

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ
И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области сельского хозяйства
в качестве учебно-методического пособия для студентов учреждений,
обеспечивающих получение высшего образования I ступени*

Горки
БГСХА
2024

УДК 331.78:614.8(075.8)

ББК 68.9:51я73

Б85

Одобрено Научно-методическим советом УО БГСХА.

Протокол № _____ от _____ 2024 г.

Авторы:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *В. Н. Босак*;
кандидат технических наук, доцент *П. Ю. Крупенин*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. С. Мастеров*;
кандидат технических наук, доцент *К. Л. Пузевич*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Е. К. Соколова*;
кандидат технических наук, доцент *А. Н. Чайчиц*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Е. И. Шершнева*;
старший преподаватель *К. А. Мачёхин*;
старший преподаватель *А. И. Подлинский*

Под общей редакцией *В. Н. Босака*

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент *В. Г. Андруш*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. В. Домненкова*

Безопасность жизнедеятельности человека. Основы энергосбережения: практикум / *В. Н. Босак* [и др.]. – Горки : БГСХА, 2024. – 105 с.

Изложены практические работы для изучения учебной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности человека. Основы энергосбережения».

Адресуется студентам высших учебных заведений сельскохозяйственных специальностей, практическим работникам, преподавателям. Будет полезен широкому кругу читателей, интересующихся вопросами энергосбережения.

УДК 331.78:614.8(075.8)

ББК 68.9:51я73

© УО БГСХА, 2024

ВВЕДЕНИЕ

Энергосбережение – это организационная, научная, практическая, информационная деятельность государственных органов, юридических и физических лиц, направленная на снижение расхода (потерь) топливно-энергетических ресурсов в процессе их добычи, переработки, транспортировки, хранения, производства, использования и утилизации.

Энергосбережение является составной частью *энергетической безопасности* – состояние защищенности страны, ее граждан, общества, государства, экономики от угроз надежному топливно- и энергообеспечению. Эти угрозы определяются как внешними (геополитическими, макроэкономическими, конъюнктурными) факторами, так и собственно состоянием и функционированием энергетического сектора страны.

Дисциплина «Основы энергосбережения» является составной частью интегрированной учебной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности человека».

Основы энергосбережения – это дисциплина, предметом изучения которой является система знаний и умений эффективного использования топливно-энергетических ресурсов.

Задачей изучения дисциплины «Основы энергосбережения» является формирование сознательного и ответственного отношения к использованию энергетических ресурсов на основе мирового опыта и государственной политики Республики Беларусь в области энергосбережения.

Практикум «Безопасность жизнедеятельности человека. Основы энергосбережения» предназначен для студентов высших аграрных учебных заведений по направлению образования «Сельское хозяйство», а также студентов всех специальностей и направлений образования, учебными планами которых предусмотрено изучение раздела «Основы энергосбережения».

Авторы выражают признательность рецензентам, заведующему кафедрой «Управление охраной труда» УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», кандидату технических наук, доценту В. Г. Андрушу и доценту кафедры безопасности жизнедеятельности УО «Белорусский государственный технологический университет», кандидату сельскохозяйственных наук А. В. Домненковой за ценные замечания и пожелания в ходе подготовки практикума и

подробное рассмотрение представленного материала.

Практическая работа № 1 «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ»

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Общие сведения об энергосбережении в зданиях и сооружениях

Здания и сооружения являются не только потребителями электрической энергии, но и теплоты, которая используется для нужд отопления и горячего водоснабжения. В Республике Беларусь почти 50 % генерируемой теплоты потребляется именно системами теплоснабжения зданий. При этом теплота используется весьма неэффективно, и имеются резервы по ее экономии. Оценки показывают, что в фонде жилых и нежилых зданий может быть сэкономлено в год за счет энергосберегающих мероприятий около 50 % потребляемой энергии.

Здания сооружаются в соответствии со строительными нормами и правилами. Одна из характеристик этих норм – термическое сопротивление наружных ограждений. Норматив на термическое сопротивление постоянно повышается. В связи с этим здания старой застройки являются неэффективными.

В Беларуси потребление энергии на отопление жилья составляет от 80 до 120 МДж ($\text{м}^2/\text{год}$). В Финляндии, где климат более суровый, этот показатель равен 45–50 МДж ($\text{м}^2/\text{год}$). Теплопотери через ограждающие конструкции зданий у нас составляют до 80 % всех общих потерь тепла, в развитых странах Западной Европы они составляют 38–44 %, т. е. в 2 раза меньше. Потери энергии через ограждающие конструкции распределяются следующим образом:

- через стены составляют 42–49 %;
- через окна – 32–35 %;
- подвальные и чердачные перекрытия – 11–18 %;
- через входные двери – 5–15 %.

В многоэтажных зданиях потери тепла через подвальные и чердачные перекрытия будут минимальными.

Большинство теплоты теряется через наружные стены и окна. Тепло теряется как за счет теплообмена, так и за счет воздухообмена, и его потери зависят от наружного и внутреннего климата. Утепление стен и модернизация окон позволяют повысить их термическое сопротивление в соответствии с действующими нормами.

Уменьшить расход теплоты на отопление можно также путем вне-

дрения автоматизированных систем регулирования отпуска теплоты. Регулирование может проводиться на тепловых пунктах для здания в целом или группы зданий, или индивидуально на отопительных приборах.

В настоящее время во многих странах имеются проекты энергоэффективных зданий (домов) (рис. 1).

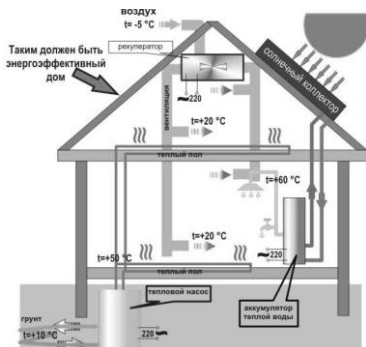


Рис. 1. Основные системы энергоэффективного дома

Энергоэффективный дом – дом, который построен или реконструирован так, что позволяет расходовать в несколько раз меньше энергии на его строительство, эксплуатацию и утилизацию после окончания срока службы по сравнению с традиционно построенными домами.

Расход ресурсов на отопление таких строений составляет порядка 10 % по сравнению с обычным домом, а экономия, соответственно, 80–90 %.

Энергоэффективные дома учитывают все достижения науки и техники. Для снижения потребления теплоты в них утилизируются энергетические отходы сточных вод, вентиляционного воздуха. Применяются трехслойные стены с утеплителем, стеклопакеты. Эффективно используется энергия Солнца элементами пассивной системы отопления и для горячего водоснабжения.

1.2. Основные понятия о теплопередаче

Перенос энергии в форме тепла (перенос тепла), происходящий между телами, имеющими различную температуру, называется теплообменом. Теплообмен между телами представляет собой обмен энер-

гией между молекулами, атомами и свободными электронами. В результате теплообмена интенсивность движения частиц более нагретого тела снижается, а менее нагретого – возрастает.

Теплопередача – наука о процессах распространения тепла. Законы теплопередачи лежат в основе тепловых процессов, протекающих с подводом или отводом тепла. Различают три принципиально различных элементарных способа распространения тепла: теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение.

Теплопроводность представляет собой перенос вследствие беспорядочного (теплого) движения микрочастиц, непосредственно соприкасающихся друг с другом. Это движение может быть либо движением самих молекул (газы, капельные жидкости), либо атомов (в кристаллической решетке твердых тел), или диффузией свободных электронов (в металлах). В твердых телах теплопроводность является основным видом распространения тепла.

Конвекцией называется перенос тепла вследствие движения и перемешивания макроскопических объектов газа или жидкостей. Перенос тепла конвекцией возможен в условиях естественной или свободной конвекции, обусловленной разностью плотностей в различных точках объема газа (жидкости), возникающей вследствие разности температур в этих точках или в условиях вынужденной конвекции при принудительном движении объема жидкости, например, при перемешивании мешалкой или при перекачивании насосами и т. д.

Тепловое излучение – это процесс распространения электромагнитных колебаний с различной длиной волн, обусловленный тепловым движением атомов или молекул излучающего тела. Все тела способны излучать энергию, которая поглощается другими телами и снова превращается в тепло.

Основным законом передачи тепла теплопроводностью является закон Фурье, согласно которому количество тепла dQ , передаваемое посредством теплопроводности через элемент поверхности dF , перпендикулярный тепловому потоку за время dt прямо пропорционально температурному градиенту $\partial t / \partial n$, поверхности dF и времени dt :

$$dQ = -\lambda \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) \cdot dF \cdot dt, \quad (1)$$

или количество тепла, передаваемое через единицу поверхности в единицу времени.

$$q = \frac{Q}{F \cdot \tau} = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n}, \quad (2)$$

Величина q называется плотностью теплового потока (удельным тепловым потоком).

Знак минус, стоящий перед правой частью уравнений (1) и (2), указывает на то, что тепло перемещается в сторону падения температуры.

Коэффициент пропорциональности λ называется коэффициентом теплопроводности.

Таким образом, коэффициент теплопроводности λ показывает, какое количество тепла проходит вследствие теплопроводности в единицу времени через единицу поверхности теплообмена при падении температуры на 1 градус на единице длины нормали к изотермической поверхности. Величина λ , характеризующая способность тела проводить тепло путем теплопроводности, зависит от природы вещества, его структуры, температуры и некоторых других факторов. При обычных температурах и давлениях лучшими проводниками тепла являются металлы и худшими – газы. Так, ориентировочные значения λ (Вт/м·К) для металлов при 0°С составляют: для чистой меди – 394; для углеродистой стали – 52; для легированной стали – 25.

Для воздуха при 0°С $\lambda \approx 0,027$ Вт/м·К. Низкой теплопроводностью обладают теплоизоляционные и многие строительные материалы. Этот факт объясняется тем, что эти материалы имеют пористую структуру, причем в их ячейках заключен воздух, плохо проводящий тепло. Коэффициенты теплопроводности газов возрастают с повышением температуры. Для большинства жидкостей значения λ , наоборот, уменьшаются при увеличении температуры.

1.3. Теплопередача через однородную плоскую стенку

В многочисленных практических задачах обычно известной является не температура поверхности стенки, а температуры $t_{ж1}$ и $t_{ж2}$ сред, омывающих эти поверхности и коэффициенты теплоотдачи к ним a_1 и a_2 (рис. 2).

Температуры поверхностей стенки неизвестны, обозначим их tc_1 и tc_2 .

Сложный процесс переноса теплоты от одной среды через стенку к другой среде (теплопередачу) состоит из трех этапов:

1. теплоотдачи от среды с температурой $t_{ж1}$ к поверхности стенки, имеющей температуру tc_1 ;
2. теплопроводности через стенку;
3. теплоотдачи от поверхности стенки с температурой tc_2 к среде, имеющей температуру $t_{ж2}$.

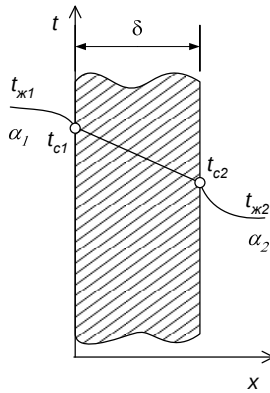


Рис. 2. Теплопередача через однородную плоскую стенку

Первый и третий этапы процесса описываются законом Ньютона-Рихмана, второй – уравнением теплопроводности через однородную плоскую стенку.

Итак, тепловой поток, передаваемый от горячего теплоносителя к стенке равен, Дж:

$$Q = \alpha_1 \cdot (t_{ж1} - t_{c1}) \cdot F, \quad (3)$$

где F – поверхность стенки, м^2 .

Тепловой поток, проходящий через стенку, представляет собой:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_{c1} - t_{c2}) \cdot F, \quad (4)$$

а удельный тепловой поток (удельная тепловая нагрузка) равен, $\text{Дж/с} \cdot \text{м}^2$:

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_{c1} - t_{c2}) \quad (5)$$

где δ – толщина стенки, м; λ – коэффициент теплопроводности стенки, $\text{Вт/м}^\circ\text{С}$.

Тепловой поток, передаваемый холодному теплоносителю от поверхности стенки:

$$Q = \alpha_2 \cdot (t_{c2} - t_{ж2}) \cdot F, \quad (6)$$

Эту систему можно переписать так, чтобы в левой части каждого равенства осталась разность температур. Тогда:

$$t_{ж1} - t_{ж2} = \frac{Q}{F} \cdot \frac{1}{\alpha_1}, \quad (7)$$

$$t_{c1} - t_{c2} = \frac{Q}{F} \cdot \frac{\delta}{\lambda}, \quad (8)$$

$$t_{c2} - t_{ж2} = \frac{Q}{F} \cdot \frac{1}{\alpha_2}, \quad (9)$$

Эти формулы могут быть использованы для вычисления температур t_{c1} и t_{c2} .

Если просуммировать левые и правые части этих уравнений, то получим:

$$t_{ж1} - t_{ж2} = \frac{Q}{F} \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right), \quad (10)$$

откуда количество переданного тепла теплопроводностью через плоскую стенку можно рассчитать по уравнению:

$$Q = \frac{t_{ж1} - t_{ж2}}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)} \cdot F = k \cdot (t_{ж1} - t_{ж2}) \cdot F, \quad (11)$$

где k – коэффициент теплопередачи и находится по формуле, Вт/м²°C:

$$k = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)}, \quad (12)$$

Коэффициент теплопередачи в отличие от коэффициентов теплопроводности и температуропроводности не является теплофизической характеристикой хотя бы потому, что зависит от толщины стенки.

Коэффициент теплопередачи численно равен количеству теплоты, которая передается от одной среды к другой через стенку площадью 1 м² в единицу времени при единичной разности температур между теплоносителями.

Величину, обратную k , называют термическим сопротивлением теплопередаче, м²°C/Вт:

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (13)$$

Из этой формулы видно, что полное термическое сопротивление теплопередаче состоит из трех частей: сопротивлений теплоотдаче $\frac{1}{\alpha_1}$, $\frac{1}{\alpha_2}$ и термического сопротивления теплопроводности.

1.4. Теплопередача через многослойную плоскую стенку

Рассмотрение данной задачи аналогично предыдущей. Отличие состоит в том, что вместо одного слоя стенка состоит из нескольких слоев, поэтому в формуле для коэффициента теплопередачи в знаменатель будет входить вместо термического сопротивления одного слоя сумма термических сопротивлений теплопроводности всех слоев (рис. 3).

Таким образом, для теплового потока, передаваемого через многослойную плоскую стенку, справедливо уравнение:

$$Q = k \cdot (t_{ж1} - t_{ж2}) F, \quad (14)$$

которое верно и для однослойной стенки.

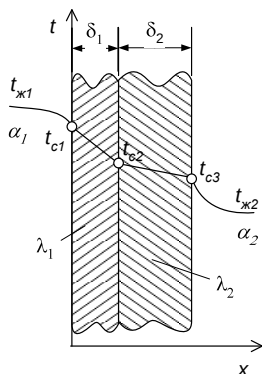


Рис. 3. Теплопередача через многослойную плоскую стенку

Отличие состоит в том, что для многослойной стенки коэффициент теплопередачи равен:

$$k = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right)}, \quad (15)$$

где i – порядковый номер слоя стенок; n – число слоев.

Для установившегося потока через стенку удельный тепловой поток будет:

$$q = \frac{Q}{F} = (t_{ж1} - t_{ж2}) / \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \right) \quad (16)$$

В каждом слое многослойной стенки температура изменяется по закону прямой, однако угол наклона прямой к оси x будет в каждом слое различен, так как различны значения δ и λ .

Используя эти уравнения (14) и (16), а также, учитывая теплопроводность строительных материалов, можно достигать минимальных потерь тепла (Q) в окружающую среду при эксплуатации жилищного фонда, а также зданий любого другого назначения (административных, производственных и т. д.). В большинстве практических случаев взаимодействие теплоносителей происходит через некоторую поверхность раздела, которая может рассматриваться как многослойная твердая стенка.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Задание 1. Здание старой постройки не удовлетворяет современным теплотехническим требованиям, что приводит к значительным потерям теплоты через наружные стеновые ограждения толщиной δ_c с коэффициентом теплопроводности λ_c . После утепления здания теплоизоляционным материалом с коэффициентом теплопроводности λ_u термическое сопротивление наружной стены R стало соответствовать нормативу. Во время отопительного сезона, длящегося с октября по апрель, температура помещения поддерживается равной $t_n = 21^\circ\text{C}$, средняя температура наружного воздуха самого холодного месяца года равна t_u . Коэффициенты теплоотдачи со стороны помещения и наружного воздуха соответственно равны α_n и α_u . Определить толщину изоляции и экономию условного топлива за отопительный сезон после реконструкции здания, приходящейся на $F = 1 \text{ м}^2$ ограждения. Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 1.

Таблица 1

Вариант	δ_c , м	λ_c , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^\circ\text{C}}$	λ_u , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^\circ\text{C}}$	R , $\frac{\text{м}^2^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$	α_n , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2^\circ\text{C}}$	α_u , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2^\circ\text{C}}$	t_u , $^\circ\text{C}$
1	0,20	0,6	0,085	2,50	5,0	25,0	-3
2	0,25	0,7	0,080	2,75	5,5	24,0	-6
3	0,30	0,8	0,075	3,00	6,0	23,0	-9

Методика расчета:

1. Термическое сопротивление наружной стены определяется из выражения:

$$R = \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{\delta_u}{\lambda_u}, \quad (17)$$

где δ_c – толщина стенки, м; δ_u – толщина изоляции стенки, м; λ_c – коэффициент теплопроводности стенки, Вт/м $^\circ\text{C}$; λ_u – коэффициент теплопроводности стенки после утепления здания, Вт/м $^\circ\text{C}$.

Из формулы выше, выразим и найдем толщину изоляции:

$$\delta_n = (R - \frac{\delta_c}{\lambda_c}) \cdot \lambda_n, \quad (18)$$

2. Тепловые потери до реконструкции за отопительный сезон определяются по формуле:

$$Q_1 = \frac{t_n - t_n}{\frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_n}} \tau, \quad (19)$$

где t_n – температура помещения, °C; t_n – температура наружного воздуха, °C; α_n – коэффициент теплоотдачи со стороны помещения, Вт/м²°C; α_n – коэффициент теплоотдачи со стороны наружного воздуха, Вт/м²°C; δ_c – толщина стенки, м; λ_c – коэффициент теплопроводности стенки, Вт/м°С; τ – длительность отопительного сезона, с.

Тепловые потери после реконструкции за отопительный сезон определяются по формуле:

$$Q_2 = \frac{t_n - t_n}{\frac{1}{\alpha_n} + R + \frac{1}{\alpha_n}} \tau, \quad (20)$$

где R – термическое сопротивление наружной стены после реконструкции здания.

3. Длительность отопительного сезона с октября по апрель составляет 212 дня или $\tau = 18316800$ секунд.

4. Экономия тепла за отопительный сезон – это разность тепловых потерь до (Q_1) и после (Q_2) реконструкции здания:

$$Q = Q_1 - Q_2, \quad (21)$$

5. Экономия условного топлива находится по формуле:

$$\Delta B = \frac{\Delta q}{Q_{y.t.}} \cdot F \cdot \tau, \quad (22)$$

где Δq – изменение плотности теплового потока после реконструкции здания, Дж/с·м²; F – поверхность теплообмена, м²; τ – время отопительного периода, с; $Q_{y.t.}$ – постоянная условного топлива равная 29,3 МДж/кг.

Изменение плотности теплового потока после реконструкции – это разность плотности теплового потока до (q_1) и после (q_2) утепления здания.

$$\Delta q = q_1 - q_2, \quad (23)$$

Плотность теплового потока до утепления здания определяется по формуле:

$$q_1 = k_1 \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{н}}), \quad (24)$$

где k_1 – коэффициент теплопередачи до утепления здания и находится по формуле:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_i}}, \quad (25)$$

Плотность теплового потока после утепления здания определяется по формуле:

$$q_2 = k_2 \cdot (t_i - t_i), \quad (26)$$

где k_2 – коэффициент теплопередачи после утепления здания и находится по формуле:

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + R + \frac{1}{\alpha_i}}, \quad (27)$$

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определения понятиям энергосбережение, энергетическая безопасность, энергетический кризис.
2. Перечислите основные пути потери тепла из дома.
3. Какие Вы знаете приемы снижения потерь тепловой энергии в доме?
4. Дайте определение «энергоэффективный дом» и назовите его основные характеристики.
5. Приведите и охарактеризуйте закон передачи тепла.
6. Что такое теплопередача и коэффициент теплопередачи?
7. Охарактеризуйте термин «термическое сопротивление теплопередачи» и приведите соответствующую формулу.
8. Как происходит теплопередача через однородную плоскую стенку?
9. Как происходит теплопередача через многослойную плоскую стенку?

Практическая работа № 2 **«ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ** **И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ»**

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Когда речь касается анализа энергоэффективности экономики, агрегирование (или, наоборот, дифференцирование) может происходить по видам энергии: электрическая, тепловая и т. д. Несмотря на то, что наибольший или, вернее, более доступный потенциал энергосбережения сосредоточен в использовании тепловой энергии, повышение эффективности использования электрической энергии, в том числе с точки зрения его менеджмента, представляет собой не менее важную задачу.

Электрическая энергия обладает неоспоримыми преимуществами перед всеми другими видами энергии. Ее можно передавать по проводам на большие расстояния со сравнительно небольшими потерями и несложно распределять между потребителями. Благодаря этому электрическая энергия является наиболее распространенным и удобным видом энергии. Она представляется уникальной с точки зрения универсальной применимости, регулируемости и способности эффективно выполнять множество задач. Но главное достоинство состоит в том, что электрическую энергию с помощью достаточно простых устройств с высокой эффективностью можно превращать в другие виды энергии.

Освещение, нагрев и охлаждение, термическая и механическая обработка, медицинские приборы и оборудование, компьютеры, средства коммуникации – лишь некоторые услуги, которые электричество предоставляет все увеличивающемуся населению земного шара.

При особом значении электроэнергии для функционирования всех секторов экономики дефицит ее имел бы тяжелые последствия. Однако финансирование строительства мощных электростанций – весьма дорогое мероприятие: электростанция мощностью 1000 МВт обойдется в среднем в 1 млрд долларов США. По этой причине производители и потребители электроэнергии оказываются перед выбором: либо вырабатывать требуемое количество электроэнергии, либо сокращать потребность в ней, либо решать обе задачи одновременно.

Потребление электроэнергии – форма наиболее быстрорастущего конечного энергоиспользования. Растущая значимость электроэнергии

является следствием нескольких факторов, включающих быстрое внедрение электротехнологий и гибкое и надежное электроснабжение.

В то же время существует огромный потенциал повышения энергоэффективности в производстве и использовании электроэнергии, реализация которого стимулируется усилиями правительств и законами рынка. Чтобы определить основные направления повышения эффективности потребления электроэнергии, необходимо изучить удельные веса отдельных областей конечного использования и эффективность электротехнологических процессов. Но так как существуют сотни различных видов потребителей, выделяют, как правило, несколько основных, составляющих 60–75 % от общего потребления электроэнергии.

Потенциал повышения эффективности является экономически целесообразным исходя из срока окупаемости инвестиций, который не должен превышать 5 лет.

Использование электроэнергии в промышленности приходится в основном на три категории потребителей: привод, технологические процессы (в большинстве тепловые) и освещение.

Потребление электроэнергии приводом (электродвигатели) варьирует в достаточно широком диапазоне в зависимости от типа двигателей (постоянного тока, синхронные или индукционные), их мощности (размеров) и применения.

Второй по величине потребитель, технологические процессы, обычно менее однороден, чем другие категории. Выделяют три основные подгруппы: электроэнергия, непосредственно генерирующая тепло; электрохимические процессы; электродуговые печи, используемые в основном в производстве чугуна и стали.

