы. Это вызвано увеличением количества электроприводов в личном хозяйстве крестьянства, электрического контрольного оборудования и электробытовых

приборов. Потребители предъявляют повышенные требования к качеству электрической энергии.

Информатизация сельскохозяйственного производства также ставит проблему соответствия норме эксплуатационных параметров электроэнергии таких: как отклонение напряжения SU , размах изменения напряжения δU_{Σ} , доза колебаний напряжения ψ , коэффициент несинусоидальности кривой напряжения $K_{НСУ}$, коэффициент обратной последовательности K_{2U} , коэффициент нулевой последовательности K_{0U} , отклонение частоты Δf , длительность провала напряжения Δt_n , импульсное напряжение $\delta U_{\text{имп}}$, количество отключений электроэнергии и их продолжительность.

В последнее время остро встала проблема несанкционированного подключения электроприемников, воровства электроэнергии с использованием технических средств, нарушающих работу электросчетчиков, учет электроэнергии только по единому тарифу (что не стимулирует такой важный фактор энергосбережения как распределение электрической нагрузки по часам суток), на низком уровне контроль за своевременной оплатой электроэнергии.

Для решения этих проблем необходим комплекс технических средств по управлению стоимостью и качеством электроэнергии.

Вопросы стоимости и качества электроэнергии взаимосвязаны [2]. Новой проблемой в этой области является генерация гармоник в питающей сети при включении частотно-регулируемого электропривода, конденсаторов, элементов с нелинейной вольт-амперной характеристикой. Это приводит к снижению коэффициента мощности, что означает увеличение реактивной составляющей полного тока, не производящей полезной работы, то есть часть потребляемой мощности идет на покрытие потерь. Это приводит к увеличению стоимости электрической энергии. Применение энергосберегающих установок, искажающих кривую напряжения, не должно приводить к уменьшению коэффициента мощности в той мере, когда эффект от энергосбережения покрывается увеличением потерь в энергосистеме. В настоящий момент экономия электроэнергии считается на счетчике, что в свете описанного выше представляется неправильным.

Требует решения проблема более рационального использования мощности электрических генераторов и распределения электрической энергии. Один из аспектов проблемы - снижение расхода элек-

троэнергии в пик спроса, когда возникает дефицит мощности в энергосистеме. Это приводит к использованию мощностей источников напряжения, имеющих худшие технико-экономические показатели. Необходимы цифровые телекоммуникационные сети для управления стоимостью и качеством электроэнергии.

Телекоммуникационные сети будут работать в совокупности с цифровой диагностической аппаратурой с базами данных, автоматическими анализаторами и выводом текстовой информации на дисплей компьютера. С помощью этой аппаратуры могут успешно выявляться причины ухудшения качества электроэнергии и их местонахождения [2].

Цифровые телекоммуникационные сети на первом этапе информатизации электроснабжения охватят линии электропередачи напряжением выше 1000 В и будут представлять собой волоконно-оптические линии связи. Они подвешиваются на линии электропередачи.

Волоконно-оптические кабели имеют следующие преимущества: передача оптических сигналов видимого и инфракрасного диапазонов со скоростью до 100 Мбит/с; небольшие потери до 2 дБ/км на расстояние до 12 км; малый физический объем; отсутствие собственного электромагнитного излучения, повышенная устойчивость к помехам, шуму, наводкам и электрическим разрядам, а также к воздействию температуры, влаги химических реагентов и радиации; возможна передача гибридного графика, состоящего из изображения, звука и данных [1].

При применении волоконно-оптических кабелей, кроме обеспечения передачи данных о работе энергосистемы, возможна и персональная связь. Волоконно-оптические кабели и автоматизированные рабочие места работников энергосистемы образуют информационно-вычислительную сеть.

Автоматизированное рабочее место (АРМ) представляет собой сложноорганизованный комплекс аппаратно-программных средств, позволяющий в доступной форме автоматически выполнять процесс обработки информации и программное управление им при решении специфических задач электроснабжения на рабочих участках пользователей в соответствии с их профессиональным назначением [1].

Оборудование АРМ должно производиться компьютером с 32-разрядным микропроцессором и вычислительной мощностью не ниже, чем у IBM IBM-366.