Доля освещения в общем потреблении электроэнергии промышленностью составляет 4–11 %. Эффективность промышленного освещения в целом существенно выше и доля его в общем потреблении электроэнергии меньше, чем в жилищно-бытовом и социальном секторах.

Энергоэффективность электроосветительных приборов определяется световой отдачей. Повышение энергоэффективности освещения может быть достигнуто не только заменой источников света, но и другими способами. К ним относятся рациональное размещение источников света и выключателей, оснащение светильников отражателями, замена нескольких маломощных ламп на одну более мощную, комбинирование местного и общего освещения, периодическая чистка светильников и их техническое обслуживание. В слабоосвещенных зонах

протяженных и подсобных помещений в дневное время может быть увеличена доля естественного освещения за счет специальных технических средств: световых фонарей и досок, световодов. Еще одним резервом для снижения потребления электроэнергии является использование систем управления освещением, в том числе автоматизированных.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Определение годового расхода электрической энергии энергопотребляющим оборудованием

Годовой расход электроэнергии W (кВт·ч) энергопотребляющим оборудованием определяется по формуле:

$$W = P_y \cdot K_n \cdot T \cdot n, \quad (1)$$

где P_y – установленная мощность электроприемника, кВт; K_n – коэффициент использования установленной мощности (табл. 1); T – число часов работы оборудования за расчетный период, ч; n – количество однотипного оборудования, шт.

Таблица 1. Коэффициенты использования установленной мощности электрооборудования

Оборудование	K_n
Электроплиты	0,6
Транспортер	0,2–0,25
Вентиляция	0,6–0,8
Моечная машина витрин, промышленный пылесос	0,8
Кондиционер бытовой	0,7
Холодильное оборудование	0,6

Задание 1. Рассчитать годовой расход электроэнергии энергопотребляющим оборудованием по данным приведенным в табл. 2.

Таблица 2. Исходные данные к заданию 1

Виды энергопотребляющего оборудования									Освещение	
Электроплита			Кондиционер			Холодильник				
P_v	T	n	P_v	T	n	P_v	T	n	P_v	n
1.1	640	2	5.1	5100	4	0.79	5500	5	0.05	20

Примечание. Коэффициент использования установленной мощности для освещения $K_n = 0,8$. Время работы осветительных установок 2450 ч.

2.2. Определение суточного и годового потребления

Суточное потребление электроэнергии (кВт·ч) по предприятию (учреждению) на нужды освещения определяется по формуле:

с естественным освещением:

$$W_{\text{сут}} = w_i \cdot S_i \cdot K_o \cdot T, \quad (2)$$

с искусственным освещением:

$$W_{\text{сут}} = w_i \cdot S_i \cdot K_o \cdot T \cdot K_c, \quad (3)$$

где w_i – удельная мощность освещения, зависящая от типа применяемого источника света по i -м помещениям, Вт/м²; S_i – площадь соответствующих помещений, м²; K_o – коэффициент одновременности включения приборов (табл. 3); K_c – коэффициент спроса осветительных нагрузок (табл. 5); T – продолжительность работы осветительных приборов, ч.

Таблица 3. Коэффициент одновременности включения осветительных приборов K_o

Тип помещения	K_o
Для посетителей	0,90
Производственные	0,80
Складские	0,70
Административно-бытовые	0,95
Торговые	0,90

Таблица 4. Коэффициент запаса освещенности K_z

Примеры помещений	K_z				
	при естественном освещении			при искусственном освещении	
	вертикально*	наклонно*	горизонтально*	газоразрядные лампы	лампы накаливания
Кабинеты и рабочие помещения общественных зданий, учебные помещения, лаборатории, читальные залы и залы для совещаний, торговые залы и т. д.	1,2	1,4	1,5	1,5	1,3

*Расположение светопропускающего материала

Годовое потребление электроэнергии на нужды освещения помещений учреждения определяется следующим образом, кВт·ч/год:

$$W_{\text{год}} = W_{\text{сут}} \cdot K_3 \cdot n, \quad (4)$$

где $W_{\text{сут}}$ – суточное потребление электроэнергии, Вт/ч; K_3 – коэффициент запаса освещенности (табл. 4); n – количество рабочих дней учреждения в году.

Таблица 5. Коэффициент спроса осветительных нагрузок K_c

Объект	K_c
Мелкие производственные здания	1,00
Производственные здания, состоящие из отдельных больших пролетов	0,95
Административные здания и предприятия общественного питания	0,90
Производственные здания, состоящие из нескольких отдельных помещений	0,85
Лабораторные и конторско-бытовые здания, лечебные, детские и учебные учреждения	0,80
Складские здания, подсобные помещения, комнаты ожидания и т. д.	0,60
Наружное и аварийное освещение	1,00

Задание 2. Определить суточное и годовое потребление электроэнергии на нужды освещения торгового зала площадью 28 м^2 . Удельная мощность освещения w_i – $21,4 \text{ Вт/м}^2$. Продолжительность работы осветительной установки в сутки T – $3,5 \text{ ч}$. Освещение – искусственное (лампы накаливания). Количество рабочих дней в году составляет 252 дня.

Площадь торгового зала (S_i) – 28 м^2

Удельная мощность освещения для торгового зала (w_i) – $24,1 \text{ Вт/м}^2$

Продолжительность работы осветительных приборов (T) – $3,5 \text{ ч}$

Количество рабочих дней учреждения в году (n) – 252 дней.

2.3. Расчет потенциала годовой экономии электроэнергии в осветительных установках

Расчет потенциала годовой экономии электроэнергии осуществляется по формуле:

$$\Delta Q_r = \sum_{i=1}^k k_{ni} \sum_{l=1}^k \Delta Q^{ki} \quad (5)$$

где k_{ni} – коэффициент приведения освещенности i -го помещения; n – количество модификаций ИС в рамках определенного типа; ΔQ^{ki} – потенциал экономии электроэнергии для i -го помещения и k -го мероприятия, кВт·ч/год.

Расчет коэффициента приведения освещенности k_{ni} определяют для учета отклонения фактической освещенности от нормативных значений по формуле:

$$k_{ni} = \frac{E_{\phi}}{E_n}, \quad (6)$$

где E_{ϕ} – фактическое значение освещенности в i -м помещении; E_n – нормируемое значение освещенности в i -м помещении по данным инструментального энергетического обследования.

Задание 3. В производственном помещении была установлена пускорегулирующая аппаратура для сокращения расхода электроэнергии в осветительных установках.

Рассчитать потенциал годовой экономии электроэнергии в осветительных установках ΔQ действующего помещения в результате данного мероприятия.

Фактическое значение освещенности составляет $E_{\phi} = 320$ лк, нормируемое значение освещенности по данным инструментального энергетического обследования составило $E_n = 300$ лк. В результате установки пускорегулирующей аппаратуры потенциал экономии электроэнергии (ΔQ^{ki}) составил 200 кВт·ч/год.

2.4. Подбор нагревательного оборудования на отопление жилого дома

Расход теплоты на отопление $Q_{от}$ равен теплопотерям здания, кДж/ч или кВт рассчитывается по формуле:

$$Q_{от} = \alpha_{от} \cdot V \cdot (t_{вн} - t_{нар}), \quad (7)$$

где $\alpha_{от}$ – коэффициент (отопительная характеристика здания), кДж/м³·ч·°C; V – объем здания по наружным размерам, м³; $t_{вн}$, $t_{нар}$ – температура внутри и снаружи здания соответственно, °C.

Объем здания по наружному размеру V (м³) находится по формуле:

$$V = S \cdot H, \quad (8)$$

Площадь поверхности нагрева радиатора F (м²) по формуле:

$$F = \frac{Q_{от}}{K \cdot \Delta t}, \quad (9)$$

где K – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°C); Δt – разница температур горячей воды в радиаторе и воздуха в квартирах.

$$\Delta t = t_p - t_{вн}, \quad (10)$$

Число секций радиатора (N) рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{F}{S_{\text{1секции}}}, \quad (11)$$

Количество отапливаемых помещений рассчитывается как произведение количества квартир на количество этажей на сумму (количества комнат + кухня)

Количество секций радиатора для каждого помещения находим по соотношению:

$$N / \text{Количество отапливаемых помещений} \quad (12)$$

Задание 4. Рассчитать расход теплоты на отопление дома и нужное число секций радиатора (площадь поверхности одной секции – 0,3 м²) используя данные табл. 7.

Таблица 7. Исходные данные к заданию 4

1	Количество квартир	$n_{\text{кв}}$	4
2	Количество этажей	$n_{\text{эт}}$	2
3	Площадь дома, м ²	S	80
4	Высота дома, м	H	6
5	Количество комнат в квартирах	$n_{\text{ком}}$	2
6	Температура горячей воды в радиаторе, °C	t_p	+70
7	Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² ·°C)	K	8
8	Температура воздуха в квартирах, °C	$t_{\text{вн}}$	+20
9	Отопительная характеристика здания, кДж/м ³ ·ч·°C	$\alpha_{\text{от}}$	1,5
10	Температура снаружи, °C	$t_{\text{сн}}$	–23

Контрольные вопросы и задания

1. Какие виды энергии Вы знаете?
2. Дайте характеристику различным видам энергии.
3. Перечислите преимущества электрической энергии перед всеми другими видами энергии.
4. Назовите основных потребителей электрической энергии в промышленности.
5. Какие Вы знаете способы повышения энергоэффективности электроосветительных приборов?

Практическая работа № 3
«МЕТОДИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ»

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

**1.1. Расчет количества энергии, накопленной
в основной продукции за счет применения пестицидов**

Количество энергии, накопленной в основной сельскохозяйственной продукции, полученной от применения пестицидов, определяется по формуле:

$$V = U_{\text{п}} \cdot R_i \cdot l \cdot 100, \quad (1)$$

где V – содержание энергии в основной продукции, МДж; $U_{\text{п}}$ – прибавка урожая основной продукции от применения пестицидов, ц/га; R_i – коэффициент перевода в сухое вещество (прил. 1); l – содержание общей энергии в 1 кг сухого вещества основной продукции, МДж; 100 – коэффициент перевода центнеров в килограммы.

**1.2. Расчет энергетических затрат, связанных
с применением пестицидов**

Общие энергозатраты включают: энергозатраты на производство, доставку в хозяйство, хранение, подготовку раствора, обработку; затраты, связанные с уборкой, транспортировкой и доработкой дополнительного урожая за счет применения пестицидов.

Энергозатраты на применение пестицида E_p (МДж/га) рассчитываются по формуле:

$$E_p = N_z + H_p \cdot L_p \cdot N_p : 100, \quad (2)$$

где N_z – норматив энергозатрат на обработку (прил. 4); H_p – норма расхода препаратов, кг/га или л/га; L_p – энергетический эквивалент группы пестицидов и препаративной формы, МДж/кг (прил. 3); N_p – процентное содержание действующего вещества в препарате.

Затраты на уборку, транспортировку и доработку дополнительного урожая (Z_y) за счет применения пестицида определяются по формуле

$$Z_y = U_{\text{п}} \cdot \mathcal{E}, \quad (3)$$

где $U_{\text{п}}$ – прибавка урожая, ц; $\mathcal{E}$ – энергозатраты на уборку, доработку и реализацию дополнительного урожая, МДж/ц (прил. 2).

По результатам исследований зарубежных и отечественных ученых, затраты на экологический ущерб составляют в среднем 25 % от затрат на применение пестицидов. Тогда:

$$З_3 = E_p \cdot 0,25, \quad (4)$$

Таким образом, общие энергозатраты ($З_0$) включают затраты на производство, доставку в хозяйство, хранение, подготовку раствора, внесение, затраты, связанные с уборкой, транспортировкой и доработкой дополнительного урожая за счет применения пестицида, и затраты на экологический ущерб:

$$З_0 = E_p + З_y + З_3, \quad (5)$$

где E_p – энергозатраты на применение пестицида, МДж/га; $З_y$ – затраты на уборку, транспортировку и доработку дополнительного урожая, МДж/ц; $З_3$ – затраты на экологический ущерб, МДж/га.

1.3. Энергетическая эффективность применения пестицидов

Энергетическая эффективность (энергоотдача, или биоэнергетический КПД) определяется по формуле:

$$q = V : З_0, \quad (6)$$

где q – энергетическая эффективность (энергоотдача или биоэнергетический КПД), ед.; V – содержание энергии в основной продукции, МДж/ц; $З_0$ – общие энергозатраты, МДж/ц.

Пример. Расчет энергетической эффективности применения пестицидов.

Определение энергетической эффективности химической прополки озимой пшеницы.

1. Препарат Диален супер, 46 % в.р., 0,7 кг/га. Расход рабочего раствора – 200 л/га.

2. Прибавка урожая зерна за счет применения гербицида – 5 ц/га.

3. Опрыскивание проводилось навесным опрыскивателем.

Количество энергии, накопленной в основной продукции, составляет:

$$V = Y_n \cdot R_i \cdot l \cdot 100 = 5 \cdot 16,46 \text{ (прил. 1)} \cdot 100 = 8230 \text{ МДж/га}$$

Энергозатраты на применение гербицида (E^p), составили:

$$E_p = N_z \text{ (прил. 4)} + H_p \cdot L_p \text{ (прил. 3)} \cdot N_p : 100 = 184,78 + 0,7 \cdot 420 \times \\ \times 46 : 100 = 320 \text{ МДж/га}$$

Затраты на уборку, транспортировку и доработку дополнительного урожая (Z_y) за счет применения пестицида составили:

$$Z_y = V_n \cdot \mathcal{E} \text{ (прил. 2)} = 5 \cdot 276 = 1380 \text{ МДж/га}$$

Затраты на экологический ущерб составили:

$$Z_o = E_p \cdot 0,25 = 320 \cdot 0,25 = 80 \text{ МДж/га}$$

Общие затраты (Z_o) составляют:

$$Z_o = E_p + Z_y + Z_o = 320 + 1380 + 80 = 1780 \text{ МДж/га}$$

Энергетическая эффективность применения гербицида при этом будет равна:

$$q = V : Z_o = 8230 : 1780 = 4,6 \text{ ед.}$$

С энергетической точки зрения применение гербицида Диален супер для химической прополки озимой пшеницы эффективно, так как энергоотдача в 4,6 раза превышает единицу.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО РАСЧЕТУ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ

Вариант 1. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения гербицидов при возделывании озимой пшеницы. Варианты опыта:

- 1) без химической прополки – 15 ц/га;
- 2) Эстерон 600, 56,4 % КЭ, 0,8 л/га – урожайность 18 ц/га;
- 3) Диален супер, 46,4 % ВР, 0,7 кг/га – урожайность 22 ц/га;
- 4) Лонтрел 300, 30 % ВР, 0,15 кг/га – урожайность 27 ц/га.

Расход рабочего раствора 250 л/га, опрыскивание проводилось навесным опрыскивателем.

Вариант 2. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения фунгицидов при возделывании озимой пшеницы.

Варианты опыта:

- 1) без фунгицидов – 26 ц/га;
- 2) Бампер, 25 % КЭ, 0,5 кг/га – урожайность 31 ц/га;
- 3) Мираж, 45 % КЭ, 1 кг/га – урожайность 32 ц/га;
- 4) Рекс Дуо, 49,7 % КС, 0,6 кг/га – урожайность 30 ц/га.

Расход рабочего раствора 300 л/га, опрыскивание проводилось прицепным опрыскивателем.

Вариант 3. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения инсектицидов при возделывании озимой пшеницы.

Варианты опыта:

- 1) без инсектицидов – 30 ц/га;
- 2) Децис, 2,5 % КЭ, 0,2 кг/га – урожайность 31 ц/га;
- 3) Каратэ, 5 % КЭ, 0,15 кг/га – урожайность 31,5 ц/га;
- 4) Фастак, 10 % КЭ, 0,1 кг/га – урожайность 32 ц/га.

Расход рабочего раствора 200 л/га, опрыскивание проводилось навесным опрыскивателем.

Вариант 4. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения фунгицидов при возделывании ячменя. Варианты опыта:

- 1) без протравливания – 25 ц/га;
- 2) Винцит, 5 % КС, 2 кг/т семян – урожайность 32 ц/га;
- 3) Бункер, 6 % ВСК, 0,5 л/т семян – урожайность 28 ц/га;
- 4) Витавакс 200, 75 % СП, 3 кг/т семян – урожайность 33 ц/га.

Расход рабочего раствора 10 л/т семян, протравливание проводилось агрегатом ПС-10.

Вариант 5. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения инсектицидов при возделывании ячменя. Варианты опыта:

- 1) без инсектицидов – 20 ц/га;
- 2) Суми-альфа, 5 % КЭ, 0,2 кг/га – урожайность 21 ц/га;
- 3) БИ-58 новый, 40 % КЭ, 1 кг/га – урожайность 23 ц/га;
- 4) Моспилан, 20 % РП, 0,05 кг/га – урожайность 23 ц/га.

Расход рабочего раствора 200 л/га, опрыскивание проводилось прицепным опрыскивателем.

Вариант 6. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения гербицидов при возделывании ячменя. Варианты опыта:

- 1) без химической прополки – 20 ц/га;
- 2) Агритокс, 50 % ВК, 1,2 кг/га – урожайность 22,5 ц/га;
- 3) Базагран, 48 % ВР, 3 кг/га – урожайность 25 ц/га;
- 4) Гранстар, 75 % СТС, 0,02 кг/га – урожайность 25 ц/га.

Расход рабочего раствора 250 л/га, опрыскивание проводилось навесным опрыскивателем.

Вариант 7. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения фунгицидов при возделывании ячменя. Варианты опыта:

- 1) без фунгицидов – 30 ц/га;
- 2) Импакт, 25 % СК, 0,5 кг/га – урожайность 34 ц/га;
- 3) Альто супер, 33 % КЭ, 0,4 кг/га – урожайность 33 ц/га;
- 4) Фоликур БТ, 22,5 % КЭ, 1 л/га – урожайность 34 ц/га.

Расход рабочего раствора 300 л/га, опрыскивание проводилось прицепным опрыскивателем.

Вариант 8. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения фунгицидов при возделывании гороха. Варианты опыта:

- 1) без протравливания – 15 ц/га;
- 2) Дивиденд, 3 % КС, 3 кг/т семян – урожайность 20 ц/га;
- 3) Винцит, 5 % КС, 1,5 кг/т семян – урожайность 21 ц/га;
- 4) Колфуго супер колор, 20 % ВС, 2 кг/т семян – урожайность 19 ц/га.

Расход рабочего раствора 10 л/т семян, протравливание проводилось агрегатом ПС-10.

Вариант 9. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения гербицидов при возделывании гороха. Варианты опыта:

- 1) без химической прополки – 15 ц/га;
- 2) Пивот, 10 % ВК, 1 кг/га – урожайность 22 ц/га;
- 3) Гезагард, 50 % КС, 3 кг/га – урожайность 20 ц/га;
- 4) Стомп, 33 % КЭ, 3 кг/га – урожайность 20 ц/га.

Расход рабочего раствора 250 л/га, опрыскивание проводилось навесным опрыскивателем.

Вариант 10. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения инсектицидов при возделывании гороха. Варианты опыта:

- 1) без инсектицидов – 15 ц/га;
- 2) Актеллик, 50 % КЭ, 1 кг/га – урожайность 16 ц/га;
- 3) БИ-58 Новый, 40 % КЭ, 1 кг/га – урожайность 17 ц/га;
- 4) Фуфанон, 57 % КЭ, 1,2 кг/га – урожайность 18 ц/га.

Расход рабочего раствора 150 л/га, опрыскивание проводилось прицепным опрыскивателем.

Вариант 11. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения гербицидов при возделывании сахарной свеклы. Варианты опыта:

- 1) без химической прополки – 150 ц/га;
- 2) Витокс, 72 % КЭ, 4 кг/га – урожайность 280 ц/га;
- 3) Пирамин турбо, 52 % КС, 3 кг/га – урожайность 270 ц/га;
- 4) Голтикс, 70 % КС, 5 кг/га – урожайность 300 ц/га.

Расход рабочего раствора 400 л/га, опрыскивание проводилось навесным опрыскивателем.

Вариант 12. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения гербицидов при возделывании сахарной свеклы. Варианты опыта:

- 1) без химической прополки – 120 ц/га;
- 2) Бетанал прогресс АМ, 18 % КЭ, 1,5+2+2 кг/га – урожайность 230 ц/га;
- 3) Карибу, 50 % ВРП, 0,03 (трехкратно) кг/га – урожайность 220 ц/га;
- 4) Агрибит, 16 % КЭ, 1,5 (трехкратно) кг/га – урожайность 190 ц/га.

Расход рабочего раствора 250 л/га, опрыскивание проводилось прицепным опрыскивателем.

Вариант 13. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения фунгицидов при возделывании сахарной свеклы. Варианты опыта:

- 1) без фунгицидов – 100 ц/га;
- 2) Рекс Дуо, 49,7 % КС, 0,6 кг/га – урожайность 180 ц/га;
- 3) Дерозал, 50 % КС, 0,6 л/га – урожайность 170 ц/га;
- 4) Импакт, 25 % СК, 0,4 кг/га – урожайность 180 ц/га.

Расход рабочего раствора 350 л/га, опрыскивание проводилось навесным опрыскивателем.

Вариант 14. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения гербицидов при возделывании льна-долгунца. Варианты опыта:

- 1) без химической прополки – 4,5 ц/га;
- 2) 2М-4Х, 75 % ВР, 0,75 кг/га – урожайность 5,5 ц/га;
- 3) Хармони, 75 % СТС, 0,025 кг/га – урожайность 7,5 ц/га;
- 4) 2М-4Х, 75 % ВР, 0,5 кг/га + Хармони, 75 % СТС, 0,01 кг/га – урожайность 8 ц/га.

Расход рабочего раствора 200 л/га, опрыскивание проводилось прицепным опрыскивателем.

Вариант 15. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения инсектицидов при возделывании льна-долгунца. Варианты опыта:

- 1) без инсектицидов – 3 ц/га;
- 2) Каратэ, 5 % КЭ, 0,15 кг/га – урожайность 3,5 ц/га;
- 3) БИ-58 Новый, 40 % КЭ, 1 кг/га – урожайность 4 ц/га;
- 4) Фуфанон, 57 % КЭ, 0,8 кг/га – урожайность 4 ц/га.

Расход рабочего раствора 150 л/га, опрыскивание проводилось навесным опрыскивателем.

Вариант 16. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения фунгицидов при возделывании озимого рапса. Варианты опыта:

- 1) без протравливания – 10 ц/га;
- 2) Круйзер Рапс, 32,13 % СК, 15 л/т семян – урожайность 18 ц/га;
- 3) Дерозал 50 % КС, 2,5 кг/т семян – урожайность 12 ц/га;
- 4) Феразим, 50 % КС, 1,5 кг/т семян – урожайность 12,5 ц/га.

Расход рабочего раствора 10 л/га, протравливание проводилось агрегатом «Мобитокс».

Вариант 17. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения гербицидов при возделывании ярового рапса. Варианты опыта:

- 1) без химической прополки – 12 ц/га;
- 2) Теридокс, 50 % КЭ, 2 л/га – урожайность 18 ц/га;
- 3) Бутизан 400, 40 % КС, 2 кг/га – урожайность 17 ц/га;
- 4) Трофи 90, 90 % КЭ, 1,5 кг/га – урожайность 16 ц/га.

Расход рабочего раствора 400 л/га, опрыскивание проводилось прицепным опрыскивателем.

Вариант 18. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения гербицидов при возделывании ярового рапса. Варианты опыта:

- 1) без химической прополки – 10 ц/га;
- 2) Лонтрел 300, 30 % ВР, 0,4 кг/га – урожайность 16 ц/га;
- 3) Тарга супер, 5 % КЭ, 1,5 кг/га – урожайность 15 ц/га;
- 4) Пантера, 4 % КЭ, 1 кг/га – урожайность 13 ц/га.