Волоконно-оптические кабели обеспечивают соединение АРМ между собой и с микропроцессорными системами, находящимися на всех подстанциях.

Микропроцессорные системы будут работать в совокупности с цифровыми измерительными приборами, в которых контролируемая величина преобразуется в цифровой код. Измеряемыми величинами будут параметры электроэнергии (напряжение, ток, частота). Микропроцессорные системы будут обеспечивать следующие функции:

сбор и передачу данных о работе энергосистемы по оптоволоконным кабелям;

выполнение управляющих команд от АРМ работников энергосистемы;

регистрацию аварийных событий по дискретной информации от указательных и промежуточных реле, испытательных блоков, накладок и др.;

регистрацию токов и напряжения аварийного режима по информации от приборов типа МФИ, ФПМ, МИР;

анализа действия измерительных органов и быстродействующих устройств релейной защиты и автоматики с использованием базы данных по уставкам устройств релейной защиты и автоматики;

определение ресурса выключателей.

При использовании контроллера с процессором серии К 580 с параллельными партами ввода-вывода, общей разрядностью 32x32 и двумя последовательными приемопередатчиками, один из которых мультиплексирован, возможен опрос 576 контактных датчиков и восьми приборов типа МФИ, ФПМ или МИР. Для увеличения числа опрашиваемых датчиков возможно увеличение числа контроллеров.

Контроллер опрашивает датчики с дискретностью 10-20 мс. При сборе информации от приборов типа МФИ требуется учет их особенностей. Эти приборы фиксируют электрические параметры на интервале 2-3 периода промышленной частоты, поэтому измерительные органы ступеней защиты с выдержками времени предлагается снабжать датчиками.

По мере создания информационно-вычислительной сети должны решаться вопросы разработки программного обеспечения микропроцессорных систем, АРМ работников энергосистемы и выбора протокола передачи данных.

Структура телекоммуникационных сетей в электроэнергетике зарубежных стран приведена в табл. I.

Таблица I

Виды связи по разным трактам	Доля телекоммуникационных каналов в электроэнергетике, %		
	В 17 странах-членах СИГРЭ на 1.01.1993 г.	В России	
		на 1.01.1994 г.	прогноз на 2006 год
Кабельные линии	24,0	51,1	21,0
Радиосистемы	43,0	9,4	10,0
Спутниковые линии	-	-	8,0
Волоконно-оптические сети	9,0	2,8	45,0
Линии электропередачи	12,0	34,7	15,0
Арендованные тракты	12,0	2,0	1,0

Второй этап предполагает замену индукционных счетчиков на датчики электрической энергии и подсоединение их посредством витых пар к средству сопряжения с микропроцессорной системой подстанции.

Функции, выполняемые микропроцессорной системой, расширяются на функцию обработки и сохранения информации о электро- и теплотреблении и функцию предоставления этой информации соответствующим потребителям для оплаты.

После осуществления первого и второго этапов возможен переход к третьему этапу. Он предполагает оплату электроэнергии по мгновенному тарифу, доведение информации потребителям о времени наличия дешевой энергии в течение суток.

Становится возможным оперативное пресечение воровства электроэнергии при помощи сравнения суммы показаний датчиков электроэнергии потребителей и цифрового счетчика электроэнергии на подстанции.

Л и т е р а т у р а

1. Суша Н.В., Чернышев В.О. Новые информационные технологии в системе высшего образования. - М.: Ин-т упр. 1995.
2. Экономия энергии. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Экспресс-информация. - М.: ВИНИТИ, 1995, № 9.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА МОТОРНОГО МАСЛА ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ПЛАСТИНАМИ С ПОВЕРХНОСТНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯМИ В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

Для интенсификации и улучшения качества очистки отработанных моторных масел требуется снижение его вязкости, что может достигаться нагревом масла до 75-80°C. Наиболее предпочтительно вести нагрев вертикально установленными пластинами с поверхностно-распределенными электронагревателями (ПЭН), так как они имеют невысокую удельную поверхностную мощность, равномерное температурное поле, малую температурную инерционность, а вертикально расположенные пластины исключают осаждение на них содержащихся в масле загрязнений, а следовательно, и их пригорание.