Расход рабочего раствора 250 л/га, опрыскивание проводилось навесным опрыскивателем.

Вариант 19. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения инсектицидов при возделывании озимого рапса. Варианты опыта:

- 1) без инсектицидов – 25 ц/га;
- 2) Каратэ, 5 % КЭ, 0,15 кг/га – урожайность 28 ц/га;
- 3) Фьюри, 10 % ВЭ, 0,07 кг/га – урожайность 27 ц/га;
- 4) Рогор С, 40 % КЭ, 0,8 кг/га – урожайность 30 ц/га.

Расход рабочего раствора 200 л/га, опрыскивание проводилось прицепным опрыскивателем.

Вариант 20. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения фунгицидов при возделывании ярового рапса. Варианты опыта:

- 1) без фунгицидов – 15 ц/га;
- 2) Альто супер, 33 % КЭ, 0,4 кг/га – урожайность 18 ц/га;
- 3) Фоликур, 22,5 % КЭ, 1 кг/га – урожайность 20 ц/га;
- 4) Импакт, 25 % СК, 0,5 кг/га – урожайность 22 ц/га.

Расход рабочего раствора 350 л/га, опрыскивание проводилось прицепным опрыскивателем.

Вариант 21. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения гербицидов при возделывании картофеля. Варианты опыта:

- 1) без химической прополки – 90 ц/га;
- 2) Зенкор, 70 % ВДГ, 1 кг/га – урожайность 180 ц/га;
- 3) Прометрекс, 50 % СК, 4 кг/га – урожайность 200 ц/га;
- 4) Рейсер, 25 % КЭ, 3 кг/га – урожайность 180 ц/га.

Расход рабочего раствора 350 л/га, опрыскивание проводилось навесным опрыскивателем.

Вариант 22. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения гербицидов при возделывании картофеля. Варианты опыта:

- 1) без химической прополки – 80 ц/га;
- 2) Агритокс, 50 % ВК, 1,5 кг/га – урожайность 100 ц/га;
- 3) Аркаде, 88 % КЭ, 3 л/га – урожайность 110 ц/га;
- 4) Титус, 25 % СТС, 0,05 кг/га – урожайность 150 ц/га.

Расход рабочего раствора 250 л/га, опрыскивание проводилось прицепным опрыскивателем.

Вариант 23. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения фунгицидов при возделывании картофеля. Варианты опыта:

- 1) без фунгицидов – 100 ц/га;
- 2) Дитан ДГ, 75 % ВГ, 1,2 (двукратно) кг/га – урожайность 140 ц/га;
- 3) Акробат МЦ, 69 % СП, 2 кг/га + Дитан ДГ, 75% ВГ, 1,2 кг/га – урожайность 150 ц/га;
- 4) Акробат МЦ, 69 % СП, 2,2 кг/га – урожайность 180 ц/га.

Расход рабочего раствора 300 л/га, опрыскивание проводилось навесным опрыскивателем.

Вариант 24. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения инсектицидов при возделывании картофеля. Варианты опыта:

- 1) без инсектицидов – 80 ц/га;
- 2) Моспилан, 20 % РП, 0,06 кг/га – урожайность 140 ц/га;
- 3) Регент 25, 25 % КЭ, 0,6 кг/га – урожайность 130 ц/га;
- 4) Шерпа, 25 % КЭ, 0,1 кг/га – урожайность 100 ц/га.

Расход рабочего раствора 250 л/га, опрыскивание проводилось прицепным опрыскивателем.

Вариант 25. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения инсектицидов при возделывании картофеля. Варианты опыта:

- 1) без инсектицидов – 120 ц/га;
- 2) Моспилан, 20 % РП, 0,06 кг/га – урожайность 150 ц/га;
- 3) Бульдок, 2,5 % КЭ, 0,15 + 0,15 кг/га – урожайность 175 ц/га;
- 4) Децис экстра, 12,5% КЭ, 0,04 кг/га – урожайность 160 ц/га.

Расход рабочего раствора 200 л/га, опрыскивание проводилось навесным опрыскивателем.

Вариант 26. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения гербицидов при возделывании озимой ржи. Варианты опыта:

- 1) без химической прополки – 25 ц/га;
- 2) Марафон, 37,5 % ВК, 4 кг/га – урожайность 35 ц/га;

- 3) Кугар, 60 % КС, 1 л/га – урожайность 32 ц/га;
- 4) Атрибут, 70 % ВГ, 0,06 кг/га – урожайность 33 ц/га.

Расход рабочего раствора 250 л/га, опрыскивание проводилось навесным опрыскивателем.

Вариант 27. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения фунгицидов при возделывании озимой ржи. Варианты опыта:

- 1) без фунгицидов – 20 ц/га;
- 2) Тилт, 25 % КЭ, 0,5 кг/га – урожайность 26 ц/га;
- 3) Фалькон, 46 % КЭ, 0,5 кг/га – урожайность 25 ц/га;
- 4) Спортак, 45 % КЭ, 1 кг/га – урожайность 27 ц/га.

Расход рабочего раствора 300 л/га, опрыскивание проводилось прицепным опрыскивателем.

Вариант 28. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения гербицидов при возделывании озимой тритикале. Варианты опыта:

- 1) без химической прополки – 15 ц/га;
- 2) Эстерон 600, 56,4 % КЭ, 0,8 л/га – урожайность 20 ц/га;
- 3) Диален супер, 46,4 % ВР, 0,7 кг/га – урожайность 24 ц/га;
- 4) Лонтрел 300, 30 % ВР, 0,15 кг/га – урожайность 30 ц/га.

Расход рабочего раствора 300 л/га, опрыскивание проводилось прицепным опрыскивателем.

Вариант 29. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения фунгицидов при возделывании озимой тритикале. Варианты опыта:

- 1) без фунгицидов – 36 ц/га;
- 2) Бампер, 25 % КЭ, 0,5 кг/га – урожайность 41 ц/га;
- 3) Мираж, 45 % КЭ, 1 кг/га – урожайность 42 ц/га;
- 4) Рекс Дуо, 49,7 % КС, 0,6 кг/га – урожайность 40 ц/га.

Расход рабочего раствора 250 л/га, опрыскивание проводилось навесным опрыскивателем.

Вариант 30. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения инсектицидов при возделывании озимой тритикале. Варианты опыта:

- 1) без инсектицидов – 40 ц/га;
- 2) Децис, 2,5 % КЭ, 0,2 кг/га – урожайность 41 ц/га;
- 3) Каратэ, 5 % КЭ, 0,15 кг/га – урожайность 42 ц/га;
- 4) Фастак, 10 % КЭ, 0,1 кг/га – урожайность 44 ц/га.

Расход рабочего раствора 250 л/га, опрыскивание проводилось прицепным опрыскивателем.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие виды пестицидов Вы знаете?
2. Дайте краткую характеристику различным группам пестицидов.
3. Что в себя включают общие затраты, связанные с применением пестицидов?
4. Сколько в среднем составляет экологический ущерб от затрат на применение пестицидов?
5. Когда с энергетической точки зрения применение пестицидов эффективно?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Содержание энергии и коэффициент перевода продукции в сухое вещество

Культура	R_i	l	$R_i \cdot l$
Озимая рожь (зерно)	0,86	19,49	16,76
Озимая пшеница (зерно)	0,86	19,13	16,46
Озимая тритикале (зерно)	0,86	19,54	16,80
Яровая пшеница (зерно)	0,86	19,31	16,61
Яровая тритикале (зерно)	0,86	19,27	16,57
Ячмень (зерно)	0,86	19,13	16,45
Овес (зерно)	0,86	18,80	16,17
Гречиха (зерно)	0,86	19,38	16,67
Горох (зерно)	0,86	20,57	17,69
Кукуруза (зеленая масса)	0,25	16,39	4,10
Кукуруза (зерно)	0,86	17,60	15,14
Лен (волокно)	0,89	20,24	18,01
Лен, рапс (семена)	0,88	23,50	20,68
Сахарная свекла (корнеплоды)	0,25	18,26	4,56
Картофель (клубни)	0,22	18,29	4,02
Кормовые корнеплоды	0,25	16,39	4,10
Многолетние травы	0,20	18,91	3,78
Однолетние травы	0,20	16,39	3,28
Зернофуражные	0,30	16,19	3,24
Овощные	0,10	14,36	1,44

Приложение 2

**Энергетические затраты на уборку, транспортировку
и доработку дополнительного урожая за счет удобрений**

Культуры	Продукция	Энергозатраты, МДж/ц
Озимые зерновые	Зерно	276
Яровые зерновые	Зерно	256
Кукуруза	Силос (зеленая масса)	30
Лен	Льносолома	443
Сахарная свекла	Корни	62
Картофель	Клубни	78
Кормовые корнеплоды	Корни	45
Многолетние травы	Сенаж	62
	Сено	100
	Зеленая масса	37
Однолетние травы	Зеленая масса	34
	Силос	36
Вико-овсяная и другие смеси	Зеленая масса	40
Горох	Зерно	52
Рапс яровой и озимый	Семена	80

Приложение 3

Энергетические эквиваленты пестицидов

Пестициды	Препаративная форма	Энергетический эквивалент, МДж/кг
Инсектициды: смешивающиеся масла смачивающийся порошок гранулы	Смешивающиеся масла: ВК; ВКС; ВРК; ВР; ВС; ВСК; ВТК; ВЭ; ВЭК; КВЭ; КС; КЭ; ММЭ; МС; МСК; ЭМВ.	365,0
		253,2
		216,6
Фунгициды: смешивающиеся масла смачивающийся порошок	Смачивающиеся порошки: КРП; П; ПС; РП; СК; СП; СТС; СП; ТП; ТКС; ТПС; ТС.	272,6
		116,6
Гербициды: смешивающиеся масла смачивающийся порошок	Гранулы: ВГ; ВРГ; ВДГ; Г; МГ; ТАБ.	420,0
		264,0

**Нормативы энергозатрат на химическую обработку посевов
сельскохозяйственных культур наземными машинами, МДж/га**

Агрегат	Норма расхода рабочей жидкости, л/га	Всего энергозатрат, МДж/га
Опрыскивание полевых культур		
Прицепной опрыскиватель	100–200	123,16
	200–300	158,70
	300–400	194,22
Навесной опрыскиватель	100–150	132,37
	150–200	168,95
	200–250	184,78
	250–300	200,41
Протравливание семян		
ПС-10 и аналоги		17,85
«Мобитокс» и аналоги		15,89

Практическая работа № 4
«МЕТОДИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ»

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

**1.1. Расчет количества энергии, накопленной
в основной продукции за счет удобрений**

Количество энергии, накопленной в основной сельскохозяйственной продукции, полученной от применения удобрений, определяется по формуле:

$$V = U_{\text{п}} \cdot R_i \cdot l \cdot 100, \quad (1)$$

где V – содержание энергии в основной продукции, МДж; $U_{\text{п}}$ – прибавка урожая основной продукции от удобрений, ц/га; R_i – коэффициент перевода в сухое вещество (прил. 1); l – содержание общей энергии в 1 кг сухого вещества основной продукции, МДж; 100 – коэффициент перевода центнеров в килограммы.

Так как доля минеральных удобрений в прибавке урожая составляет около 60 %, а органических – около 40 %, то:

$$V_{1 \text{ мин}} = V \cdot 0,6 \quad (2)$$

$$V_{2 \text{ орг}} = V \cdot 0,4 \quad (3)$$

**1.2. Расчет энергетических затрат,
связанных с производством и применением удобрений**

Общие энергозатраты включают: энергозатраты на производство, доставку в хозяйство, хранение, подготовку к внесению, погрузку, транспортировку от склада до поля и внесение; затраты, связанные с уборкой, транспортировкой и доработкой дополнительного урожая за счет удобрений.

Энергетические затраты (A_o) на производство минеральных удобрений определяются по формуле:

$$A_o = (H_N \cdot a_N) + (H_P \cdot a_P) + (H_K \cdot a_K), \quad (4)$$

где H_N, H_P, H_K – фактическая доза азотных, фосфорных и калийных удобрений, кг/га д. в.; a_N, a_P, a_K – энергетические затраты на 1 кг д. в. азотных, фосфорных и калийных удобрений, МДж (прил. 2).

Энергозатраты на погрузку, транспортировку и внесение минеральных удобрений (V) определяются по формуле:

$$Y = 171,4 + 8,0974 \cdot D + 1,2954 \cdot R + 2,804 \cdot D \cdot R - 0,1553 \cdot R^2, \quad (5)$$

где D – суммарная доза удобрений в физической массе, ц (прил. 2); R – расстояние перевозки удобрений от склада до поля, км.

Затраты на уборку, транспортировку и доработку дополнительного урожая ($З_y$) за счет минеральных удобрений рассчитываются по формуле:

$$З_y = (V_n \cdot 0,6) \cdot Э, \quad (6)$$

где V_n – прибавка урожая, ц; 0,6 – процент минеральных удобрений; $Э$ – энергозатраты на уборку, транспортировку и доработку дополнительного урожая, МДж/ц (прил. 3).

Таким образом, общие энергозатраты ($З_o$ мин) на производство, доставку в хозяйство, хранение, подготовку к внесению, погрузку, транспортировку от склада до поля, внесение удобрений и затраты, связанные с уборкой, транспортировкой и доработкой дополнительно урожая за счет минеральных удобрений, составляют:

$$З_{o \text{ мин}} = A_o + Y + З_y, \quad (7)$$

где A_o – энергетические затраты на производство минеральных удобрений, МДж/ц; Y – энергозатраты на погрузку, транспортировку и внесение удобрений, МДж/ц; $З_y$ – затраты на уборку, транспортировку и доработку дополнительного урожая, МДж/ц.

При расчете затрат на производство и применение органических удобрений с учетом их действия и последствий на последующие культуры севооборота необходимо 60 % затрат относить на первый год и 40 % – на второй и третий.

С учетом этого, затраты на производство и внесение органических удобрений составят:

$$B = (H \cdot a \cdot 0,6) + (y \cdot 0,6), \quad (8)$$

где H – физическая масса, кг; a – энергетические затраты на производство удобрений, МДж/кг (прил. 2); y – энергозатраты на погрузку, транспортировку и внесение органических удобрений при соответствующей технологии внесения, МДж/га (прил. 4); 0,6 – доля использования органических удобрений в первый год.

Затраты на уборку, доработку и реализацию дополнительного урожая ($З_y$) за счет органических удобрений составили:

$$З_y = (V_n \cdot 0,4) \cdot Э, \quad (9)$$

где V_n – прибавка урожая, ц; $Э$ – энергозатраты на уборку, транспортировку и доработку дополнительного урожая, МДж/ц (прил. 3).

Общие затраты на применение органических удобрений ($З_{o \text{ орг}}$) составляют:

$$Z_{\text{о орг}} = B + Z_y, \quad (10)$$

где B – затраты на производство и внесение органических удобрений, МДж/ц; Z_y – затраты на уборку, транспортировку и доработку дополнительного урожая за счет органических удобрений, МДж/ц.

1.3. Энергетическая эффективность применения удобрений

Энергетическая эффективность (энергоотдача или биоэнергетический КПД) определяется по формуле:

$$q = (V_1 + V_2) : (Z_{\text{о мин}} + Z_{\text{о орг}}), \quad (11)$$

где q – энергетическая эффективность (энергоотдача или биоэнергетический КПД), ед.; V – содержание энергии в основной продукции, МДж/ц; $Z_{\text{о мин}} + Z_{\text{о орг}}$ – общие энергозатраты, МДж/ц.

Пример. Расчет энергетической эффективности применения минеральных удобрений.

Определение энергетической эффективности применения минеральных удобрений при возделывании ячменя.

1. Доза внесения минеральных удобрений в действующем веществе $N_{80}P_{60}K_{90}$.

2. Прибавка урожая зерна за счет удобрений 17 ц/га.

3. Расстояние перевозки удобрений со склада 5 км.

Количество энергии, накопленной в основной продукции, составляет:

$$V = Y_{\text{п}} \cdot R_i \cdot l \cdot 100 = 17 \cdot 16,45 \text{ (прил. 1)} \cdot 100 = 27965 \text{ МДж/га.}$$

Затраты на производство минеральных удобрений (A_0), внесенных под ячмень, составили:

$$A_0 = (H_N \cdot a_N) + (H_P \cdot a_P) + (H_K \cdot a_K) = (80 \cdot 80 \text{ (прил. 2)}) + (60 \cdot 13,8) + (90 \cdot 8,8) = 6400 + 828 + 792 = 8020 \text{ МДж/га}$$

Затраты на подготовку, погрузку, транспортировку и внесение минеральных удобрений (U) при расстоянии 5 км и общей дозе внесения (D), равной 5,3 ц/га (2,3 ц/га аммиачной селитры + 1,5 ц/га суперфосфата двойного + 1,5 ц/га хлористого калия), составили:

$$\begin{aligned} U &= 171,4 + 8,0974 \cdot D + 1,2954 \cdot R + 2,804 \cdot D \cdot R - 0,1553 \cdot R^2 = \\ &= 171,4 + 8,0974 \cdot 5,3 + 1,2954 \cdot 5 + 2,804 \cdot 5,3 \cdot 5 - 0,1553 \cdot 25 = \\ &= 171,4 + 41,29674 + 6,477 + 71,502 - 3,8825 = 286,79324 = 287 \text{ МДж/га.} \end{aligned}$$

Затраты на уборку, транспортировку и доработку дополнительного урожая (Z_y) за счет удобрений (прибавка 17 ц/га) составили:

$$Z_y = V_n \cdot \Theta = 17 \cdot 256 \text{ (прил. 3)} = 4352 \text{ МДж/га.}$$

Общие затраты (Z_o) составляют:

$$Z_o = A_o + V + Z_y = 8020 + 287 + 4352 = 12659 \text{ МДж/га.}$$

Энергетическая эффективность применения удобрений при этом будет равна:

$$q = V : Z_o = 27965 : 12659 = 2,2 \text{ ед.}$$

С энергетической точки зрения применение минеральных удобрений при возделывании ячменя является эффективным, так как энергоотдача в 2,2 раза превышает единицу.

Пример. Расчет энергетической эффективности применения минеральных и органических удобрений.

Определение энергетической эффективности минеральных удобрений и навоза при возделывании картофеля.

1. Доза внесения минеральных удобрений в действующем веществе $N_{80}P_{70}K_{90}$, доза навоза 60 т/га.

2. Прибавка урожая за счет удобрений 150 ц/га.

3. Расстояние перевозки удобрений со склада 5 км. Технология внесения органических удобрений прямоточная.

Количество энергии, накопленной в основной продукции, составляет:

$$V_1 + V_2 = V_n \cdot R_i \cdot l \cdot 100 = 150 \cdot 4,02 \text{ (прил. 1)} \cdot 100 = 60300 \text{ МДж/га.}$$

Так как доля минеральных удобрений в прибавке урожая составляет около 60 %, а органических – около 40 %, то:

$$V_1 = 60300 \cdot 0,60 = 36180 \text{ МДж/га;}$$

$$V_2 = 60300 \cdot 0,40 = 24120 \text{ МДж/га.}$$

Затраты на производство минеральных удобрений (A_o), внесенных под картофель, составили:

$$A_o = (H_N \cdot a_N) + (H_P \cdot a_P) + (H_K \cdot a_K) = (80 \cdot 80 \text{ (прил. 2)}) + (70 \cdot 13,8) + (90 \cdot 8,8) = 6400 + 966 + 792 = 8160 \text{ МДж/га.}$$

Затраты на подготовку, погрузку, транспортировку и внесение минеральных удобрений (V) при расстоянии 5 км и общей дозе внесения 6,8 ц/га (3,8 ц/га сульфата аммония + 1,5 ц/га суперфосфата двойного + 1,5 ц/га хлористого калия) составили:

$$\begin{aligned}
 Y &= 171,4 + 8,0974 \cdot D + 1,2954 \cdot R + 2,804 \cdot D \cdot R - 0,1553 \cdot R^2 = \\
 &= 171,4 + + 8,0974 \cdot 6,8 + 1,2954 \cdot 5 + 2,804 \cdot 6,8 \cdot 5 - 0,1553 \cdot 25 = \\
 &= 324 \text{ МДж/га.}
 \end{aligned}$$

Затраты на уборку, транспортировку и доработку дополнительного урожая (Z_y) за счет удобрений (прибавка 150 ц/га) составили:

$$Z_y = Y_{\text{п}} \cdot \Theta = (150 \cdot 0,60) \cdot 78 \text{ (прил. 3)} = 7020 \text{ МДж/га}$$

Общие затраты (Z_o) составляют:

$$Z_{o \text{ мин}} = A_o + Y + Z_y = 8160 + 324 + 7020 = 15504 \text{ МДж/га}$$

При расчете затрат на производство и применение органических удобрений с учетом их действия и последствия на последующие культуры севооборота, необходимо 60 % затрат относить на первый год и 40 на второй и третий. С учетом этого затраты на производство и внесение под картофель 60 т/га навоза составят:

$$B = A_1 + C,$$

где A_1 – затраты на производство органических удобрений, МДж/кг физической массы; C – затраты на погрузку, транспортировку и внесение органических удобрений, МДж/га.

$$A_1 = H \cdot a \cdot 0,60,$$

где a – энергетические затраты на производство удобрений, МДж/ц (прил. 2); H – физическая масса, кг; 0,60 – массовая доля использования органических удобрений в первый год.

$$C = y \cdot 0,60,$$

где y – энергозатраты на погрузку, транспортировку и внесение органических удобрений при прямоточной технологии, МДж/га (прил. 4); 0,60 – доля использования органических удобрений в первый год.

Отсюда:

$$\begin{aligned}
 B &= (H \cdot a \cdot 0,60) + (y \cdot 0,60) = (60000 \cdot 0,42 \cdot 0,60) + (12379 \cdot 0,60) = \\
 &= 15120 + + 7427 = 22547 \text{ МДж/га.}
 \end{aligned}$$

Затраты на уборку, транспортировку и доработку дополнительного урожая (Z_y) за счет органических удобрений (прибавка 150 ц/га) составили:

$$Z_y = Y_{\text{п}} \cdot \Theta = 150 \cdot 0,40 \cdot 78 \text{ (прил. 3)} = 4680 \text{ МДж/га.}$$

Общие затраты (Z_o) составляют:

$$Z_{o \text{ орг}} = B + Z_y = 22547 + 4680 = 27227 \text{ МДж/га.}$$

Энергетическая эффективность применения минеральных удобрений при этом будет равна:

$$q_1 = V_1 : Z_{o \text{ мин}} = 36180 : 15504 = 2,3 \text{ ед.}$$

Энергетическая эффективность применения органических удобрений при этом будет равна:

$$q_2 = V_2 : Z_{\text{о орг}} = 24120 : 27227 = 0,89 \text{ ед.}$$

Совокупная энергетическая эффективность применения минеральных и органических удобрений под картофель составит:

$$q = V_1 + V_2 : Z_{\text{о мин}} + Z_{\text{о орг}} = 60300 : 42731 = 1,4 \text{ ед.}$$

С энергетической точки зрения применение минеральных и органических удобрений при возделывании картофеля является эффективным, так как энергоотдача в 1,4 раза превышает единицу.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО РАСЧЕТУ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Вариант 1. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании ячменя.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 20 ц/га;
- 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$ – урожайность 25 ц/га;
- 3) $N_{80}P_{80}K_{80}$ + навоз 5 т/га – урожайность 30 ц/га;
- 4) $N_{90}P_{60}K_{90}$ + навоз 10 т/га – урожайность 40 ц/га.

Технология внесения органических удобрений перевалочная. Расстояние до поля 5 км.

Вариант 2. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании озимой ржи.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 25 ц/га;
- 2) $N_{70}P_{70}K_{70}$ – урожайность 35 ц/га;
- 3) $N_{80}P_{80}K_{80}$ + навоз 10 т/га – урожайность 45 ц/га;
- 4) $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 15 т/га – урожайность 55 ц/га.