Для изучения динамических характеристик процесса нагрева масла проведены эксперименты по определению температуры на контактной поверхности теплообмена (КПТ) и по высоте объема масла при естественной установившейся конвекции. Температура масла на КПТ измерялась хромель-копелевыми термопарами с помощью потенциометра постоянного тока ПП-63, а также самонизирующего потенциометра ЭПП. Испытавались 4 пластины площадью 770 см². Эксперимент проводился при количестве пластин 1, 2, 3 и 4 с изменением расстояния между ними с интервалом в 0,02 м. Для двух пластин оно составляло 0,07 м, для 3-х - 0,05, для 4-х - 0,03 м.

Удельная поверхностная мощность пластины изменялась с помощью регулятора напряжения типа ТС-4М. Повторность опыта для каждой пластины была пятикратной. Наибольшее отклонение от средних значений не превышало 4,3 %. На рис.1 приведены экспериментальные значения температуры пластины в зависимости от удельной поверхностной мощности при различном удельном тепловом потоке (числе пластин).

Анализ результатов эксперимента показывает, что с увеличением числа пластин, а равносильно и теплового потока в масло, коэффициент теплоотдачи пластины уменьшается. При конструировании узла нагрева следует учитывать этот фактор, а также допустимую максимальную температуру изоляционного материала резистивного слоя ПЭН. Для стекломали марки 127 максимальная температура нагрева составляет 240 °С [1]. В этом случае для узла нагрева из 3-х пластин максимальная удельная поверхностная мощность не должна превышать 25 кВт/м². Если учесть, что длину пластины с ПЭН выбирают равной внутреннему

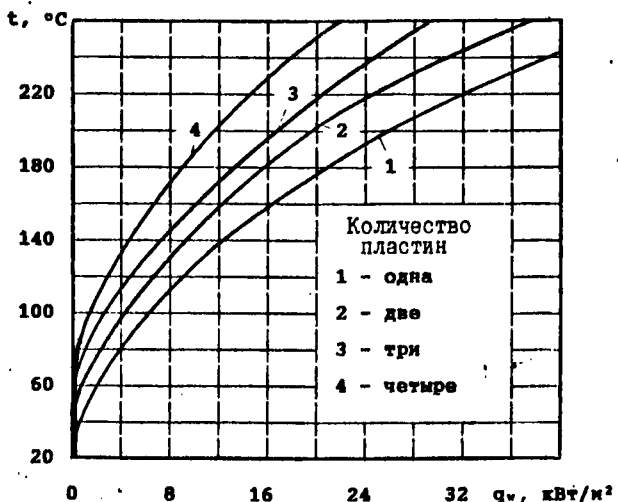


Рис.1. Зависимость температуры на КПП от удельной поверхностной мощности и числа пластин при установившейся естественной конвекции.

размеру длины основания бака, то ее высоту можно определить из следующей зависимости:

$$L \geq \frac{\text{ШН}}{150} q_w, \text{ так как } q_w = \frac{\text{ПШН}}{2\text{пF}} q_v = \frac{\text{ПШН}}{2\text{пГЛ}} q_v \leq 25 \text{ кВт/м}^2, \quad (1)$$

где q_v - удельный тепловой поток мощности нагрева, кВт/м³;

q_w - удельная поверхностная мощность ПЭН, кВт/м²;

L, П - соответственно, высота и длина пластины, м;

F - площадь пластины, м²;

п - количество пластин, шт.;

Н - высота уровня масла в баке, м;

Ш - ширина основания бака, м.

В случае, когда удельная поверхностная мощность пластины задается постоянной ($q_w = q_{wл} = \text{const}$) следует определить допустимую температуру нагрева масла, чтобы не произошел тепловой пробой изоляции ПЭН. Средней температурный напор пластины [3]:

$$\theta = q_w \left(\frac{1}{\alpha} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) = \text{const}, \quad (2)$$

- где θ - средний температурный напор пластины, °С;
 α - коэффициент теплоотдачи, Вт/м²;
 δ_i - толщина i -го корпусно-изоляционного слоя ПЭН, м;
 λ_i - коэффициент теплопроводности i -го слоя, Вт/(м град);
 n - число слоев.