Технология внесения органических удобрений прямоточная. Расстояние до поля 10 км.

Вариант 3. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании яровой пшеницы.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 25 ц/га;
- 2) $N_{70}P_{60}K_{60}$ – урожайность 40 ц/га;

- 3) $N_{80}P_{60}K_{90}$ + навоз 5 т/га – урожайность 45 ц/га;
- 4) $N_{80}P_{60}K_{90}$ + навоз 10 т/га – урожайность 55 ц/га.

Технология внесения органических удобрений прямопочная. Расстояние до поля 15 км.

Вариант 4. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании озимой тритикале.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 20 ц/га;
- 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$ – урожайность 50 ц/га;
- 3) $N_{80}P_{80}K_{80}$ + навоз 15 т/га – урожайность 60 ц/га;
- 4) $N_{90}P_{60}K_{90}$ + навоз 20 т/га – урожайность 65 ц/га.

Технология внесения органических удобрений перевалочная. Расстояние до поля 15 км.

Вариант 5. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании яровой пшеницы.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 20 ц/га;
- 2) $N_{80}P_{60}K_{90}$ – урожайность 30 ц/га;
- 3) $N_{90}P_{60}K_{90}$ + навоз 5 т/га – урожайность 33 ц/га;
- 4) $N_{90}P_{60}K_{120}$ + навоз 10 т/га – урожайность 45 ц/га;

Технология внесения органических удобрений перевалочная. Расстояние до поля 5 км.

Вариант 6. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании яровой пшеницы.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 35 ц/га;
- 2) $N_{60}P_{60}K_{90}$ – урожайность 40 ц/га;
- 3) $N_{80}P_{60}K_{90}$ + навоз 5 т/га – урожайность 45 ц/га;
- 4) $N_{90}P_{60}K_{90}$ + навоз 10 т/га – урожайность 60 ц/га.

Технология внесения органических удобрений перевалочная. Расстояние до поля 5 км.

Вариант 7. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании картофеля.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 70 ц/га;
- 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$ – урожайность 120 ц/га;
- 3) $N_{80}P_{60}K_{80}$ + навоз 60 т/га – урожайность 140 ц/га;
- 4) $N_{90}P_{60}K_{90}$ + навоз 80 т/га – урожайность 200 ц/га.

Технология внесения органических удобрений прямоточная. Расстояние до поля 5 км.

Вариант 8. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании картофеля.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 60 ц/га;
- 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$ – урожайность 140 ц/га;
- 3) $N_{65}P_{65}K_{65}$ + навоз 60 т/га – урожайность 160 ц/га;
- 4) $N_{70}P_{70}K_{70}$ + навоз 80 т/га – урожайность 220 ц/га.

Технология внесения органических удобрений прямоточная. Расстояние до поля 5 км.

Вариант 9. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании картофеля.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 50 ц/га;
- 2) $N_{80}P_{80}K_{80}$ – урожайность 100 ц/га;
- 3) $N_{90}P_{60}K_{90}$ + навоз 60 т/га – урожайность 110 ц/га;
- 4) $N_{90}P_{60}K_{60}$ + навоз 80 т / га – урожайность 150 ц/га.

Технология внесения органических удобрений прямоточная. Расстояние до поля 5 км.

Вариант 10. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании картофеля.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 80 ц/га;
- 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$ – урожайность 110 ц/га;
- 3) $N_{80}P_{80}K_{80}$ + навоз 60 т/га – урожайность 170 ц/га;
- 4) $N_{70}P_{70}K_{120}$ + навоз 80 т/га – урожайность 240 ц/га.

Технология внесения органических удобрений прямоточная. Расстояние до поля 5 км.

Вариант 11. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании сахарной свеклы.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 100 ц/га;
- 2) $N_{80}P_{60}K_{90}$ – урожайность 220 ц/га;
- 3) $N_{90}P_{60}K_{90}$ + навоз 60 т/га – урожайность 240 ц/га;
- 4) $N_{80}P_{60}K_{100}$ + навоз 100 т/га – урожайность 320 ц/га.

Технология внесения органических удобрений прямоточная. Расстояние до поля 10 км.

Вариант 12. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании картофеля.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 100 ц/га;
- 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$ – урожайность 150 ц/га;
- 3) $N_{120}P_{60}K_{120}$ + навоз 60 т/га – урожайность 170 ц/га;
- 4) $N_{90}P_{60}K_{90}$ + навоз 80 т/га – урожайность 210 ц/га.

Технология внесения органических удобрений прямоточная. Расстояние до поля 5 км.

Вариант 13. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании сахарной свеклы.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 180 ц/га;
- 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$ – урожайность 220 ц/га;
- 3) $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 50 т/га – урожайность 240 ц/га;
- 4) $N_{80}P_{60}K_{100}$ + навоз 70 т/га – урожайность 320 ц/га.

Технология внесения органических удобрений прямоточная. Расстояние до поля 10 км.

Вариант 14. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании озимой ржи.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 20 ц/га;
- 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$ – урожайность 30 ц/га;
- 3) $N_{80}P_{80}K_{80}$ + навоз 10 т/га – урожайность 40 ц/га;
- 4) $N_{90}P_{60}K_{90}$ + навоз 15 т/га – урожайность 65 ц/га.

Технология внесения органических удобрений перевалочная. Расстояние до поля 10 км.

Вариант 15. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании сахарной свеклы.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 100 ц/га;
- 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$ – урожайность 170 ц/га;
- 3) $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 50 т/га – урожайность 210 ц/га;
- 4) $N_{80}P_{60}K_{100}$ + навоз 70 т/га – урожайность 300 ц/га.

Технология внесения органических удобрений перевалочная. Расстояние до поля 15 км.

Вариант 16. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании картофеля.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 80 ц/га;
- 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$ – урожайность 120 ц/га;
- 3) $N_{60}P_{60}K_{60}$ + навоз 60 т/га – урожайность 140 ц/га;
- 4) $N_{60}P_{60}K_{60}$ + навоз 80 т/га – урожайность 200 ц/га.

Технология внесения органических удобрений перевалочная. Расстояние до поля 10 км.

Вариант 17. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании сахарной свеклы.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 150 ц/га;
- 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$ – урожайность 200 ц/га;
- 3) $N_{60}P_{60}K_{60}$ + навоз 40 т/га – урожайность 300 ц/га;
- 4) $N_{80}P_{60}K_{100}$ + навоз 50 т/га – урожайность 400 ц/га.

Технология внесения органических удобрений перевалочная. Расстояние до поля 10 км.

Вариант 18. Рассчитать энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании кукурузы на силос.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 120 ц/га;
- 2) $N_{90}P_{60}K_{60}$ – урожайность 200 ц/га;
- 3) $N_{100}P_{80}K_{80}$ + навоз 60 т/га – урожайность 400 ц/га;
- 4) $N_{120}P_{80}K_{90}$ + навоз 80 т/га – урожайность 500 ц/га.

Технология внесения органических удобрений перевалочная. Расстояние до поля 5 км.

Вариант 19. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании сахарной свеклы.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 200 ц/га;
- 2) $N_{80}P_{80}K_{80}$ – урожайность 250 ц/га;
- 3) $N_{80}P_{80}K_{80}$ + навоз 40 т/га – урожайность 350 ц/га;
- 4) $N_{90}P_{80}K_{100}$ + навоз 60 т/га – урожайность 450 ц/га.

Технология внесения органических удобрений прямоточная. Расстояние до поля 10 км.

Вариант 20. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании кукурузы на силос.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 200 ц/га;
- 2) $N_{80}P_{60}K_{90}$ – урожайность 300 ц/га;
- 3) $N_{90}P_{80}K_{80}$ + навоз 40 т/га – урожайность 400 ц/га;

4) $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 60 т/га – урожайность 500 ц/га.

Технология внесения органических удобрений прямоточная. Расстояние до поля 15 км.

Вариант 21. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании сахарной свеклы.

Варианты опыта:

1) без удобрений – урожайность 140 ц/га;

2) $N_{80}P_{60}K_{90}$ – урожайность 200 ц/га;

3) $N_{90}P_{60}K_{120}$ + навоз 60 т/га – урожайность 240 ц/га;

4) $N_{80}P_{60}K_{100}$ + навоз 80 т/га – урожайность 300 ц/га.

Технология внесения органических удобрений перевалочная. Расстояние до поля 10 км.

Вариант 22. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании кормовых корнеплодов.

Варианты опыта:

1) без удобрений – урожайность 200 ц/га;

2) $N_{60}P_{80}K_{80}$ – урожайность 250 ц/га;

3) $N_{60}P_{80}K_{90}$ + навоз 20 т/га – урожайность 350 ц/га;

4) $N_{60}P_{80}K_{100}$ + навоз 40 т/га – урожайность 450 ц/га.

Технология внесения органических удобрений прямоточная. Расстояние до поля 5 км.

Вариант 23. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании картофеля.

Варианты опыта:

1) без удобрений – урожайность 100 ц/га;

2) $N_{60}P_{60}K_{60}$ – урожайность 120 ц/га;

3) $N_{70}P_{70}K_{70}$ + навоз 40 т/га – урожайность 140 ц/га;

4) $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 50 т/га – урожайность 200 ц/га.

Технология внесения органических удобрений перевалочная. Расстояние до поля 10 км.

Вариант 24. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании кормовых корнеплодов.

Варианты опыта:

1) без удобрений – урожайность 200 ц/га;

2) $N_{70}P_{80}K_{90}$ – урожайность 350 ц/га;

3) $N_{70}P_{80}K_{100}$ + навоз 20 т/га – урожайность 450 ц/га;

4) $N_{70}P_{80}K_{120}$ + навоз 40 т/га – урожайность 550 ц/га.

Технология внесения органических удобрений перевалочная. Расстояние до поля 10 км.

Вариант 25. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании кукурузы на силос.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 120 ц/га;
- 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$ – урожайность 200 ц/га;
- 3) $N_{80}P_{80}K_{80}$ + навоз 20 т/га – урожайность 400 ц/га;
- 4) $N_{90}P_{60}K_{90}$ + навоз 40 т/га – урожайность 500 ц/га.

Технология внесения органических удобрений прямоточная. Расстояние до поля 15 км.

Вариант 26. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании сахарной свеклы.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 100 ц/га;
- 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$ – урожайность 150 ц/га;
- 3) $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 20 т/га – урожайность 170 ц/га;
- 4) $N_{80}P_{60}K_{100}$ + навоз 50 т/га – урожайность 300 ц/га.

Технология внесения органических удобрений перевалочная. Расстояние до поля 5 км.

Вариант 27. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании кукурузы на силос.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 200 ц/га;
- 2) $N_{80}P_{80}K_{80}$ – урожайность 300 ц/га;
- 3) $N_{90}P_{80}K_{90}$ + навоз 20 т/га – урожайность 450 ц/га;
- 4) $N_{90}P_{60}K_{120}$ + навоз 40 т/га – урожайность 550 ц/га.

Технология внесения органических удобрений перевалочная. Расстояние до поля 10 км.

Вариант 28. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании озимой тритикале.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 25 ц/га;
- 2) $N_{100}P_{70}K_{90}$ – урожайность 35 ц/га;
- 3) $N_{100}P_{80}K_{90}$ + навоз 10 т/га – урожайность 55 ц/га;
- 4) $N_{100}P_{90}K_{90}$ + навоз 15 т/га – урожайность 65 ц/га.

Технология внесения органических удобрений прямоточная. Расстояние до поля 5 км.

Вариант 29. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании яровой пшеницы.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 25 ц/га;
- 2) $N_{100}P_{60}K_{90}$ – урожайность 40 ц/га;
- 3) $N_{120}P_{60}K_{90}$ + навоз 5 т/га – урожайность 55 ц/га;
- 4) $N_{120}P_{80}K_{90}$ + навоз 10 т/га – урожайность 65 ц/га.

Технология внесения органических удобрений прямоточная. Расстояние до поля 5 км.

Вариант 30. Рассчитать сравнительную энергетическую эффективность применения удобрений при возделывании озимой тритикале.

Варианты опыта:

- 1) без удобрений – урожайность 20 ц/га;
- 2) $N_{100}P_{60}K_{90}$ – урожайность 50 ц/га;
- 3) $N_{100}P_{80}K_{100}$ + навоз 5 т/га – урожайность 60 ц/га;
- 4) $N_{120}P_{80}K_{100}$ + навоз 10 т/га – урожайность 65 ц/га.

Технология внесения органических удобрений перевалочная. Расстояние до поля 5 км.

Контрольные вопросы и задания

1. Для чего нужны минеральные и органические удобрения?
2. Какие виды минеральных удобрений Вы знаете? Дайте им краткую характеристику.
3. Какие виды органических удобрений Вы знаете? Дайте им краткую характеристику.
4. Что в себя включают общие затраты, связанные с применением удобрений?
5. Когда с энергетической точки зрения применение удобрений эффективно?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Содержание энергии и коэффициент перевода продукции в сухое вещество, ед.

Культуры	R_i	l	$R_i \cdot l$
Озимая рожь (зерно)	0,86	19,49	16,76
Озимая пшеница (зерно)	0,86	19,13	16,46
Озимая тритикале (зерно)	0,86	19,54	16,80
Яровая пшеница (зерно)	0,86	19,31	16,61
Яровая тритикале (зерно)	0,86	19,27	16,57
Ячмень (зерно)	0,86	19,13	16,45
Овес (зерно)	0,86	18,80	16,17
Гречиха (зерно)	0,86	19,38	16,67
Горох (зерно)	0,86	20,57	17,69
Кукуруза (зеленая масса)	0,25	16,39	4,10
Кукуруза (зерно)	0,86	17,60	15,14
Лен (волокно)	0,89	20,24	18,01
Лен, рапс (семена)	0,88	23,50	20,68
Сахарная свекла (корнеплоды)	0,25	18,26	4,56
Картофель (клубни)	0,22	18,29	4,02
Кормовые корнеплоды	0,25	16,39	4,10
Многолетние травы	0,20	18,91	3,78
Однолетние травы	0,20	16,39	3,28
Зернофуражные	0,30	16,19	3,24
Овощные	0,10	14,36	1,44

Приложение 2

Энергетические эквиваленты химических веществ

Удобрения	Содержание д. в., %	Энергетический эквивалент, МДж	
		кг д. в.	кг массы
Азотные удобрения			
Сульфат аммония	20,5	80,0	16,40
Аммиачная селитра	34,5	80,0	27,60
Натриевая селитра	16,0	80,0	12,80
Мочевина	46,0	80,0	36,80
Хлористый аммоний	26,0	80,0	36,80
Фосфорные удобрения			
Суперфосфат	19,5	13,8	2,70
Суперфосфат двойной	46,0	13,8	6,40
Фосфоритная мука	19,0	13,8	2,60
Калийные удобрения			
Хлористый калий	60,0	8,8	5,30
Калийная соль	40,0	8,8	3,50
Сульфат калия	48,0	8,8	4,20

Органические удобрения			
В среднем	–	–	0,42
Компосты	–	–	1,70
Известковые	–	–	3,80

**Энергетические затраты на уборку, транспортировку и доработку
дополнительного урожая за счет удобрений**

Культуры	Продукция	Энергозатраты, МДж/ц
Озимые зерновые	Зерно	276
Яровые зерновые	Зерно	256
Кукуруза	Силос (зеленая масса)	30
Лен	Льносолома	443
Сахарная свекла	Корни	62
Картофель	Клубни	78
Кормовые корнеплоды	Корни	45
Многолетние травы	Сенаж	62
	Сено	100
	Зеленая масса	37
Однолетние травы	Зеленая масса	34
	Силос	36
Вико-овсяная и другие смеси	Зеленая масса	40
Горох	Зерно	52
Рапс яровой и озимый	Семена	80

**Энергетические затраты на погрузку, транспортировку и внесение
органических удобрений при различных технологиях внесения**

Прямоточная		Перевалочная	
Доза, т/га	Энергозатраты, МДж/га	Доза, т/га	Энергозатраты, МДж/га
5	1090	5	1347
10	2182	10	2694
15	3272	15	4040
20	4363	20	5387
30	6356	30	8080
40	8475	40	10366
60	12379	60	14937
80	16505	80	19916
100	20632	100	24895

Практическая работа № 5 **«ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ** **СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА»**

1. Теоретические основы энергетической **оценки сельскохозяйственного производства**

1.1. Основные понятия и определения энергосбережения

Энергия – мера движения и взаимодействия материальных тел.

Мощность – количество энергии в единицу времени, определяющее интенсивность движения и взаимодействие материальных тел.

Энергетика – область человеческой деятельности, связанная с производством, передачей и использованием энергии.

Топливо – горючие вещества с углеродной основой, используемые для получения тепловой энергии путем их сжигания.

Ядерное топливо – вещества и материалы, используемые для получения энергии в ядерном реакторе.

Топливо – энергетические ресурсы (ТЭР) – совокупность всех природных и преобразованных видов топлива и энергии, используемых в различных отраслях экономики.

Возобновляемые энергетические ресурсы – это энергетические ресурсы рек, водохранилищ, ветра, солнца, биомассы и другие, которые восстанавливаются в ходе естественных природных процессов.

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) включают энергию, получаемую в ходе любого технологического процесса или процесса жизнедеятельности человека в результате недоиспользования первичной энергии либо в виде энергосодержащего побочного продукта основного производства и не применяемую в этом процессе.

Нетрадиционные (альтернативные) источники энергии – это источники электрической и тепловой энергии, использующие для ее производства возобновляемые и вторичные энергетические ресурсы.

Энергосбережение – организационная, научная, практическая и информационная деятельность государственных органов, юридических и физических лиц, направленная на снижение расхода ТЭР в процессе их добычи, переработки, транспортировки, хранения, производства, использования и утилизации.

Эффективное использование ТЭР – это использование всех видов энергии экономически оправданными, прогрессивными способами при

существующем уровне развития техники и технологий и соблюдении законодательства.

Показатель энергоэффективности – научно обоснованная абсолютная или удельная величина потребления топливно-энергетических ресурсов (с учетом их нормативных потерь) любого назначения, установленная нормативными документами.

Пользователями топливно-энергетических ресурсов являются субъекты хозяйствования независимо от форм собственности, зарегистрированные на территории Республики Беларусь в качестве юридических лиц, для которых любой из видов топливно-энергетических ресурсов, используемых в республике, является товарной продукцией.

Условное топливо – единица измерения, принятая для сопоставления различных видов топлива, суммарного учета его запасов, оценки эффективности использования энергетических ресурсов, сравнения показателей теплоиспользующих устройств.

Условное топливо – это такое топливо, при сгорании 1 кг которого выделяется 29,309 кДж или 7000 ккал энергии. Для сравнительного анализа используется 1 тонна условного топлива:

$$1 \text{ т у. т.} = 29309 \text{ кДж} = 7000 \text{ ккал} = 8120 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Для перевода различных видов топлива в условное используются коэффициенты (приложение 1).

Задание 1. Оценить запасы предприятия за отчетный период в единицах условного топлива, кДж, ккал, если известно, что было использовано: бензина – 160000 л, дизельного топлива – 380000 л, природного газа – 12000 м³, угля древесного – 10 т используя коэффициенты перевода (приложение 1). Удельный вес бензина – 0,75 кг/л, дизельного топлива – 0,85 кг/л.

1.2. Энергетический анализ производства сельскохозяйственной продукции

Энергетический анализ представляет собой область исследования технологий производства сельскохозяйственной продукции с точки зрения эффективности затрат энергии.

В сельскохозяйственном производстве экономии энергоресурсов следует добиваться снижением объемов работы в технологических операциях, экономией нефтепродуктов, металлов, затрат живого труда, минеральных (особенно азотных) и органических удобрений; в теп-

личном производстве – совершенствованием конструкций сооружений, улучшением изоляции, средств вентиляции и т. д.

Показатель биоэнергетической эффективности (D) представляет собой отношение количества энергии, содержащейся в продукции сельского хозяйства (V , МДж), к затратам энергии первичных ресурсов, потребленных на ее производство (A , МДж), и определяется по формуле:

$$D = V / A \quad (1)$$

Биоэнергетический показатель позволяет дать полную оценку энергетической эффективности различных технологий производства сельскохозяйственной продукции. Этот показатель называется еще энергетическим коэффициентом полезного действия (КПД) или энергоотдачи, который выражается в относительных единицах.

КПД, равный 1,0, означает простое воспроизводство энергии. Для расширенного воспроизводства он должен быть больше единицы, как минимум 1,3–1,4.

КПД произведенной сельскохозяйственной продукции необходим для того, чтобы хотя бы приблизительно можно было определить, какие производства окупаются, а какие следует совершенствовать, перефилировать или ограничить.

Одним из наиболее применимых к условиям сельскохозяйственного производства методов является метод энергетического анализа, разработанный под руководством академика М. М. Севернева с определением коэффициента энергетической эффективности (K_3), определяемого как соотношение энергоемкости нового ($\mathcal{E}_н$) и базового ($\mathcal{E}_б$) вариантов:

$$K_3 = \mathcal{E}_н / \mathcal{E}_б \quad (2)$$

С учетом K_3 определяется показатель интенсификации научно-технического прогресса разработок по энергозатратам (I_3), который выражается в процентах и рассчитывается по формуле:

$$I_3 = (1 - K_3) \times 100 \% \quad (3)$$

Совокупные затраты энергии для этих формул по новому и базовому вариантам рассчитываются с учетом специфики формирования энергетических эквивалентов и их размерности по следующим статьям расхода на основе технологических карт производства сельскохозяйственной продукции:

– прямых удельных затрат энергии на выполнение технологического процесса в новом и базовом вариантах (расход бензина, дизтоплива, электроэнергии, газа, нефти, дров и т. д.);

– косвенных удельных энергозатрат (или овеществленных), состоящих в свою очередь из оборотных средств, где энергозатраты использованы на изготовление, хранение и доставку энергоносителей (горючего, газа, электроэнергии и т. д.), и энергоемкости семян, удобрений, пестицидов и других ресурсов, а также из основных средств производства или энергоемкости средств механизации (металла), складов, ирригационных сооружений, бытовых помещений, инвентаря и др.;

– годовые затраты энергии основных средств производства определяются с учетом нормативного срока службы средств механизации, сооружений и других (по нормам амортизации) и времени их участия в технологическом процессе (по физическому времени работы в часах);

– затрат совокупной энергии, вложенных трудовыми ресурсами. Так как сокращение трудозатрат является одним из главных показателей интенсификации производства, то энергозатраты живого труда анализируются отдельно и не суммируются с общими энергозатратами:

$$E_{\text{сов.}} = E_{\text{пр.}} + E_{\text{кос.}} + E_{\text{осн.}} + E_{\text{тр.}}; \quad (4)$$

– затраты энергии, содержащейся в сельскохозяйственной продукции, аналогично использованным ресурсам принято выражать в единицах системы СИ.

Таким образом, применение энергетического анализа используется главным образом при выборе оптимальных ресурсо- и энергосберегающих технологий и определении рациональной структуры посевных площадей, при количественной оценке способности различных видов и сортов сельскохозяйственных растений и других показателей эффективности сельскохозяйственного производства.

Задание 2. Рассчитайте показатель биоэнергетической эффективности (I) (энергетический КПД), а также коэффициент энергетической эффективности (K_3) и показатель интенсификации научно-технического прогресса разработок по энергозатратам (I_3) для производства 70 тонн сена, если на это было затрачено 350 000 мДж энергии, а в предыдущем периоде затраты энергии на производство 1 тон-

ны сена составили 6300 мДж. Для оценки количества энергии, содержащейся в продукции сельского хозяйства, используйте приложение 2.

1.3. Энергоэкономические показатели по нормированию ТЭР

1. Прямые обобщенные энергозатраты (A), т у. т:

$$A_{\text{ТЭР}} = B + K_{\text{э}}\mathcal{E} + K_{\text{q}}Q, \quad (5)$$

где B – количество потребленного топлива, поступившего на предприятие со стороны, т у. т.; $K_{\text{э}}, K_{\text{q}}$ – топливный эквивалент, выражающий количество условного топлива, необходимого для производства и передачи к месту потребления единицы электрической и тепловой энергии; ежегодно устанавливается Министерством экономики Республики Беларусь ($K_{\text{э}} = 0,28$; $K_{\text{q}} = 0,175$); $\mathcal{E}$ – количество электроэнергии, полученное предприятием со стороны, МВт·ч; Q – количество тепловой энергии, полученное предприятием со стороны, Гкал.

2. Энергоемкость продукции, работы, услуги ($A_{\text{п}}$ т у. т/шт., т, кг и т. д.) представляет отношение прямых обобщенных энергозатрат ($A_{\text{ТЭР}}$) к объему продукции (Π), произведенной за аналогичный период:

$$A_{\text{п}} = A_{\text{ТЭР}} / \Pi \quad (6)$$

При сравнительной оценке операций, технологий, сортов растений по удельным затратам энергии важно выявлять вариант с наименьшей энергоемкостью.

3. Электроемкость продукции ($\mathcal{E}_{\text{п}}$, тыс. кВт·ч/шт., т, кг и т. д.) измеряется отношением всей потребленной электрической энергии ($\mathcal{E}$) к объему продукции (Π), произведенной за аналогичный период:

$$\mathcal{E}_{\text{п}} = \mathcal{E} / \Pi \quad (7)$$

4. Теплоемкость продукции ($Q_{\text{п}}$ Гкал/шт., т, кг и т. д.) – отношение всей потребляемой тепловой энергии (Q) к объему продукции, произведенной за анализируемый период (Π):

$$Q_{\text{п}} = Q / \Pi \quad (8)$$

5. Энерговооруженность труда ($A_{\text{м}}$, т у. т/шт., т, кг и т. д.) – отношение прямых обобщенных энергозатрат ($A_{\text{ТЭР}}$) за анализируемый период к среднесписочной численности производственного персонала ($U_{\text{пп}}$):

$$A_{\text{м}} = A_{\text{ТЭР}} / U_{\text{пп}} \quad (9)$$

6. Электровооруженность труда по мощности ($\mathcal{E}_{\text{т}}$, тыс. кВт·ч/чел.) – отношение всей потребленной на предприятии электроэнергии ($\mathcal{E}$) к

среднесписочной численности производственного персонала ($Q_{\text{пп}}$) за анализируемый период:

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E} / Q_{\text{пп}} \quad (10)$$

7. Электровооруженность труда по мощности ($\mathcal{E}_{\text{ТМ}}$, тыс кВт ч/чел.) – отношение установленной мощности всех токоприемников на предприятии ($\mathcal{E}_M$) к среднесписочной численности производственного персонала ($Q_{\text{пп}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ТМ}} = \mathcal{E}_M / Q_{\text{пп}} \quad (11)$$

8. Коэффициент электрификации ($\mathcal{E}_\mathcal{O}$, тыс. кВт·ч/т у. т.) – отношение всей потребленной на предприятии электроэнергии ($\mathcal{E}$) к прямым обобщенным энергозатратам за планируемый период ($A_{\text{ТЭР}}$):

$$\mathcal{E}_\mathcal{O} = \mathcal{E} / A_{\text{ТЭР}} \quad (12)$$

Задание 3. Определите прямые обобщенные энергозатраты, т у. т, энергоемкость, электроемкость, теплоемкость продукции, а также энерговооруженность, электровооруженность труда если предприятием было получено и использовано 680 мВт электроэнергии и 150 Гккал тепловой энергии. Количество произведенной продукции – 320 т, среднесписочная численность работников 60 человек.

1.4. Расчет экономической эффективности инвестиционных вложений в энергосберегающие мероприятия

Методика расчета экономической эффективности инвестиционных вложений в энергосберегающие мероприятия, как и во все другие проекты при замене чего-либо старого на более новое, современное, базируется на составлении затрат и ожидаемых результатов.

К затратам относят вложения на закупку оборудования, стоимость транспортировки его, объем строительно-монтажных работ.

Сопоставляется цена традиционно используемого топлива (например, мазута), которому предлагается замена, а также производительность старого и нового оборудования, срок его эксплуатации.

В итоге расчетов определяется срок окупаемости инвестиций (T) по следующей зависимости:

$$T = K / \Delta C - C_y \quad (13)$$

где K – требуемый объем инвестиций, руб.; ΔC – годовая экономия, достигнутая в результате снижения расхода топливно-энергетических

ресурсов; C_y – дополнительные затраты на эксплуатацию системы топливообеспечения.

Тогда общая сумма инвестиций:

$$K_o = C_o + T_p + O_{\text{смп}} + P_n, \quad (14)$$

где C_o – цена закупаемого оборудования, руб.; T_p – транспортные расходы по доставке закупаемого оборудования; $O_{\text{смп}}$ – объем строительно-монтажных работ, руб.; P_n – непредвиденные расходы.

Зная производительность нового оборудования, норму расхода и цену топливно-энергетических ресурсов на единицу вырабатываемой электроэнергии или тепловой энергии, можно рассчитать себестоимость (C) их единицы по следующей формуле:

$$C = K_o / CnM, \quad (15)$$

где K_o – общая сумма инвестиций, руб.; C – цена единицы топливно-энергетических ресурсов, используемых для выработки электроэнергии или тепловой энергии по внедряемой технологии, руб.; n – норма расхода топлива на единицу вырабатываемой энергии, м^3 , т; M – мощность оборудования по паспорту, кВт;

Гкал. единицы энергии по старой технологии (C_c) на себестоимость ее по новой технологии (C_n), получим срок окупаемости (T) внедряемой технологии:

$$T = C_n / C_c \quad (16)$$

Этот расчет может быть применим при обосновании внедрения проектов с небольшой стоимостью. Существует и другой подход к выбору оптимальной формы инвестирования и оценки экономической эффективности инвестиционного проекта по энергосбережению – на основе объективного экономического критерия. Общим для таких критериев является сопоставление инвестиционных затрат с достигаемым экономическим эффектом. В мировой практике для выбора оптимального варианта в динамической постановке задачи используется экономический критерий, выражающий общую эффективность. Он называется чистой дисконтированной стоимостью и записывается в следующем виде:

$$\sum_{t=1}^T (D_t - C_t - K_t)(1+E)^{-t} - K_o + L(1+E)^{-T}, \quad (17)$$

где D_t – денежные поступления в t -м году (выручка от реализации продукции, дивиденды и т.д.); C_t – годовые эксплуатационные расходы в t -м году (без амортизации) и другие платежи (налоги, пошлина и

т. д); Kt – капиталовложения; L – ликвидная стоимость по истечении срока службы T ; E – процентная ставка.

Если значение данного критерия положительно, то это означает, что доход за период T перевешивает все затраты и вариант эффективен. Если рассматриваются несколько вариантов, то наиболее экономичным считается вариант, имеющий максимальное значение критерия.

Задание 4. Определите срок окупаемости инвестиций (T), если цена закупаемого оборудования (C_0) – 60 000 руб., транспортные расходы по доставке закупаемого оборудования (T_p) – 2000 руб., объем строительно-монтажных работ, необходимый для установки и последующей эксплуатации нового оборудования ($O_{\text{смп}}$) – 4000 руб., запланированы денежные средства на непредвиденные расходы (P_n) в размере 5 % от всей остальной стоимости инвестиционных затрат. Внедрение оборудования позволит достичь годовой экономии (ΔC) 100 000 кВт ч – дополнительные затраты на эксплуатацию оборудования (C_y) составят 1000 рублей в месяц. Стоимость 1 кВт ч – 0,35 рублей.

2. Энергетический и биоэнергетический анализ производства продукции растениеводства

Важной составляющей оценки энергетической эффективности является структура энергетических затрат на производство единицы продукции растениеводства. Общая энергоемкость продукции ($\mathcal{E}$) складывается из затрат топлива, электроэнергии и других составляющих энергетического баланса ($\mathcal{E}_3$), отнесенных к единице производимой продукции (B) сельскохозяйственной культуры, отдельных сортов или ценной части урожайности (кормовых единиц, переваримого протеина, жира, сахара, крахмала, сухого вещества):

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_3 / B \quad (18)$$

Для количественного выражения показателя энергоемкости продукции устанавливаются суммарные энергозатраты на возделывание и уборку того или иного вида или сорта сельскохозяйственной культуры путем расчетов (см. энергетическая оценка сельскохозяйственных технологий) в расчетных таблицах по статьям энергозатрат и суммирование итогов.

Пример 1. Суммарные энергетические затраты на 1 га посева, рассчитанные на основе технологической карты возделывания и уборки кукурузы на силос, составили 13720 МДж при урожайности зеленой массы 360 ц/га. Энергоемкость 1 ц зеленой массы и 1 ц кормовых единиц готового силоса составила:

$$\mathcal{E}_{з.м.} = \mathcal{E}_3 : B = 13720 : 360 = 38,1 \text{ МДж/ц};$$

$$\mathcal{E}_{к.ед.} = \mathcal{E}_3 : B = 13720 : (360 \times 0,7 \times 0,19) = 286,5 \text{ МДж/ц к. ед.},$$

где 0,7 – коэффициент выхода силоса из зеленой массы; 0,19 – коэффициент кормового достоинства силоса

Пример 2. Суммарные энергозатраты на 1 га посева, рассчитанные на основе технологической карты возделывания и уборки ячменя, составили 16880 МДж при средней урожайности 50 ц/га, а сортов Якуб – 46 ц/га и Бровар – 54 ц/га. Энергоемкость 1 ц зерна и 1 ц кормовых единиц ячменя составила:

$$\mathcal{E}_{з.п.} = \mathcal{E}_3 : B = 16880 : 54 = 312 \text{ МДж/ц},$$

$$\mathcal{E}_{з.б.} = \mathcal{E}_3 : B = 16880 : 46 = 366,9 \text{ МДж/ц},$$

$$\mathcal{E}_{з.сред.} = \mathcal{E}_3 : B = 16880 : 50 = 337,6 \text{ МДж/ц},$$

$$\mathcal{E}_{к.ед.} = \mathcal{E}_3 : B = 16880 : (50 \times 1,12) = 301,4 \text{ МДж/ц к.ед.},$$

где 1,12 – коэффициент кормового достоинства ячменя

Энергоемкость производства центнера кормовых единиц кукурузы на силос ниже энергоемкости центнера кормовых единиц зерна ячменя на 5,2 %. Энергоемкость же зерна ячменя сорта Якуб ниже энергоемкости зерна сорта Бровар на 17,6 % и энергоемкости зерна «ячменя» в среднем на 8,2 %. Такое сравнение затрат на единицу продукции видов и сортов сельскохозяйственных растений важно при сортоизучении и поиске путей снижения суммарных энергозатрат.

Следует иметь в виду, что при получении в урожайности сельскохозяйственной культуры сопряженных видов продукции, а также учитывая сортность, стандартность и другие показатели, суммарные энергозатраты по культуре следует распределять по этим видам продукции пропорционально их стоимости.

Эффективность потребления энергоресурсов в процессе сельскохозяйственного производства при энергетическом анализе характеризуется коэффициентом энергетической эффективности (К), который определяется отношением энергии, накопленной в основной и побочной продукции (V_0 ; V_p), к совокупным энергетическим затратам (V_3) на ее производство:

$$K = \frac{V_o + V_{\pi}}{V_z}, \quad (19)$$

где K – коэффициент энергетической эффективности; V_o – энергия, накопленная в основной продукции, МДж; V_{π} – энергия, накопленная в побочной продукции, МДж; V_z – полные затраты энергии, израсходованной на производство продукции, МДж.

Так, коэффициент экономической эффективности (K) ячменя при средней урожайности основной продукции 50 ц/га, в которой было накоплено энергии 47000 МДж (50×940), (приложение 2) и суммарных энергозатрат на гектар посева 16800 МДж, составил:

$$K = V_o : V_z = 47000 : 16880 = 2,78 \text{ ед.}$$

В урожайности соломы ячменя было накоплено 20 000 МДж ($50 \times 0,8 \times 500$). В общем урожае ячменя было накоплено 67000 МДж ($20000 + 47000$) энергии, а общий коэффициент экономической эффективности энергоотдачи составил:

$$\text{Кобщ} = (V_o + V_{\pi}) : V_z = 67000 : 16880 = 4 \text{ ед.}$$

Повышение энергетической эффективности производства растениеводческой продукции может быть достигнуто за счет:

- 1) роста урожайности сельскохозяйственных культур;
- 2) снижения энергозатрат на отдельные технологические процессы возделывания сельскохозяйственных культур, уборку и доработку продукции.

Задание 1. Суммарные энергетические затраты на 1 га посева, рассчитанные на основе технологической карты возделывания и уборки кукурузы на силос, составили 22000 МДж при урожайности зеленой массы 370 ц/га. Найдите энергоемкость 1 ц зеленой массы и 1 ц кормовых единиц готового силоса, если коэффициент выхода силоса из зеленой массы – 0,68, коэффициент кормового достоинства силоса – 0,18.

Задание 2. Определите энергоемкость 1 ц зерна и 1 ц кормовых единиц, коэффициент энергетической эффективности (K) производства зерновых вместе с побочной продукцией, при следующих исходных данных. Суммарные энергозатраты на 1 га посева, рассчитанные на основе технологической карты возделывания и уборки зерновых, составили 9500 МДж при средней урожайности 34 ц/га, коэффициент кормового достоинства зерновых – 1,15, коэффициент выхода соломы – 0,9.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие возобновляемые энергетические ресурсы Вы знаете?
2. Что относят к вторичным энергетическим ресурсам?
3. Что такое условное топливо и для чего нужен данный показатель?
4. Назовите основные пути экономии энергоресурсов в агропромышленном комплексе.
5. Как определяют показатель биоэнергетической эффективности?
6. Из чего состоят совокупные затраты энергии?
7. Назовите основные энергоэкономические показатели по нормированию топливно-энергетических ресурсов.
8. Для чего проводят энергетический анализ производства продукции в сельском хозяйстве?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Коэффициенты перевода различных видов топлива в условное топливо

Наименование видов топлива	Единица измерения	Средний коэффициент (К)
Сланцы горючие:		
эстонские	т	0,324
ленинградские	т	0,300
Торф топливный:		
фрезерный (условная влажность – 40 %)	т	0,340
кусовой (условная влажность – 33 %)	т	0,410
Торфяная крошка (условная влажность – 40 %)	т	0,370
Брикеты торфяные (условная влажность – 16 %)	т	0,600
Нефть, включая газовый конденсат	т	1,430
Газ горючий природный	тыс. м ³	1,150
Газ горючий попутный	тыс. м ³	1,300
Мазут топочный	т	1,370
Мазут флотский	т	1,430
Топливо для тихоходных дизелей (моторное)	т	1,430
Топливо дизельное	т	1,450
Топливо печное бытовое	т	1,450
Бензин автомобильный	т	1,490
Бензин авиационный	т	1,490
Керосин для технический целей (тракторный)	т	1,470
Керосин осветительный	т	1,470
Керосин авиационный (для реактивных двигателей)	т	1,470
Газ нефтепереработки сухой	т	1,500
Газ сжиженный	т	1,570
Кокс металлургический сухой (25 мм и выше)	т	0,990
Коксик (10–25 мм) в пересчете на сухой вес	т	0,930
Коксовая мелочь (< 10 мм) в пересчете на сухой вес	т	0,900
Уголь древесный	т	0,930
Старые бревна, шпалы, столбы связи, рудничная стойка	м ³	0,266
Отработанные масла	т	1,300
Смесь нефтяных отходов	т	0,880

Значения энергетических эквивалентов сырья и материалов

Наименование сырьевых ресурсов	Энергетический эквивалент, МДж/кг
Зерно (в среднем)	9,4
Комбикорм (в среднем)	14,4
Отруби	10,6
Жмыхи	9,6
Шроты	8,8
Трава (в среднем)	3,0
Сено (в среднем)	6,8
Солома (в среднем)	5,0
Сенаж (в среднем)	5,8
Силос (в среднем)	6,2
Картофель	8,0
Корнеплоды	10,0
Травяная мука	19,5
Мясокостная мука	345,0
Дрожжи	41,7
Молоко цельное	42,0
Меласса	12,0
Минеральные добавки	11,2
Поваренная соль	5,0
Лекарственные и ветеринарные средства	328,2
Дезинфицирующие средства	80,2
Экскременты	16,0
Подстилка: торф	3,8
Подстилка: солома, опилки	5,0
Вода	2,3

Практическая работа № 6 «ПРОИЗВОДСТВО И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГАЗА»

1. Технология производства биогаза

Биогаз получают водородным или метановым брожением биомассы. Метановое разложение биомассы происходит под воздействием трех видов бактерий. В цепочке питания последующие бактерии питаются продуктами жизнедеятельности предыдущих. Первый вид – бактерии гидролизные, второй – кислотообразующие, третий – метанобразующие. В производстве биогаза участвуют не только бактерии класса метаногенов, а все три вида. Одной из разновидностей биогаза является биоводород, где конечным продуктом жизнедеятельности бактерий является не метан, а водород.

Биогаз – смесь газов, образующихся при метановом брожении биомассы в биогазовом реакторе под воздействием анаэробных бактерий – метаногенов. Процесс производства биогаза в промышленной установке является ускоренным вариантом природного цикла разложения органического вещества, но, в отличие от естественных процессов, метановым брожением в биогазовой установке можно эффективно управлять. В установках и комплексах для получения биогаза используются специальные штаммы анаэробных бактерий. Это позволяет производить до 27000 кВт · ч электрической энергии из биомассы, собираемой с одного гектара кукурузы. Эффективность современных технологий поразительна: отдача энергии с одного гектара «энергетических» культур в пять раз превышает энергозатраты на выращивание урожая и его преобразование в биогаз.

Получение биогаза возможно в установках самых разных масштабов, однако особенно эффективна эта технология на крупных животноводческих комплексах с возможностью полного экологического цикла. Для переработки также могут быть использованы бытовые отходы и органический мусор. Кроме этого во многих странах практикуется выращивание специальных «энергетических» культур: кукурузы, сахарной свеклы и других растений с большой вегетативной массой.

Метановое брожение биомассы происходит в реакторах (ферментаторах), где искусственно создаются оптимальные для протекания процесса условия. Установка для получения биогаза состоит из нескольких компонентов, тщательно подобранных друг к другу. Большинство операций на современной биогазовой установке автоматизировано. Каждый ее элемент диагностируется и управляется дистанционно.

Метанобразующие бактерии разлагают биомассу в реакторах – больших герметичных резервуарах из стали или бетона. В реакторы подается свежая органическая масса, являющаяся питательным материалом для бактерий. Система управления обеспечивает подачу в реактор заданного количества биомассы. При этом ведется учет объемов как загруженного сырья, так и произведенного из него биогаза.

Принципиальная схема получения биогаза приведена на рис. 1.



Рис. 1. Технологическая схема процесса производства и использования биогаза

Основным и самым крупным элементом биогазовой установки является реактор. Именно в нем создаются оптимальные условия для жизнедеятельности бактерий, и от совершенства конструкции реактора зависит как эффективность процесса метанового брожения, так и установки в целом. По функциональному назначению оборудование реактора можно разделить на следующие системы: подготовки и загрузки сырья, сбраживания биомассы (ферментатор), сбора биогаза, удаления обработанного субстрата.

Система подготовки и загрузки сырья обеспечивает регулярное «питание» реактора свежей жидкой и твердой биомассой. Отходы животноводческого предприятия (навоз КРС и свиней, помет птицы, канализационные стоки) подаются в приемную емкость для жидкого сырья. На этом этапе, при необходимости увеличения влажности сырья, в него добавляют требуемое количество воды. Далее производят смешивание (гомогенизацию) жидкого сырья и с помощью насоса пе-

рекачивают его в ферментатор биогазового реактора. Твердое сырье (зеленая масса, силос, отходы цехов уоя и мясопереработки) после предварительного измельчения подается шнековым загрузчиком непосредственно в ферментатор.

Метанобразующие бактерии могут жить и размножаться в питательной среде, содержащей не менее 50 % воды. Большинство современных биогазовых установок перерабатывают сырье (субстрат) с содержанием сухого вещества в пределах 5–18 %. Если содержание сухого вещества составит менее 5 %, то процесс брожения также будет происходить, но для его протекания потребуется значительно больший объем ферментатора, что негативно скажется на рентабельности производства биогаза. Содержание сухого вещества в сырье более 18 % является верхней границей, при которой субстрат можно перекачивать насосом и перемешивать в ферментаторе.

Существуют два способа производства биогаза: периодический и непрерывный. Периодический способ предусматривает одномоментное заполнение ферментатора свежим субстратом. При использовании периодического способа суточные объемы производства биогаза первоначально увеличиваются, достигают максимума, а затем, по мере израсходования бактериями питательных веществ субстрата, снижаются (рис. 2). В определенный момент ферментатор освобождают от отработанного субстрата, заполняют свежим, затем цикл повторяется. Периодический способ не обеспечивает равномерного производства биогаза, и это является основным его недостатком.

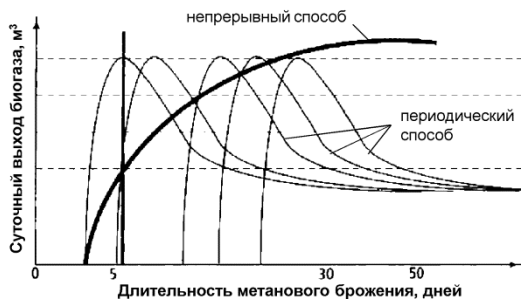


Рис. 2. Динамика выхода биогаза при различных способах производства

Для обеспечения равномерной выработки биогаза используют непрерывный способ (см. рис. 2), при котором свежий субстрат подается,

а отработавший дигестат удаляется из ферментатора небольшими порциями на протяжении суток, и так процесс продолжается в течение нескольких лет.

Ключевым параметром, определяющим работу установки в режиме непрерывного производства биогаза, является удельная загрузка ферментатора, равная отношению массы органического сухого вещества, содержащегося в суточной порции свежего субстрата, к рабочему объему ферментатора. Удельная загрузка ферментатора имеет размерность кг о. с. в/м³ (килограммов органического сухого вещества в одном кубическом метре). Величина удельной загрузки ферментатора зависит от температуры и продолжительности разложения биомассы. Чем ниже температура и чем дольше время брожения, тем больше органического материала может быть загружено в 1 м³ объема ферментатора. На практике часто встречается загрузка ферментатора в 2–3 кг органического сухого вещества на 1 м³ в день. Если загрузка увеличивается до 4–5 кг о. с. в/м³, то активность бактерий снижается и производство биогаза уменьшается, т. е. установка считается перегруженной.

Система сбраживания биомассы включает технические средства для подогрева и перемешивания субстрата. Ее задачей является создание в ферментаторе благоприятных условий для жизнедеятельности метанобразующих бактерий.

В большинстве промышленных биогазовых установок температура субстрата в ферментаторе находится в пределах 25–55 °С. Таким образом, для обеспечения круглогодичной работы установки в климатических условиях Республики Беларусь требуется подогрев субстрата в ферментаторе. Подогрев может выполняться с помощью внешних, расположенных за пределами ферментатора, или внутренних теплообменников.

Спиральные теплообменники (рис. 3) относятся к устройствам внешнего типа. Внутри них по одному витку спирали движется субстрат, по второму – теплоноситель (горячая вода). Противоточное (навстречу друг другу) движение субстрата и воды повышает эффективность теплообмена. Спиральные теплообменники отличаются высокой тепловой мощностью при компактной конструкции, имеют модульное построение и легко масштабируются. Кроме того, они надежны, просты в обслуживании и могут использоваться для одновременного подогрева нескольких ферментаторов.