Коэффициент теплоотдачи определяется по формуле $\alpha = \frac{\lambda N_u}{L}$, (3)

где N_u - число Нуссельта, определяемое по формуле, приведенной в [2],

$$Nu = 0,59(GrPr)^{0,25} \text{ (при } GrPr = 10^4 \dots 10^9 \text{);}$$

$$Gr = \frac{g\beta L^3(t_{wd} - t_s)}{\nu^2} \text{ - число Грасгофа;}$$

- Pr - число Прандтля;
 λ - коэффициент теплопроводности масла Вт/(м град);
 t_{wd} - допустимая температура на КПТ ПЭН, °С;
 g - ускорение свободного падения, м/с²;
 t_s - средняя по объему температура масла, °С;
 β - коэффициент объемного расширения, град⁻¹;
 ν - коэффициент кинематической вязкости, м²/с.

Так как $\theta = t_{w1} - t_{s1} = t_{w2} - t_{s2} = t_{wd} - t_{s2}$, откуда

$$t_{s2} - t_{wd} = \theta, \quad (4)$$

- где t_{s1} - температура масла на уровне нижней кромки пластины, °С;
 t_{s2} - температура масла на уровне верхней кромки пластины, °С;
 t_{w1} , t_{w2} - температура на КПТ пластины, соответственно, у нижней и верхней кромки, °С.

Характер изменения температуры при постоянной удельной поверхностной мощности приведен на рис. 2. Изучение зависимостей показывает, что при нагреве масла пластинной ПЭН с постоянной удельной поверхностной мощностью, равной, например, 25 кВт/м^2 , для обеспечения работоспособности нагревателя следует контролировать температуру масла у верхней границы пластины, предельная величина которой не должна превышать 110°C . В другом случае, когда нужно обеспечить постоянную температуру на КПТ ПЭН, ее допустимое значение достигается путем расчета удельного поверхностного сопротивления резистивного слоя и изготовления его термозависимым.

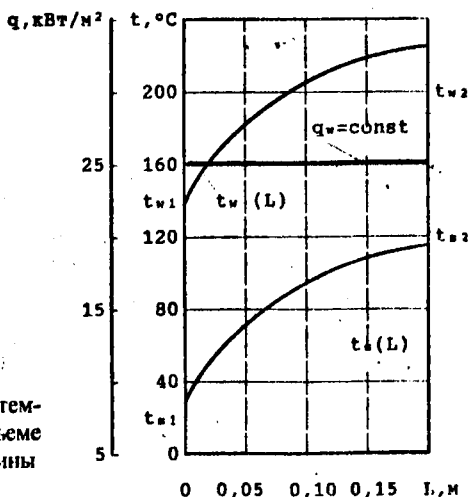


Рис. 2. Графики распределения температуры на КПТ и в объеме масла по высоте пластины при $q_w = 25 \text{ кВт/м}^2$.

Л и т е р а т у р а

1. Кудрявцев И.Ф., Герасимович Л.С. Полупроводниковые тепловые электроннагреватели в сельском хозяйстве. - Мн.: Ураджай, 1973.
2. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи: Пер. с англ. - М.: Мир, 1983.
3. Низкотемпературные электроннагреватели в сельском хозяйстве / Герасимович Л.С., Степанов В.П., Коротинский В.А. и др. Под общей ред. Л.С.Герасимовича. - Мн.: Ураджай, 1984.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Введение	3
ГЕРАСИМОВИЧ Л.С., ПРИЩЕЛОВ М.А., КИСЕЛЬ А.К., ВЛАСЕНКО А.П. Оптимизация энергетических режимов установки локального обогрева поросят-сосунов и температурных режимов свинарника-маточника	5
РУСАН В.И. Энергетическая ситуация и перспективы развития систем энергообеспечения АПК	20
— КОРОТКЕВИЧ В.А. Проблемы и пути совершенствования теплоснабжения агропромышленного комплекса	27
КУДРЯВЦЕВ И.Ф. Энергосберегающее регулирование электроприводов сельскохозяйственных машин	48
РУСАН В.И., GERMANOVICH A.П., ГРИШАЕВА Г.А., НОВОСЕЛЬСКАЯ Л.В., ВОЛК А.М., МАРКОВ В.А. Моделирование экспериментальной установки для получения электролизного водорода с использованием возобновляемых источников энергии	54
— ХОДЫКО С.С. Способ и устройство для быстрого изменения скорости движения рабочего органа машин с кривошипно-кулисным рычажным механизмом привода	61
— КОТ С.Н., КОРОТКЕВИЧ В.А. Эффективность водоподготовки и очистки теплообменных поверхностей котлов	70
ЗАЯЦ Е.М., НИКОЛАЕНОК М.М., ЮЩЕНКО И.Б., КАРДАШОВ П.В., ЗАЯЦ Е.Е. Температурное поле в среде ограниченной токоподводящими электродами	79
КУДРЯВЦЕВ В.И. Новые возможности автоматизации управления самосплавными системами навозоудаления периодического действия	89
СИАСТИДИ В.П., ЖУКОВСКИЙ А.И. К вопросу о взаимовлиянии компенсирующих устройств и надбавок трансформаторов при оптимизации параметров сельских электрических сетей 0,38 кВ	101
— КОТ С.Н., ШАРОВАР Л.В. Исследование параметров магнитоэстрикционного аппарата для ультразвуковой обработки котловой воды	107