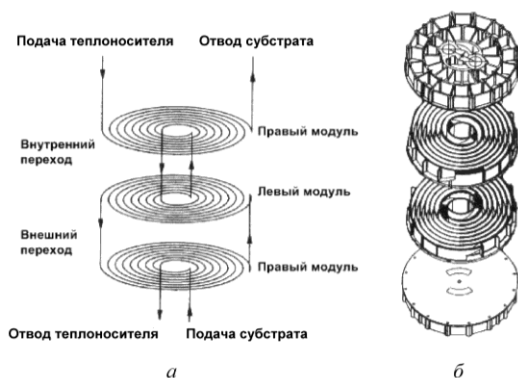


Рис. 3. Схема движения субстрата и теплоносителя (а) и общий вид модулей (б) спирального теплообменника

Внутренние теплообменники располагаются непосредственно в ферментаторе и представляют собой сеть труб с условным проходным диаметром от $\frac{1}{2}$ до 1 дюйма (12,7–25,4 мм), по которым циркулирует горячая вода. По конструктивному исполнению внутренние теплообменники могут быть вмонтированы в основание или закреплены на боковой поверхности ферментатора. По сравнению с внешними, внутренние теплообменники имеют худшие показатели эффективности и равномерности подогрева субстрата в реакторе. Также имеется риск механического или химического повреждения труб в случае их открытого монтажа на стенах ферментатора.

В климатических условиях Республики Беларусь теплоизоляция реактора и трубопроводов подачи горячей воды является обязательной составляющей. При этом ферментатор можно изолировать как снаружи, так и изнутри. В связи с тем, что использование внутренней теплоизоляции сопряжено с объективными сложностями (изоляционный материал должен быть неплавучим, а также устойчивым к субстрату, бактериям, кислотам и механическим повреждениям), ферментаторы обычно изолируют снаружи. В качестве изоляционных материалов наибольшее распространение получили минеральные волокна (ваты), синтетические плиты и пены (табл. 1).

Как правило, субстрат в ферментаторе перемешивают несколько раз в сутки с целью достижения следующих эффектов:

- перемешивание свежего и ферментированного субстрата способствует переселению колоний бактерий в новый материал;

- обеспечение равномерного нагрева субстрата в ферментаторе;
- предотвращение образования поверхностной корки или расслоения субстрата;
- облегчение выхода пузырьков газа из глубинных слоев субстрата.

Таблица 1. Характеристики конструкционных и изоляционных материалов

Виды материалов	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · °С)
Сталь конструкционная	7700–7900	47–58
Бетон	500–1800	1,5–1,7
Вата минеральная	30–50	0,035–0,050
Плиты полистирольные	20–45	0,038–0,052
Плиты из экструдированного пенополистирола	30–80	0,029–0,032
Пена полиуретановая	20–35	0,022–0,038

Перемешивание может осуществляться механическим (использование лопастных мешалок), гидравлическим (за счет принудительной циркуляции субстрата) и пневматическим (путем прокачки выработанного биогаза через субстрат) способами (рис. 4).

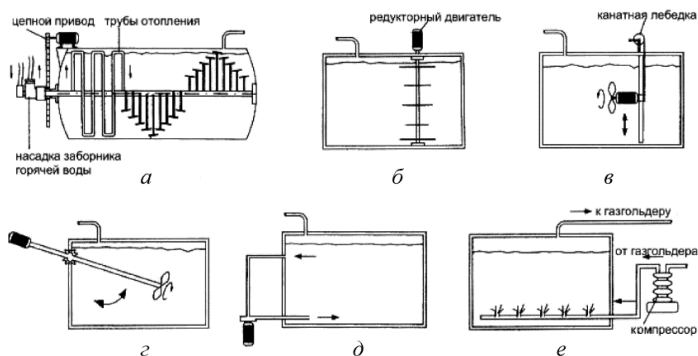


Рис. 4. Способы перемешивания субстрата в ферментаторе:

- а* – горизонтальная лопастная мешалка; *б* – вертикальная лопастная мешалка;
в – пропеллерная мешалка с погружным электродвигателем; *г* – шарнирно закрепленный миксер; *д* – перемешивание субстрата гидравлическим способом; *е* – пневматический способ перемешивания прокачиванием биогаза через субстрат

В субстратах с невысоким содержанием сухого вещества (5–10 %) маленькие пузырьки биогаза поднимаются на поверхность самостоя-

тельно. Однако в современных биогазовых установках прослеживается тенденция к использованию более густых субстратов (содержание сухого вещества 15–18 %). При этом повышенная вязкость среды мешает свободному выходу газа на поверхность и, например, при отключении мешалки субстрат начинает увеличиваться в объеме, словно дрожжевое тесто. В таком случае, если не предпринять срочных действий по нормализации ситуации, дальнейшее расширение субстрата может привести к подъему перекрытия ферментатора и к срыву его пленочного купола. Из этого следует, что перемешивание важно не только для предотвращения образования поверхностной корки или расслоения субстрата, но и для выведения выработанного биогаза. И чем гуще субстрат, тем чаще надо его перемешивать.

Процесс метанового сбраживания позволяет решать важную для сельского хозяйства задачу поддержания плодородия почвы. Использование отработанного в реакторе биогазовой установки субстрата (дигестата) в земледелии способствует получению на 10–15 % большей урожайности сельскохозяйственных культур, чем при внесении в почву обычного навоза. Объясняется это тем, что при брожении минеральные вещества навоза и помета превращаются в более усвояемые для растений формы, а также происходит уничтожение возбудителей болезней и семян сорняков.

Удаление отработанного субстрата из биогазовых установок в большинстве случаев происходит самотеком, путем отвода лишней массы через переливную U-образную трубу. Дигестат поступает в хранилище (лагуну), где выдерживается до момента внесения на поля в виде жидкого органического удобрения. Поскольку отработанный материал плотнее активного, производящего газ субстрата, то сливную трубу располагают у дна ферментатора.

В процессе метанового сбраживания на дне ферментатора накапливается плотная илистая масса, состоящая из песка, непереваренных остатков корма и т. п., которую не удастся вывести из реактора описанным выше способом. При этом оседающие отложения постепенно уменьшают рабочий объем ферментатора, а также нарушают стабильность процесса производства биогаза. Существует четыре варианта борьбы с накоплением подобных веществ в ферментаторе:

- субстрат непрерывно перемешивают с такой интенсивностью, чтобы плотные включения пребывали во взвешенном состоянии;
- помимо основного перелива, ведущего в лагуну, предусматривают один или несколько донных отводов для осадка;

– периодически (каждые 4–5 лет) открывают реактор и выгружают осадок;

– ферментатор изначально оснащают специальным устройством для удаления осадка, состоящего из вращающегося донного скребка, зумпфа (нижняя часть шахтного ствола, отстойник для сбора грунтовых вод или гидросмеси) для сбора илистых частиц и наклонного выгрузного шнека (рис. 5).



Рис. 5. Общий вид донного скребка для удаления ила из ферментатора

По сравнению с возобновляемой энергией солнца и ветра биогаз имеет преимущество, заключающееся в непрерывности его производства и возможности накопления. Основной сложностью в накоплении и хранении биогаза является его относительно небольшая объемная плотность энергии. Например, в 1 м^3 биогаза при атмосферном давлении содержится энергия, эквивалентная 0,6–0,7 л дизельного топлива.

Объем газонакопителя (газгольдера) биогазовой установки определяется ее производительностью и способом использования газа. В случае использования биогаза для выработки только тепловой энергии вместимость газгольдера обычно равна суточному объему производства газа. При производстве электроэнергии и круглосуточной работе когенерационной установки можно уменьшить объем газгольдера до 20–50 % от дневной выработки биогаза. Полностью же исключить использование газгольдера невозможно, поскольку в биогазовой установке всегда имеет место неравномерность выработки газа, обусловленная работой мешалок и периодичностью загрузки ферментатора свежим сырьем.

В первую очередь газгольдеры классифицируют по рабочему давлению: низкое (2–4 кПа), среднее (0,5–2,0 МПа) и высокое (20–30 МПа). С точки зрения минимизации издержек на производство биогаза предпочтительно хранить газ при низком давлении, так как для этого не требуется тратить дополнительную энергию на работу компрессорного оборудования. Газонакопители низкого давления изготавливаются из пленочных материалов и по конструктивному исполнению могут быть внешние (пленочные мешки, трубы, подушки) и внутренние, расположенные непосредственно над открытым ферментатором и являющиеся частью биогазового реактора.

Среди внутренних газгольдеров наибольшее распространение получили пленочные однослойные (рис. 6) и двухслойные самонесущие купола из *EPDM* (этилен-пропиленового каучука) толщиной 1,2–1,5 мм. Этот материал отличается высокой устойчивостью к воздействию ультрафиолета и озона, а также низкой проникающей способностью по метану (утечки составляют около 0,1 % от дневной выработки газа). Фиксация материала на ферментаторе осуществляется посредством зажима из специального профиля, а прочность *EPDM* позволяет сооружать купола над резервуарами диаметром до 35 м.

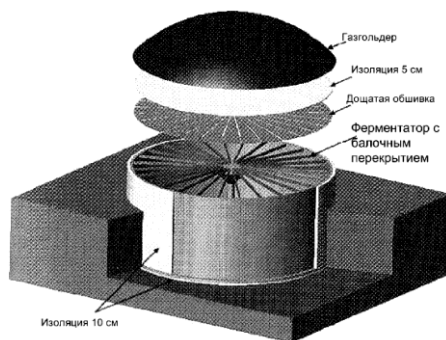


Рис. 6. Конструкция внутреннего пленочного однослойного газгольдера

В качестве основания пленочного газгольдера используют деревянное перекрытие над ферментатором. Наружные концы стропил перекрытия закрепляются на стене ферментатора, а внутренние опираются на центральную стойку. Шаг стропил у периферии резервуара может достигать 1,5 м. Для обеспечения стока дождевой воды с нерасправленного купола стропила должны устанавливаться с уклоном 2–5 %

наружу. На стропилах располагается дощатая обрешетка, через щели которой биогаз перетекает в газгольдер. Теплоизоляция перекрытия обеспечивается с помощью плит из пенополистирола, закрепленных поверх обрешетки.

Однослойный купол поддерживается в расправленном (надутом) состоянии за счет давления биогаза в газгольдере. В незаполненном состоянии такой купол теряет форму, провисает, полощется на ветру, а также накапливает атмосферные осадки в виде дождевой воды и снега. Данный недостаток устраняется при использовании двухслойного купола, состоящего из внутренней газодерживающей мембраны и внешнего тента. В пространство между мембраной и тентом с помощью компрессора нагнетается воздух под давлением 200–300 Па, благодаря чему тент распрямляется и образует самонесущую крышу. Внутренняя мембрана может подниматься или опускаться в зависимости от объемов выработки и потребления биогаза.

Пленочные газгольдеры периодически попадают в поле дискуссий с точки зрения их пожаро- и взрывоопасности. Серией экспериментов по целенаправленному повреждению пленки из *EPDM* установлено, что такое покрытие устойчиво к механическому воздействию падающих предметов (камни, осколки стекла, металлические прутья), а также его не удастся прожечь с помощью сигареты, фейерверка или раскаленного докрасна металлического стержня.

Учет суточного объема выработки газа необходим для оценки эффективности и производительности биогазовой установки. Для определения объема вырабатываемого газа используют газовые счетчики или расходомеры.

Биогаз является смесью нескольких газов и водяного пара. Основные компоненты биогаза – это метан (CH_4) и углекислый газ (CO_2). Общее содержание CH_4 и CO_2 в биогазе составляет 92–94 %, остальные 6–8 % – это водяной пар и другие газы: азот, сероводород, аммиак и пр. Энергетическая ценность биогаза определяется содержанием в нем горючего компонента – метана. Содержание метана зависит от перерабатываемого сырья и в большинстве случаев составляет 50–75 %. Физические свойства биогаза и природного газа приведены в табл. 2.

Биогаз, поступающий непосредственно из ферментатора, почти на 100 % насыщен водяным паром, а также имеет высокое содержание аммиака и сероводорода, что в совокупности вызывает коррозию трубопроводов, арматуры, газовых счетчиков и газопотребляющего обо-

рудования. Очевидно, что такой газ должен пройти определенную обработку перед его использованием.

Таблица 2. Физические свойства биогаза и природного газа

Наименование параметров	Биогаз (CH ₄ – 60 %, CO ₂ – 38 %, прочие газы – 2 %)	Газ природный
Плотность при атмосферном давлении, кг/м ³	1,1–1,2	0,7–0,8
Низшая теплота сгорания, МДж/м ³	21,2–21,8	31,8–38,2
Температура самовоспламенения, °C	700	650
Взрывоопасные концентрации в смеси с воздухом, %	6–12	5–17

Обычно биогаз обезвоживают методом охлаждения. При охлаждении ниже точки росы водяной пар переходит в жидкое агрегатное состояние и образовавшийся конденсат удаляется. Обезвоживание охлаждением также обеспечивает очистку биогаза от аммиака, который хорошо растворим в воде и удаляется вместе с конденсатом. Для осушения биогаза используют холодильные машины, охлаждающие газ до 0–+5 °C. С учетом того, что из 1 м³ биогаза выводится до 35 г конденсата, то при производительности биогазовой установки в 2000 м³ газа в сутки потребуются холодильный агрегат мощностью порядка 7 кВт.

На следующем этапе очистки биогаза из него удаляют сероводород (H₂S) – агрессивный газ, провоцирующий кислотную коррозию металлических поверхностей. Существуют следующие методы очистки биогаза от сероводорода:

- *химико-физические* – добавление в бродильный субстрат солей железа, снижающих концентрацию сероводорода в биогазе, или применение адсорбирующих фильтров с активированным углем;

- *биологические* – подача в газовую камеру ферментатора небольшого количества воздуха (3–5 % от объема выработанного биогаза) поддерживает жизнедеятельность серобактерий, перерабатывающих сероводород в элементарную серу, серную кислоту и воду;

- *комбинированные* – сочетание химико-физического и биологического методов очистки.

Для питания поршневых двигателей когенерационного блока допускается использовать биогаз с содержанием серы менее 2000 мг/м³. При низком содержании серы (до 700 мг/м³) газовые двигатели эксплуатируют согласно стандартной схеме технического обслуживания, предусматривающей межсервисные интервалы до 80 тыс. моточасов. Повышенное содержание серы (700–2000 мг/м³) в биогазе ускоряет

износ двигателя, в связи с чем требуется более частое проведение технического обслуживания.

Оборудование когенерационного блока обычно размещается в отдельно стоящем звукоизолированном контейнере (рис. 7).

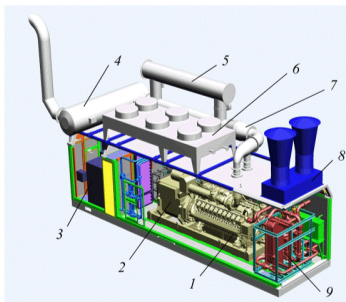


Рис. 7. Общее устройство когенерационного блока:

- 1 – газовый двигатель; 2 – электрический генератор; 3 – отсек для средств управления и автоматики; 4 – глушитель шума; 5 – теплообменник для отработавших газов; 6 – вспомогательный охладитель; 7 – каталитический нейтрализатор; 8 – блок вытяжных вентиляторов; 9 – теплообменник для охлаждающей жидкости

Главным элементом когенерационного блока является газовый поршневой двигатель внутреннего сгорания, производящий механическую и тепловую энергию. Механическая энергия используется для привода синхронного трехфазного генератора, вырабатывающего переменный электрический ток. Произведенная электроэнергия используется для удовлетворения собственных нужд предприятия или, после повышения напряжения до 10 кВ, реализуется в государственную распределительную сеть. Тепловая энергия, получаемая с помощью соответствующих теплообменников от охлаждающей жидкости, моторного масла и отработавших газов, используется как для подогрева ферментатора, так и для теплоснабжения жилых и производственных зданий (рис. 8).

Современные когенерационные блоки имеют электрический КПД 40–45 %, что уже является достаточно высоким значением. Однако максимальной эффективности установки (общий КПД 82–88 %) можно достичь только при полном использовании вырабатываемой двигателем тепловой энергии. Технические характеристики модельного ряда газовых двигателей *Jenbacher* компании *GE Power* приведены в табл. 3.

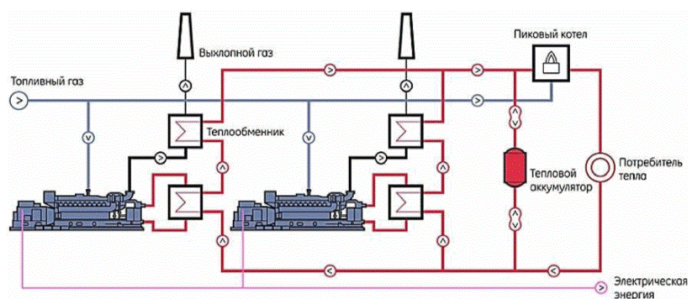


Рис. 8. Технологическая схема когенерационного блока

Таблица 3. Технические характеристики биогазовых двигателей *Jenbacher*

Модель	Число цилиндров	Рабочий объем цилиндров, л	Мощность электрическая, кВт	Электрический КПД, %	Мощность тепловая, кВт	Тепловой КПД, %	Общий КПД, %
J208	8	16,6	249	39,1	275	43,2	82,2
J312	12	29,2	524	41,3	563	44,2	85,4
J316	16	38,9	703	42,0	734	43,0	85,0
J320	20	48,7	1067	40,9	1179	45,2	86,1
J420	20	61,1	1500	42,4	1515	42,8	85,2
J612	12	74,9	1820	44,0	1668	40,3	84,2
J616	16	99,8	2435	44,1	2225	40,3	84,4
J620	20	124,8	3047	44,1	2782	40,3	84,4

Частота вращения коленчатого вала газового двигателя является постоянной величиной и равна 1500 об/мин при подключении генератора в электрическую сеть с частотой переменного тока 50 Гц. Выдерживание заданной частоты вращения коленчатого вала осуществляется путем автоматического управления подачей топлива в двигатель.

2. Особенности производства биогаза из отходов животноводческих предприятий

Органические вещества подвергаются аэробному (осуществляется в присутствии свободного кислорода) и анаэробному (в бескислородной среде) разложению. Твердые материалы со сложной структурой, такие как древесина и солома, лучше разлагаются в аэробных условиях, в то время как жидкие (навоз, пищевые отходы, жиры и т. п.) – в анаэробных.

Анаэробные метанобразующие бактерии в процессе своей жизнедеятельности нуждаются в питательных и минеральных веществах. Навоз КРС и свиней имеет оптимальное содержание таких веществ. Также достаточное их количество содержится в сене, кукурузе (свежая и силосованная), остатках пищи, отходах кухонь, барде и молочных продуктах.

Субстрат, загружаемый в ферментатор, чаще всего является смесью нескольких видов сырья. При его составлении следует придерживаться соотношения между углеродом (С), азотом (N) и фосфором (P) от 75:5:1 до 125:5:1. Из этого следует, что еще на этапе проектирования биогазовой установки необходимо иметь репрезентативные результаты химического анализа сырья, отражающие содержание в нем как полезных (углерод, азот, фосфор, кобальт, молибден, селен, марганец, железо), так и токсичных (кадмий, цинк, никель, свинец, хром, ртуть) веществ, замедляющих процесс брожения.

Отходы животноводческих предприятий являются традиционно используемым сырьем для биогазовых установок. При этом существует определенная разница между навозом КРС и свиней и пометом кур. Навоз имеет низкое, а помет, наоборот, высокое содержание сухого вещества. При этом следует учитывать, что только часть сухого вещества является органическим материалом. Более низкое содержание органики в сухом веществе навоза и помета получается вследствие попадания неорганических примесей (песок, глина, мел, ракушка и пр.) в корм. Поскольку разложению подвергается только органическая субстанция, то удельный выход биогаза принято считать по отношению к массе органического сухого вещества ($\text{м}^3/\text{кг}$ о. с. в.).

Длительность брожения субстрата в ферментаторе увязана со степенью разложения органического вещества. Обеспечение полного разложения в первую очередь требует значительного времени, поскольку скорость разложения заметно снижается по мере израсходования запасов органического вещества в субстрате. Это означает, что себестоимость выработки каждого последующего кубометра биогаза увеличивается. На практике степень разложения навоза или помета составляет в среднем 60 %. Установки, перерабатывающие исключительно растительное сырье, достигают степени разложения органики до 80 %.

Вторым фактором, определяющим длительность брожения субстрата, является температура в ферментаторе. Существует три типичных температурных режима, в которых себя хорошо чувствуют соответствующие штаммы бактерий:

- психрофильный – ниже 25 °С;
- мезофильный – 25–45 °С;
- термофильный – выше 45 °С.

Ранее большинство промышленных биогазовых установок работало в мезофильном режиме, однако из-за проблем с утилизацией тепловой энергии, вырабатываемой когенерационным блоком, в последнее время появилась тенденция к более широкому использованию термофильного режима. Спрос на термофильные установки также обусловлен более высокой (в 1,5–2 раза по сравнению с мезофильным режимом) скоростью разложения биомассы, что позволяет уменьшить объем ферментатора, а, следовательно, снизить денежные затраты на его строительство. Психрофильный температурный режим из-за длительного времени брожения и низкой газопроизводительности не применяется в промышленных масштабах, однако может быть реализован в малогабаритных биогазовых установках крестьянских или фермерских хозяйств.

Влияние температуры субстрата на активность бактерий показано на рис. 9. Чем выше температура, тем чувствительнее бактерии к ее колебаниям. В мезофильном режиме допускаются колебания температуры до 4 °С, в то время как для термофильного режима они не должны превышать 1 °С.

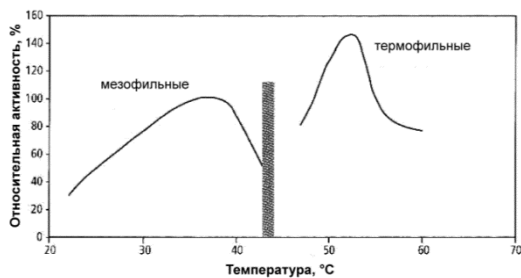


Рис. 9. Влияние температуры на активность мезофильных и термофильных штаммов метанобразующих бактерий

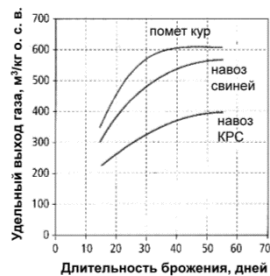


Рис. 10. Выход биогаза из навоза и помета в мезофильном режиме

Третьим фактором, влияющим на длительность брожения субстрата, является вид перерабатываемого сырья. График на рис. 10 показывает динамику выхода биогаза из навоза и помета в мезофильном температурном режиме. Из него видно, что птичий помет после 30-

дневного брожения теряет газообразующие свойства, в то время как навоз КРС и свиней интенсивно выделяет газ в течение 40–50 дней. Также из рис. 10 следует, что более продолжительное сбраживание субстрата не обеспечивает существенной прибавки к выходу биогаза.

Физические свойства отходов животноводческих предприятий и усредненные показатели процесса их метанового сбраживания приведены в табл. 4.

Таблица 4. Характеристика отходов животноводческих предприятий

Наименование показателя	Бесподстилоч- ный навоз КРС	Навоз свиней	Помет кур
Среднесуточный выход на одно взрослое животное (птицу), кг	50–55	5,5–6,5	0,17–0,19
Содержание сухого вещества, %	12–14	10–12	25–35
Содержание органической суб- станции в сухом веществе, %	70–80	75–80	72–76
Удельный выход биогаза, м ³ /кг о. с. в.	0,28–0,38	0,42–0,54	0,48–0,62
Содержание метана в биогазе, %	55	60	55
Продолжительность брожения при температурном режиме, дн.: – психрофильном (8–25 °С) – мезофильном (35–38 °С) – термофильном (52–54 °С)	60–100 40–45 15–25	60–100 45–50 20–25	50–80 30–35 15–20

Фактором риска при работе биогазовой установки на отходах животноводческих предприятий является вероятность попадания в субстрат антибиотиков и дезинфицирующих средств при массовой терапии животных или санитарной обработке помещений. Создание высокой концентрации противомикробных препаратов в ферментаторе замедляет процесс брожения вплоть до его полной остановки. Лечение же антибиотиками единичных животных обычно не приводит к столь негативным последствиям.

3. Производство биогаза в Республике Беларусь

Производство биогаза на основе отходов животноводства в Республике Беларусь является важным направлением в обеспечении региональной энергетической безопасности. Ежегодно только за счет использования навоза КРС, свиного навоза, птичьего помета, отходов зерно- и мясопереработки страна могла бы получать до 2,5 млрд. м³

биогаза и на его основе до 5 млрд. кВт · ч электрической энергии. При этом собственная годовая потребность агропромышленного комплекса Беларуси составляет около 3,5 млрд. кВт · ч.

По мнению специалистов РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», проблема переработки и утилизации навозных стоков, помета, отходов боен и других органических отходов животноводческих предприятий существует давно. Ежегодно требуется очищать и перерабатывать около 70 млн. т отходов. При этом большинство действующих животноводческих комплексов страны введено в эксплуатацию 25–30 лет назад. Их системы очистки отходов устарели и не соответствуют современным экологическим нормам. По приблизительной оценке, почти 30 % отечественных птицефабрик не имеют систем очистки пометных стоков. В случае полного использования такого потенциала биосырья суммарная установленная электрическая мощность биогазовых установок может составить около 625 МВт. С учетом замещения невозобновляемых энергоносителей это обеспечило бы ежегодную экономию около 2,9 млн. т условного топлива.

В соответствии с имеющимся потенциалом биосырья Национальной программой «Развитие местных, возобновляемых и нетрадиционных энергоисточников на 2011–2015 годы» планировалось строительство 102 биогазовых комплексов (БГК) суммарной электрической мощностью 77,8 МВт, из них 22 объекта общей мощностью 23,85 МВт предусматривалось эксплуатировать в организациях Министерства сельского хозяйства и продовольствия. Многие из запланированных БГК были построены и введены в эксплуатацию.

В СПК «Агрокомбинат «Снов» построен биогазовый комплекс мощностью 2 МВт. Комплекс введен в эксплуатацию в декабре 2011 г. Строительство финансировала швейцарская компания «TDF-Ecotech Technology». Затраты на технологическое оборудование, а также на проектные и строительные работы составили 6,5 и 0,5 млн. евро соответственно. Биореакторы работают на смеси навоза КРС и свиного навоза. На современном этапе БГК вырабатывает примерно 1,0 МВт электрической мощности, так как в навозе КРС содержится много песка, что приводит к частой остановке комплекса для очистки. Вырабатываемая тепловая энергия от когенерационных установок не утилизируется, что приводит к потерям и увеличению сроков окупаемости проекта. Отходы мясопереработки имеющегося собственного мясокомбината и зернопереработки не используются в качестве добавок к

субстрату, а применяется дорогой кукурузный силос. Отработанный субстрат хранится в открытой лагуне, где подвергается воздействию атмосферных осадков, что снижает его ценность как удобрения.

Анализ эксплуатации биогазового комплекса в ОАО «Гомельская птицефабрика», работающего на смеси птичьего помета и навоза КРС, показывает, что выработка энергии ниже проектной, что говорит о недостаточной эффективности использования вложенных средств. Необеспечение заданных параметров работы комплекса вызвано отклонениями в технологии производства биогаза и эксплуатации оборудования комплекса, в том числе нерегулярным проведением технических обслуживаний и планово-предупредительных ремонтов. Посторонние примеси в сырье приводят к частой остановке комплекса для очистки приемного бункера.

Несколько лучшая ситуация наблюдается на биогазовом комплексе в агропредприятии «Белорусский», также работающем на смеси навоза КРС и птичьего помета. Комплекс развивает примерно 75 % плановой мощности. Положительным моментом в эксплуатации данного БГК является частичная утилизация тепловой энергии для технологических нужд птицефабрики.

На крупнейшем в Беларуси и втором по мощности в Европе БГК СПК «Рассвет» им. К. П. Орловского» имеется четыре когенерационных блока электрической мощностью по 1,2 МВт (рис. 11), из которых только два работают в номинальном режиме и полностью используют тепловую энергию для технологических нужд комплекса и рядом расположенной теплицы.



Рис. 11. Биогазовый комплекс СПК «Рассвет» им. К. П. Орловского»

Основной причиной является нехватка растительного сырья. Для обеспечения непрерывной работы столь мощного комплекса требуется 34 тыс. т кукурузного силоса и 112 тыс. т навоза КРС в год. СПК «Рассвет» им. К. П. Орловского» способно удовлетворить сырьевые потребности БГК, однако перевозка указанных объемов биосырья требует дополнительных затрат. Тем не менее за первый год эксплуатации (2014) годовая выработка электроэнергии на биогазовом комплексе составила 17152 тыс. кВт · ч, из которой продано в сеть ГПО «Белэнерго» 16689 тыс. кВт · ч. Выручка от реализации электроэнергии составила 1977,6 тыс. долл. США, прибыль – 87,8 тыс. долл. США, уровень рентабельности – 4,6 %.

По мнению компетентных специалистов в области производства биогаза, ни один из действующих белорусских комплексов полностью не отвечает критериям эффективной работы БГК, которая формируется не только в процессе эксплуатации, но и при выборе технологического оборудования, проведении проектных, строительных, пусконаладочных, сервисных и ремонтных работ. Отмечаются основные требования и критерии, которые необходимо учитывать:

- на начальном этапе необходимо проводить детальный энергетический аудит сельскохозяйственной организации, в которой будет установлен БГК;

- обычно окупаемость биогазовой установки составляет 8–10 лет. В то же время для привлечения инвесторов, в том числе иностранных, желательно добиться снижения этого срока до пяти лет;

- следует тщательно оценивать сырьевую базу организации и затраты на перевозку;

- важным моментом является химический анализ сырья, а также расчет необходимого количества добавок для стабилизации выхода биогаза;

- необходим постоянный мониторинг качества субстратов, их вязкости и пригодности к перемешиванию;

- следует обеспечить регулярное и качественное техническое обслуживание оборудования биогазового комплекса;

- необходимо стремиться к 100%-ной утилизации тепловой энергии, вырабатываемой когенерационным блоком.

Для уменьшения сроков окупаемости биогазовых комплексов и повышения заинтересованности инвесторов в Совет Министров Республики Беларусь внесены предложения о повышении тарифов на электрическую энергию, вырабатываемую из биогаза, до уровня европей-

ских стран – не менее 0,20–0,28 евро/кВт · ч в зависимости от мощности установки и типа используемого сырья. В настоящее время тариф на такую энергию составляет не более 0,13 евро/кВт · ч (базовый тариф за 1 кВт · ч электрической энергии для промышленных и приравненных к ним потребителей с присоединенной мощностью до 750 кВт · А на 1 января 2019 г. равен 0,23975 руб/кВт · ч).

4. Технологический расчет биогазовой установки

Обоснование параметров биогазовой установки следует начинать с оценки сырьевых возможностей сельскохозяйственной организации.

Среднесуточный выход (кг) навоза или помета определяют по зависимости

$$M_n = nm_n, \quad (1)$$

где n – среднегодовое поголовье животных или птицы (варианты в табл. 5), гол.;

m_n – среднесуточный выход навоза или помета от одной головы (см. табл. 4), кг.

Таблица 5. Исходные данные для расчета биогазовой установки

Варианты	Виды животных	Поголовье, гол.	Варианты	Виды животных	Поголовье, гол.
1	КРС	1200	16	КРС	2800
2	Свиньи	24000	17	Свиньи	46000
3	Куры	300000	18	Куры	240000
4	КРС	760	19	КРС	1100
5	Свиньи	18000	20	Свиньи	36000
6	Куры	150000	21	Куры	480000
7	КРС	1400	22	КРС	1800
8	Свиньи	32000	23	Свиньи	20000
9	Куры	400000	24	Куры	350000
10	КРС	2200	25	КРС	700
11	Свиньи	8000	26	Свиньи	40000
12	Куры	60000	27	Куры	100000
13	КРС	940	28	КРС	2500
14	Свиньи	12000	29	Свиньи	16000
15	Куры	200000	30	Куры	500000

Как было указано выше, биогазовые установки редко используют только один вид сырья и в большинстве случаев перерабатывают мно-

гокомпонентные субстраты, состоящие из смеси навоза, помета и 25–30 % растительной массы. Суточную потребность биогазовой установки в растительном сырье (кг) определяют по формуле

$$M_p = 0,25 \dots 0,30 M_n . \quad (2)$$

Годовая потребность в растительном сырье составит (т):

$$M_p^{\text{год}} = \frac{365}{1000} M_p . \quad (3)$$

Из соотношения

$$C_{\text{св}} = \frac{M_n C_n + M_p C_p}{M_n + M_p + M_b}$$

определяют массу добавляемой в суточную порцию субстрата воды (кг):

$$M_b = \frac{M_n C_n + M_p C_p}{C_{\text{св}}} - M_n - M_p , \quad (4)$$

где C_n – содержание сухого вещества в навозе или помете (см. табл. 4), %;

C_p – содержание сухого вещества в растительной массе, $C_p = 30\text{--}40\%$;

$C_{\text{св}}$ – требуемое содержание сухого вещества в субстрате, %.

Объем суточной порции свежего субстрата (м^3) рассчитывают следующим образом:

$$V_c = \frac{M_n + M_p + M_b}{\gamma_c} , \quad (5)$$

где γ_c – объемная масса субстрата, $\gamma_c = 1020\text{--}1070 \text{ кг/м}^3$.

Рабочий объем ферментатора (м^3) рассчитывают исходя из продолжительности процесса брожения субстрата:

$$V_{\phi} = V_c D_b k_{z.\phi} , \quad (6)$$

где D_b – длительность брожения субстрата (см. табл. 4), дн.;

$k_{z.\phi}$ – коэффициент запаса объема ферментатора, $k_{z.\phi} = 1,2$.

Массу органического сухого вещества (кг о. с. в.), поступающего в ферментатор за сутки, вычисляют по формуле

$$M_{\text{о. с. в.}} = M_{\text{н}} \frac{C_{\text{н}}}{100} \frac{C_{\text{н. о. с. в.}}}{100} + M_{\text{р}} \frac{C_{\text{р}}}{100} \frac{C_{\text{р. о. с. в.}}}{100}, \quad (7)$$

где $C_{\text{н. о. с. в.}}$ – содержание органической субстанции в сухом веществе навоза или помета (см. табл. 4), %;

$C_{\text{р. о. с. в.}}$ – содержание органической субстанции в сухом веществе растительного сырья, $C_{\text{р. о. с. в.}} = 82\text{--}92\%$.

Удельную загрузку ферментатора (кг о. с. в/м³) рассчитывают следующим образом:

$$q_{\phi} = \frac{M_{\text{о. с. в.}}}{V_{\phi}}. \quad (8)$$

Оптимальная удельная загрузка ферментатора должна составлять 2–4 кг о. с. в/м³. Если рассчитанное значение q_{ϕ} выходит за указанные пределы, то следует уменьшить или увеличить содержание сухого вещества в субстрате.

Минимальную кратность загрузки ферментатора свежим сырьем в сутки, при которой колебания температуры субстрата будут находиться в допускаемых пределах, вычисляют по формуле:

$$z_{\phi} = \frac{V_{\text{с}}}{V_{\phi}} \frac{t_{\phi} - t_0}{\Delta t}, \quad (9)$$

где t_{ϕ} – температура субстрата в ферментаторе (см. табл. 4), °C;

t_0 – начальная температура субстрата, $t_0 = 4\text{--}8$ °C;

Δt – допускаемые колебания температуры субстрата в ферментаторе (см. раздел 2), °C.

Для более равномерного производства биогаза следует выполнять загрузку свежего субстрата в ферментатор не реже 2–3 раз в сутки.

Вместимость (м³) приемной емкости для жидкого сырья определяют по следующей формуле:

$$V_{\text{п}} = \frac{V_{\text{с}} k_{\text{з. п.}}}{z_{\phi}}, \quad (10)$$

где $k_{\text{з. п.}}$ – коэффициент запаса объема приемной емкости, $k_{\text{з. п.}} = 1,1$.

Рабочий объем ферментаторов биогазовых установок обычно находится в пределах от 1000 до 5000 м³. Для случаев, когда расчетное значение V_{ϕ} превышает 5000 м³, следует планировать строительство нескольких ферментаторов. Диаметр и высоту ферментатора (м) можно определить по зависимостям:

$$d_{\phi} = 3 \sqrt{\frac{4V_{\phi}k_{d:h}}{\pi n_{\phi}}}; \quad (11)$$

$$h_{\phi} = \frac{d_{\phi}}{k_{d:h}} + h_3, \quad (12)$$

где $k_{d:h}$ – соотношение диаметра и высоты ферментатора, $k_{d:h} = 2,2$ – $2,6$;

n_{ϕ} – количество ферментаторов;

h_3 – запас по высоте стен ферментатора, $h_3 = 1,0$ – $1,2$ м.

Объем лагуны (м³) для хранения дигестата (отработанного субстрата) вычисляют таким образом:

$$V_{\text{л}} = V_{\text{с}} D_{\text{хр}}, \quad (13)$$

где $D_{\text{хр}}$ – длительность хранения дигестата, $D_{\text{хр}} = 60$ – 80 дней.

Процесс брожения протекает при температуре выше температуры окружающей среды. Тепловое сопротивление ограждающих конструкций ферментатора ((м² · °C)/Вт) определяют по формуле

$$R_t = \frac{b_{\text{н}}}{K_{\text{н}}} + \frac{b_{\text{и}}}{K_{\text{и}}}, \quad (14)$$

где $b_{\text{н}}$, $K_{\text{н}}$ – толщина (м) и коэффициент теплопроводности (Вт/(м · °C)) несущих конструкций ферментатора соответственно (см. табл. 1);

$b_{\text{и}}$, $K_{\text{и}}$ – толщина (м) и коэффициент теплопроводности (Вт/(м · °C)) теплоизоляции ферментатора соответственно (см. табл. 1).

Величина теплового сопротивления ограждающих конструкций ферментатора не регламентируется. Для самопроверки можно использовать технический кодекс ТКП 45-2.04-43-2006 (02250) «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования», согласно которому нормативное (минимальное) сопротивление теплопередачи

для наружных стен производственных зданий составляет $2,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, жилых – $3,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Среднюю ($N_{\text{тп}}$, кВт) и максимальную ($N_{\text{тп}}^{\text{max}}$, кВт) мощность тепловых потерь ферментатора рассчитывают по формулам:

$$N_{\text{тп}} = S_{\phi} n_{\phi} \frac{t_{\phi} - t_{\text{ср}}}{1000R} = \left(\frac{\pi d_{\phi}^2}{2} + \pi d_{\phi} h_{\phi} \right) n_{\phi} \frac{t_{\phi} - t_{\text{ср}}}{1000R_t}; \quad (15)$$

$$N_{\text{тп}}^{\text{max}} = S_{\phi} n_{\phi} \frac{t_{\phi} - t_{\text{min}}}{1000R} = \left(\frac{\pi d_{\phi}^2}{2} + \pi d_{\phi} h_{\phi} \right) n_{\phi} \frac{t_{\phi} - t_{\text{min}}}{1000R_t}, \quad (16)$$

где S_{ϕ} – площадь ограждающих конструкций ферментатора, м^2 ;
 $t_{\text{ср}}$, t_{min} – среднегодовая и минимальная температуры наружного воздуха соответственно, для климатических условий Республики Беларусь принимают в интервалах $t_{\text{ср}} = +6,8 \dots +7,8 \text{ °C}$, $t_{\text{min}} = -20 \dots -22 \text{ °C}$.

Суточную потребность в тепловой энергии (МДж) для подогрева свежего субстрата, поступающего в ферментатор, определяют по формуле:

$$Q_c = 10^{-6} c_{\text{в}} M_{\text{н}} + M_{\text{р}} + M_{\text{в}} \left(1 - \frac{C_{\text{св}}}{100} \right) t_{\phi} - t_0, \quad (17)$$

где $c_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воды, $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$.

Среднюю ($N_{\text{п}}$, кВт) и пиковую ($N_{\text{п}}^{\text{max}}$, кВт) тепловую мощность системы подогрева ферментатора рассчитывают следующим образом:

$$N_{\text{п}} = N_{\text{тп}} + \frac{Q_c}{3,6 \cdot 24}; \quad (18)$$

$$N_{\text{п}}^{\text{max}} = N_{\text{тп}}^{\text{max}} + \frac{Q_c}{3,6 \cdot 24}. \quad (19)$$

Суточный выход биогаза (W_6 , м^3) и требуемый объем газгольдера ($V_{\text{г}}$, м^3) вычисляют по формулам:

$$W_6 = M_{\text{о.с.в}} w_6; \quad (20)$$

$$V_{\text{г}} = W_6 k_{\text{г}}, \quad (21)$$

где w_6 – удельный выход биогаза (см. табл. 4), $\text{м}^3/\text{кг о. с. в.}$;
 k_r – коэффициент вместимости газгольдера, при использовании биогаза для круглосуточной выработки электроэнергии
 $k_r = 0,2-0,5$.

Низшую теплоту сгорания биогаза (МДж/м^3) рассчитывают по формуле:

$$q_6 = \frac{C_m q_m}{100}, \quad (22)$$

где C_m – содержание метана в биогазе (см. табл. 4), %;
 q_m – низшая теплота сгорания метана, $q_m = 35,9 \text{ МДж/м}^3$.

Мощность процесса газообразования (кВт) вычисляют по приведенной ниже формуле:

$$N_6 = \frac{W_6 q_6}{3,6 \cdot 24}. \quad (23)$$

Зная мощность процесса газообразования N_6 и усредненный КПД процесса преобразования энергии биогаза в электроэнергию, рассчитывают среднюю электрическую мощность когенерационного блока (кВт):

$$\overline{N_9} = N_6 \frac{\overline{\eta_9}}{100}, \quad (24)$$

где $\overline{\eta_9}$ – средний электрический КПД когенерации, $\overline{\eta_9} = 42\%$.

Далее принимают из табл. 3 модель и число газовых двигателей таким образом, чтобы их суммарная электрическая мощность минимально превышала расчетное значение $\overline{N_9}$.

Затем уточняют фактические значения электрической (N_9 , кВт) и тепловой (N_T , кВт) мощностей когенерационного блока:

$$N_9 = N_6 \frac{\eta_9}{100}; \quad (25)$$

$$N_T = N_6 \frac{\eta_T}{100}, \quad (26)$$

где η_9 , η_T – электрический и тепловой КПД выбранной модели газового двигателя соответственно (см. табл. 4).

Средний ($k_{\text{п}}$, %) и максимальный ($k_{\text{п}}^{\text{max}}$, %) уровни использования тепловой мощности когенерационной установки на подогрев ферментатора рассчитывают по следующим формулам:

$$k_{\text{п}} = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{т}}} 100 \% ; \quad (27)$$

$$k_{\text{п}}^{\text{max}} = \frac{N_{\text{п}}^{\text{max}}}{N_{\text{т}}} 100 \% . \quad (28)$$

Следует стремиться к тому, чтобы средний уровень использования тепловой мощности когенерационного блока на технологические нужды биогазовой установки не превышал 60 %. Значения $k_{\text{п}}^{\text{max}} > 100 \%$ говорят о том, что температурный режим или теплоизоляция ферментатора выбраны неверно.

Годовую выработку электрической ($Q_{\text{э}}$, МВт · ч) и тепловой ($Q_{\text{т}}$, Гкал) энергии когенерационным блоком определяют по следующим зависимостям:

$$Q_{\text{э}} = \frac{8760}{1000} N_{\text{э}} ; \quad (29)$$

$$Q_{\text{т}} = \frac{8760}{1000} (N_{\text{т}} - N_{\text{п}}) k_{\text{кал}} , \quad (30)$$

где 8760 – число часов в году, ч;

$k_{\text{кал}}$ – переводной коэффициент, $k_{\text{кал}} = 0,86$ Гкал/МВт · ч.

Годовую экономию топливно-энергетических ресурсов (т у. т.) рассчитывают по формуле:

$$\Delta_{\text{тэп}} = Q_{\text{э}} k_{\text{э}} + Q_{\text{т}} k_{\text{т}} , \quad (31)$$

где $k_{\text{э}}$, $k_{\text{т}}$ – переводные коэффициенты, $k_{\text{э}} = 0,28$ т у. т./МВт · ч, $k_{\text{т}} = 0,175$ т у. т./Гкал.

Доход от реализации выработанной электроэнергии в сеть ГПО «Белэнерго» составит (руб.):

$$D = 1000 T_{\text{б}} K Q_{\text{э}} , \quad (32)$$

где $T_{\text{б}}$ – базовый тариф за 1 кВт · ч электрической энергии для промышленных и приравненных к ним потребителей с присое-

диненной мощностью до $750 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, на 1 января 2019 г.
 $T_6 = 0,23975 \text{ руб/кВт} \cdot \text{ч}$;

K – корректирующий коэффициент к базовому тарифу.

Для биогазовых установок, созданных в пределах, выделенных в 2018 г. квот на производство энергии из возобновляемых источников, в течение первых десяти лет эксплуатации корректирующий коэффициент при мощности установки менее $0,3 \text{ МВт}$ равен $1,2$, $0,3\text{--}2 \text{ МВт}$ – $1,15$, свыше 2 МВт – $1,1$. По истечении первых десяти лет эксплуатации коэффициент снижается до $0,45$ независимо от мощности установки.

В случае, если биогазовая установка создана исключительно для энергетического обеспечения хозяйственной деятельности юридического лица, т. е. вне выделенных квот, и введена в эксплуатацию после 1 января 2018 г., значение корректирующего коэффициента принимается равным $0,1$.

Контрольные вопросы и задания

1. Из каких основных компонентов состоит биогаз?
2. Какие основные компоненты содержит биогазовый комплекс?
3. Что является сырьем для производства биогаза?
4. В чем состоят особенности непрерывного и периодического способов производства биогаза?
5. Что такое субстрат и дигестат?
6. Для чего необходимо перемешивать субстрат в ферментаторе и какие способы перемешивания могут применяться?
7. Каковы варианты устройства газгольдера биогазовой установки?
8. Какие нежелательные вещества может содержать биогаз?
9. Назовите основные компоненты когенерационного блока.
10. Какие температурные режимы могут применяться при выработке биогаза?
11. В каких сельскохозяйственных организациях Беларуси созданы и действуют биогазовые комплексы?
12. Какие основные требования предъявляются при проектировании биогазовых комплексов?
13. Какой параметр является исходным при проектировании биогазовой установки?
14. Что учитывается при расчете объема ферментатора?
15. Какова предполагаемая длительность хранения дигестата?
16. Для каких целей может использоваться тепловая энергия биогазовой установки?
17. Как можно повысить коэффициент полезного действия биогазового комплекса?

Практическая работа № 7 «ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ»

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Общие сведения

Парниковый эффект – это естественное явление, которое повышает температуру на нашей планете для комфортного существования.

Парниковый эффект – это не катаклизм. Благодаря ему на Земле живут все живые организмы, включая человека. Другое дело, что чрезмерность этого процесса, выход за допустимые пределы становятся угрозой для всего живого на планете Земля. Поэтому и нужно понять, каким образом он может нести угрозу и как ее избежать.

Благодаря парниковому эффекту планета Земля является комфортным местом для жизни.