— ХОДЯКО С.С., МАЛАШЕНКО Н.Л., СОРОКИН Э.Л., КОЛОНЧУК В.М. Пути снижения энергопотребления оборудования овцеводства	119
— ШЕВЧУК Н.О., КОРНИЕНКО В.И. Обоснование параметров родокольцевых вакуумных насосов малой производительности	133
РУСАН В.И., СЕЛИЦКИЙ В.Ф., БАСИЛЕВИЧ В.П. Потенциал и перспективы использования солнечной энергии в АПК	138
— КОСТРОМА В.В. Основы теории процесса получения моющего и дезинфицирующего растворов	143
МАРЧЕНКО С.А., СКРОБКОВ В.О., КАРАБАНЮК П.В., ШАХРАЙ В.Г. К разработке системы энергооборудования для сельскохозяйственного производства	145
МАЛАШЕНКО Н.П., ХОДЯКО С.С., КОЛОНЧУК В.М. Исследование мойки сосковой резины доильных аппаратов	152
— ПАВЛОВИЧ С.В., ХИЛЬКО В.М. Исследование параметров электролизера для получения моющего и дезинфицирующего растворов доильного оборудования	154
СВИДЕРСКАЯ О.В., СВИДЕРСКИЙ В.Ф. Экологические проблемы проектирования и строительства электрических сетей	158
ГОРЕУНОВ Б.Ф., ГАТАЛЬСКИЙ С.Г., САВИЦКИЙ В.Н., КУДИНА Я.Ч. К вопросу применения в сельскохозяйственном производстве воздушных турбоэнергетических установок для совместного производства тепла и холода ...	169
КОЛЕСНЕВ Г.Ф., МАЙЗЕЛЬСОН И.М. О нормировании расхода тепловой энергии на обогрев зданий	173
КОРОЛЬКОВ Л.Д., БАРАБАНОВА А.Г. Перспектива развития биогазовой технологии в Республике Беларусь	178
МАРЧЕНКО С.А., КАРАБАНЮК П.В., СКРОБКОВ В.О., ВОЛКОВА Т.Д. К вопросу изменения структуры энергопотребления предприятий АПК	182
НОВАЧУК Н.Н., ГЕРМАН П.А. Анализ затрат энергоресурсов в технологических процессах охлаждения и хранения молока	189

— ШАХРАЙ В.Г. Направления развития телекоммуникационных сетей в электроэнергетике	194
КРУТОВ А.В. Исследование нагрева моторного масла вертикальными пластинами с поверхностно-распределенными электронагревателями в условиях естественной конвекции	199
Содержание	202

Проблемы развития энергетики и электрификации АПК

Сборник научных трудов

Ответственный за выпуск В.И.Русан

Редактор Б.С.Котюк

Подписано в печать 17.02.98 года. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Офсетная печать. Усл.печ.л. 14,7. Уч.-изд.л. 12,0. Тираж 50 экз. Заказ 76. Цена договорная.

Отпечатано на ротапринтере БелНИИНагрЭнерго, 220024, Минск-24, Стебсенева, 20.