На нашу планету поступает солнечная радиация, которая нагревает поверхность. Излучение от солнца коротковолновое, поэтому парниковые газы, которые находятся вокруг Земли, свободно пропускают его. Какую-то незначительную часть солнечного света могут отразить обратно аэрозоли, которые находятся вместе с парниковыми газами в атмосфере Земли.

В свою очередь, когда планета нагревается, она отдает тепловую радиацию – инфракрасное излучение (длинные волны). Но так как излучение длинноволновое, то парниковые газы не дают полностью ему улететь в космос. Частично тепловому излучению все же удастся обойти парниковые газы, но значительная доля отражается обратно, что и повышает температуру на Земле.

Впервые это определение было использовано в 1827 г. Ж. Фурье. На эту тему им даже была написана объемная статья, в которой он рассматривал различные схемы формирования земного климата. Именно Фурье впервые выдвинул и подтвердил идею о том, что оптические свойства земной атмосферы аналогичны свойствам стекла.

Позднее шведский физик Аррениус при исследовании инфракрасных свойств водяного пара и углекислого газа выдвинул теорию о том, что их накопление в атмосфере может вызывать повышение температуры всей планеты. Впоследствии на основании этих исследований и возникло понятие парникового эффекта.

1.2. Парниковые газы

Парниковые газы – это собирательное название целого ряда газов, способных задерживать тепловое излучение планеты. В видимом диапазоне они остаются прозрачными, поглощая при этом инфракрасный спектр. У парниковых газов нет какой-то определенной формулы. Их процентное соотношение может постоянно изменяться. Рассмотрим, какие газы относят к парниковым (рис. 1).



Рис. 1. Парниковые газы

1. *Углекислый газ* (CO_2) считается важнейшим парниковым газом антропогенного происхождения. Углекислый газ возникает и естественным путем при круговороте углерода, но именно человек увеличил его концентрацию в атмосфере на 47 % с момента индустриальной революции. Он является самым долгоживущим в атмосфере, в результате чего происходит его постоянное накопление.

2. *Метан* (CH_4) по своему парниковому эффекту считается даже сильнее, чем углекислый газ, но в атмосфере его заметно меньше. Естественные источники – болота и термитники. Антропогенное происхождение – свалки, сельское хозяйство, добыча угля и природного газа. Благодаря ряду свойств обладает более сильной активностью. Согласно данным Википедии, его уровень с 1750 г. в атмосфере возрос более чем в 150 раз.

3. *Закись азота* (N_2O) образуется при сжигании твердых отходов и ископаемого топлива. Значительная часть N_2O идет от сельского хозяйства. Синтетические химические вещества – гидрофторуглероды, галогенированные углеводороды, гексафторид серы и другие синтетические газы. Основной источник – химическая промышленность.

4. *Гексафторид серы* (SF_6).

5. *Гидрофторуглероды* (ГФУ).

6. *Перфторуглероды* – ПФУ (Perfluorocarbons – PFCs).

Озон (O_3) естественным образом встречается в стратосфере и тропосфере Земли и не вызывает значительного парникового эффекта. Озон защищает планету от солнечного ультрафиолета. Его недостаток способствует образованию озоновых дыр.

Водяной пар по объему занимает первое место среди всех парниковых газов, однако прямые выбросы водяного пара влияют на парниковый эффект наименьшим образом.

Сам по себе парниковый эффект – благо для нас, так как без него не было бы жизни на Земле. Если представить, что его не существует, средняя температура на Земле составляла бы $-18^\circ C$, т. е. реки и океаны всегда были бы замерзшими и нигде бы не росли растения. С его же помощью на нашей планете средняя температура достигает $+15^\circ C$.

Самый сильный парниковый эффект в Солнечной системе существует на Венере. Атмосфера планеты практически полностью состоит из углекислого газа, поэтому температура на поверхности Венеры достигает $475^\circ C$.

Кроме основных парниковых газов к усилению парникового эффекта в атмосфере приводит водяной пар. По сути, он и является основной причиной роста температуры и влажности.

Помимо вышеперечисленных, к парниковым газам относятся оксиды азота и фреоны. Вследствие активной деятельности человека их концентрация ежегодно возрастает, что значительно усугубляет негативное влияние на окружающую среду.

1.3. Источники образования парниковых газов

Земля постоянно получает и отдает энергию. По закону сохранения энергии все это должно пребывать в радиационном балансе. Но человек своими действиями вывел систему из баланса. Когда объем парниковых газов увеличивается, они все чаще и чаще не позволяют теплу покинуть атмосферу Земли. Получается, что даже то инфракрасное

излучение, которое когда-то улетало в космос, теперь частично остается с нами – глобальная температура повышается.

Ученые пришли к выводу, что средняя температура на Земле выросла на 1,1 °С с конца XIX в. Разница всего в 4 °С ранее приводила к ледниковым эпохам, поэтому эта цифра не такая уж и маленькая. Сложился научный консенсус, что в резком росте парниковых газов в атмосфере виновата хозяйственная деятельность человека.

К факторам, усиливающим парниковый эффект, относятся следующие:

- выбросы производств;
- добыча полезных ископаемых;
- угольные электростанции;
- автомобильные выхлопы;
- экстенсивное сельское хозяйство;
- эксплуатация зданий;
- лесные пожары;
- вырубки лесов.

Наибольший парниковый эффект вызывают сжигание топлива, его добыча и транспортировка, производство сырья (цемент, сталь и другие металлы), пищевая промышленность, захоронение и сжигание отходов. На них приходится примерно 70 % всех глобальных антропогенных выбросов.

Основные источники выбросов углекислого газа в атмосферу Земли приведены на рис. 2.

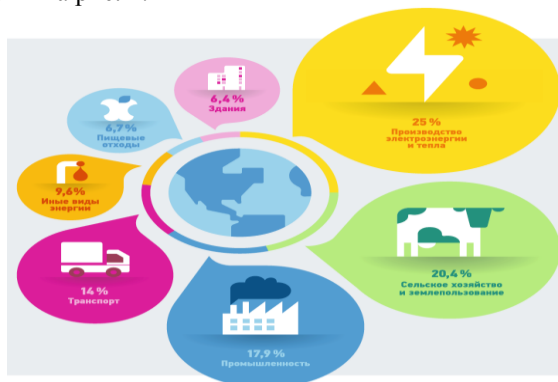


Рис. 2. Основные источники выбросов углекислого газа в атмосферу Земли

Ученые вывели потенциал глобального потепления, который позволяет сравнить климатические эффекты парниковых газов за различные периоды времени. Например, 1 кг метана поглощает тепловое излучение в 84 раза лучше, чем 1 кг CO_2 , если брать 20-летний период.

У газов разное время жизни, например, у метана оно составляет около 12 лет, у N_2O – 114 лет. Часть антропогенных выбросов углекислого газа удаляется из атмосферы в течение нескольких десятилетий, но значительная часть остается в атмосфере вплоть до нескольких тысячелетий.

Парниковые газы приводят к значительным климатическим изменениям, по своей природе источники их образования можно разделить на две большие группы:

1) техногенные – являются самой главной причиной возникновения парникового эффекта. К ним относятся различные виды промышленности, использующие сжигание углеводородного топлива, разработка нефтяных месторождений, выбросы автомобильных моторов;

2) природные – играют второстепенную роль. Большая часть природных парниковых газов попадает в атмосферу при извержении вулканов. Также в эту группу можно отнести испарения Мирового океана и крупные лесные пожары.

1.4. Причины парникового эффекта

Главной причиной развития парникового эффекта на Земле являются накапливающиеся в атмосфере газы. Превышение их концентрации приводит к изменению теплового баланса. Дополнительно в этот процесс может вовлекаться и озоновый слой. Под воздействием фреона и оксидов азота, которые также входят в список парниковых газов, он начинает стремительно разрушаться и истончаться. В результате резко возрастает уровень жесткого ультрафиолетового излучения. Таким образом, парниковый эффект и разрушение озонового слоя являются цепочкой взаимосвязанных событий, оказывающих значительное влияние на биосферу всей планеты.

Основные причины возникновения парникового эффекта рассмотрены ниже.

1. *Сжигание ископаемого топлива.* Ископаемые виды топлива, такие как уголь, нефть и природный газ, стали неотъемлемой частью нашей жизни. Они широко используются для производства электроэнергии и транспортировки.

При сжигании углерод, хранящийся в них, высвобождается, что в сочетании с кислородом создает углекислый газ. С ростом населения количество транспортных средств также увеличилось, что привело к росту загрязнения атмосферы. При работе автомобиля выделяют углекислый газ, который в основном и несет ответственность за усиление парникового эффекта.

Страны с наибольшим количеством выбросов CO₂ в мире представлены на рис. 3.

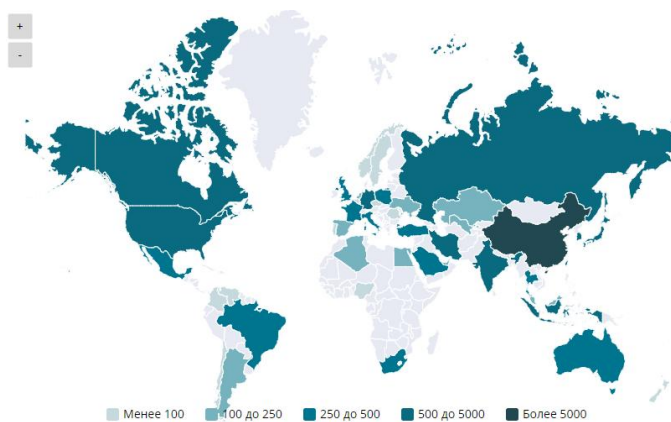


Рис. 3. Выбросы CO₂ от сжигания топлива за 2020 г., млн. т

В 2020 г. случилась вспышка COVID, существенно повлиявшая на выбросы CO₂ (–4,9 %), особенно в первой половине года, когда карантинные меры, ограничения в сфере транспорта и замедление темпов экономического роста во многих регионах мира привели к существенному сокращению потребления нефти в транспортном секторе. Выбросы CO₂ также уменьшились в энергетическом секторе по причине снижения спроса на электроэнергию и продолжительного спада углеродного коэффициента (выбросы CO₂ на выработанный киловатт-час), что преимущественно обусловлено переходом с угля на газ и увеличением доли возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе.

В основном объем выбросов уменьшился в США (–11 %) и Европе (–11 %, спад – в Германии, Испании и Великобритании), а произошло

это из-за существенного сокращения выработки энергии на угольных электростанциях и увеличения цен на углерод в 2020 г.

Кроме того, выбросы CO₂ уменьшились в Индии (–5,5 %, причина – снижение выработки энергии на угольных электростанциях и потребления нефтепродуктов), России и Канаде (сокращение выработки электроэнергии и спад добычи и потребления нефти), Японии и Южной Кореи (увеличение доли возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе). Также выбросы сократились в Индонезии, Латинской Америке (преимущественно в Мексике, Бразилии и Аргентине), Африке (спад в ЮАР) и на Ближнем Востоке (особенно в Саудовской Аравии, где существенно уменьшилось потребление нефти).

В Китае же, напротив, выбросы CO₂ растут уже четвертый год подряд (+1,6 %) из-за быстрого восстановления спроса на электроэнергию и стабильного уровня ее производства на угольных электростанциях. Не изменил сложившуюся ситуацию даже новый подъем в сфере выработки электроэнергии из возобновляемых источников. На долю Китая в 2020 г. пришлось 31 % выбросов CO₂ в мире.

2. *Вырубка лесов.* Леса составляют большую зеленую зону на планете. Растения и деревья поглощают углекислый газ и выделяют кислород в процессе фотосинтеза, который необходим людям и животным для выживания.

Крупномасштабное промышленное развитие привело к вырубке деревьев и лесов, что заставило людей искать альтернативные места для жизни. Когда дрова сжигаются, накопленный углерод превращается обратно в углекислый газ.

Кроме этого, расширение сельскохозяйственных земель стало одним из самых неблагоприятных факторов для биоразнообразия планеты – из 28 тыс. видов, занесенных в красную книгу, сельское хозяйство угрожает 24 тыс. из них. Когда на месте лесов или полей строят пастбища, у диких животных не остается места, чтобы жить и добывать еду. В настоящее время 94 % общей массы всех млекопитающих составляет домашний скот, а лишь 6 % – дикие животные.

3. *Увеличение населения.* В течение последних нескольких десятилетий наблюдался огромный рост населения. Это привело к увеличению спроса на продукты питания, одежду и жилье. Новые производственные центры появились в городах и поселках, которые выделяют в атмосферу вредные газы, что усиливает парниковый эффект. Кроме того, чем больше людей, тем больше использование ископаемого топлива, что, в свою очередь, усугубило проблему.

4. *Сельское хозяйство.* При производстве азотных удобрений образуются парниковые газы: углекислый газ, метан и закись азота. Эффекты можно объединить в эквивалентное количество углекислого газа. Сумма варьируется в зависимости от эффективности процесса. В среднем она составляет более 2 килограммов эквивалента диоксида углерода на каждый килограмм нитрата аммония. Азотные удобрения могут быть преобразованы почвенными бактериями в закись азота, парниковый газ. Выбросы закиси азота, большая часть которых связана с удобрениями, оцениваются в 7 млн. т в год, что несовместимо с ограничением глобального потепления до уровня ниже 2 °С.

В новом отчете Гринпис указано, что выбросы парниковых газов, создаваемые домашним скотом, превосходят эффект, оказываемый на природу всеми автомобилями Евросоюза. По мнению экологов, даже в случае полного перехода жителей ЕС на электромобили уровень углекислого газа, выделяемого животными, продолжит ухудшать экологическую обстановку. Помимо этого, экологи беспокоятся за возросший уровень потребления мяса, который увеличился на 9,5 %. В связи с этим уровень парниковых выбросов вырос на 6 %. Подобный эффект сопоставим с выездом на дороги 8,4 млн. автомобилей с ДВС. По словам специалистов, если выбросы парниковых газов, создаваемых сельскохозяйственными животными, продолжат расти, Евросоюз может не выполнить свои обязательства по сокращению выбросов в соответствии с Парижским соглашением.

Выброс парниковых газов животноводческими и рыболовными фермами составляет 31 %. В основном это метан, который животные вырабатывают в процессе пищеварения. Еще в эту цифру включены выбросы от использования топлива рыболовными судами и техникой, обслуживающей пастбища и рыбные фермы.

Динамика количества крупного рогатого скота в Республике Беларусь представлена на рис. 4.

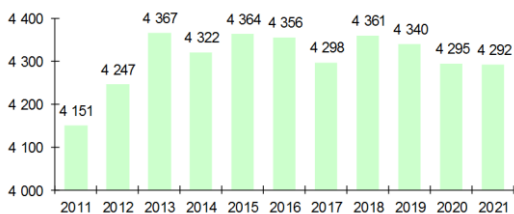


Рис. 4. Поголовье крупного рогатого скота в хозяйствах всех категорий, тыс. гол.

Земли, используемые под пастбища, производят 16 % выбросов. Деревья, другие растения, лесная почва и торфяники поглощают углекислый газ и превращают его в углерод, который хранят в себе. Но, при вырубке деревьев и вспашке почвы двуокись углерода освобождается обратно в воздух.

На еду для сельскохозяйственных животных приходится 6 % парниковых газов от всего количества выбросов пищевого производства. Это выбросы от применения навоза и удобрений, а также углекислый газ от сельскохозяйственной техники.

Мясная и молочная промышленность вместе выбрасывают больше парниковых газов, чем крупнейшие нефтяные компании мира. А общие выбросы главных мясных и молочных компаний превышают общие выбросы Германии или Великобритании.

Крупномасштабное земледелие вызывает сильную эрозию почвы, в результате чего от 25 до 40 % почвы попадает в водные источники, при этом они несут пестициды и удобрения, используемые фермерами, тем самым еще больше загрязняя водоемы. Тенденция к постоянному увеличению размеров фермерских хозяйств была наиболее высокой в Соединенных Штатах и Европе из-за финансовых договоренностей и контрактного ведения сельского хозяйства. Более крупные фермы склонны отдавать предпочтение монокультурам, чрезмерному использованию водных ресурсов, ускорению вырубки лесов и ухудшению качества почвы.

5. *Промышленные отходы и свалки.* Отрасли, которые занимаются производством цемента, удобрений, добычей угля, нефти, производят вредные парниковые газы. Кроме того, на свалках, заполненных мусором, образуются углекислый газ и метан, что в значительной степени способствует парниковому эффекту.

1.5. Последствия парникового эффекта

Изменение температуры прямо пропорционально радиационному воздействию. Ученые подсчитали, что, если количество CO_2 удвоится, это вызовет потепление от 1,5 °C до 4,5 °C (так называемая чувствительность климата). Уже сейчас концентрация углекислого газа в 1,5 раза выше доиндустриального уровня.

Некоммерческий исследовательский центр Oxford Economics опубликовал результаты исследования о влиянии глобального потепления на экономику. Ученые взяли за основу показатель оптимальной температуры, при которой люди работают максимально продуктивно, а

сельскохозяйственные культуры дают наибольший урожай. Эксперты определили этот показатель в 15 °С. Государства, в которых средняя температура ниже этого значения, могут получить небольшие преимущества от потепления. Страны с более жарким климатом, наоборот, понесут ущерб.

В ходе исследования специалисты из Oxford Economics проанализировали данные о положении в 203 развитых и развивающихся странах и спрогнозировали падение мирового ВВП на 20 % к 2100 г. Такой прогноз основан на предположении, что средняя температура продолжит расти с такой же скоростью, что и сейчас (примерно на 0,2 °С в десятилетие). Выводы специалистов из Oxford Economics подтверждают результаты более раннего исследования, которое в 2015 г. опубликовали ученые из Стэнфордского университета и Калифорнийского университета в Беркли.

По мнению экспертов из Oxford Economics, больше всего пострадает экономика Индии: ВВП на душу населения в стране упадет на 90 % к 2100 г., если выбросы парниковых газов в атмосферу не снизятся. Специалисты также предположили, каким мог бы быть этот показатель в разных странах, если бы средняя температура была на 1,1 °С ниже. Согласно прогнозу, он был бы значительно выше. Например, ВВП на душу населения в Нигерии мог бы быть на 35 % больше, чем сейчас.

Увеличение средней температуры на Земле меняет условия жизни на планете. Это приводит к приведенным ниже последствиям.

1. *Таяние ледниковых масс.* Таяние ледниковых масс приводит к уменьшению процента солнечного излучения, отражаемого или возвращаемого земной поверхностью в атмосферу. Кроме того, отмечаются глобальное повышение уровня моря и выброс больших метановых столбов.

2. *Затопление островов и прибрежных городов.* В пятом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, 2014 г.) в период 1901–2010 гг. указывалось, что средний мировой уровень моря поднялся на 19 см. Предполагается, что к 2100 г. уровень моря будет на 15–90 см выше, чем сейчас, под угрозой окажутся 92 млн. человек.

3. *Усиление ураганов.* Ураганы будут более многочисленными и разрушительными. Усиление парникового эффекта не вызывает этих экстремальных климатических явлений, но увеличивает их интенсивность. Ураганы связаны с температурой моря – они образуются только над водами с температурой не менее 26,51 °С.

4. *Миграция видов.* Многие виды животных будут вынуждены мигрировать, чтобы пережить изменения в основных климатических зонах, вызванных постепенным повышением температуры. Людям также придется пере-

ехать: согласно данным Всемирного банка, к 2050 г. число людей, вынужденных покинуть свои дома из-за сильных засух или сильных наводнений, может достичь 140 млн. человек.

5. *Опустынивание плодородных районов.* Глобальное потепление оказывает глубокое воздействие на процессы деградации почв и способствует опустыниванию земель в наиболее засушливых районах на планете. Опустынивание уничтожает весь биологический потенциал пострадавших районов, превращая их в бесплодную и непродуктивную землю. Как было признано ООН по случаю Всемирного дня борьбы с опустыниванием в 2018 г., 30 % земель деградировали и потеряли свою реальную ценность.

6. *Воздействие на сельское хозяйство и животноводство.* Глобальное потепление уже изменило продолжительность вегетационного периода на большей части планеты. Аналогичным образом изменения температуры и времени года влияют на распространение насекомых, инвазивных сорняков и болезней, которые могут повлиять на урожай. То же самое происходит со скотом: климатические изменения напрямую влияют на важные виды по-разному – размножение, обмен веществ, болезни и т. п.

1.6. Пути решения проблемы парникового эффекта

Существует множество путей решения проблемы, которые можно условно разделить на фантастические и реальные.

К фантастическим относится предложение распылить частички серебра в стратосфере, чтобы те отражали как можно больше солнечного света. Так Солнце не будет нагревать нашу планету, а та в свою очередь меньше будет отдавать тепла. По этой же причине некоторые ученые предлагают искусственно вызывать облака, так как они способны отражать солнечный свет, поступающий на Землю.

Что можно реально делать уже сейчас, чтобы парниковый эффект не навредил нам в будущем:

- 1) сокращать использование ископаемого топлива и переходить на возобновляемые источники энергии;
- 2) повышать энергоэффективность и модернизировать технологии по сбережению энергии;
- 3) заниматься устойчивым лесопользованием и контролировать лесные пожары;
- 4) переходить к экологически бережному сельскому хозяйству;
- 5) восстанавливать почвенный покров, так как потеря гумуса напрямую влияет на парниковый эффект;

6) отказаться от личного транспорта и переходить на велосипеды, общественный транспорт и электромобили;

7) повышать экологическую самосознательность среди граждан и различных администраций;

8) внедрять обязательную утилизацию и массовое использование вторсырья;

9) уменьшать потребление мяса, заменяя его органическими продуктами.

Несмотря на то, что основной причиной развития парникового эффекта на земле являются разные виды жизнедеятельности, и не только человека, именно он может непосредственно повлиять на проблему. Это то, что отличает его от остальных видов. А значит, безопасное будущее планеты в его руках.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Оценка вклада одной семьи в парниковый эффект

Поскольку человек потребляет энергию не только в хозяйственной деятельности, но и в быту, превращая в основном энергию, полученную из ископаемого органического топлива, в тепловую, необходимо учитывать его вклад в парниковый эффект.

1. Необходимо посчитать, сколько одна семья израсходует электроэнергии за год с января по декабрь включительно (заполнить табл. 1). Для этого можно воспользоваться данными согласно варианту задания (табл. 2).

2. Исходя из данных табл. 3, определить объем производства электрической энергии на различных типах электрических станций.

3. По полученным данным определить выбросы парниковых газов, высвободившихся для получения необходимого количества энергии для одной семьи (табл. 4).

Таблица 1. Расход электрической энергии за год для отдельной семьи, кВт · ч

Месяц												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	

Таблица 2. Варианты заданий

Вариант	Месяц											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	284	294	324	200	150	178	91	174	220	235	295	303
2	330	312	281	269	266	337	383	419	238	300	301	245
3	106	150	195	200	100	118	80	302	200	200	200	200
4	126	150	220	255	145	168	128	304	250	250	200	210
5	200	100	200	150	100	150	400	200	200	200	200	200
6	210	110	230	150	120	280	500	300	300	210	210	260
7	200	200	100	200	200	100	100	200	50	100	50	50
8	300	220	250	330	300	200	150	300	100	120	70	60
9	170	112	118	142	111	158	156	169	128	125	113	154
10	82	182	144	169	174	171	188	190	155	126	138	240
11	188	115	87	115	99	83	93	139	59	110	120	132
12	234	109	104	115	108	74	67	110	72	105	110	141
13	422	224	191	230	207	157	160	429	131	215	230	273
14	317	323	273	310	292	299	261	336	307	329	298	343
15	510	502	430	450	415	390	529	388	487	443	342	37
16	345	276	348	270	314	298	402	456	386	354	353	297
17	73	45	29	54	30	54	52	86	43	42	11	76
18	287	292	328	205	150	178	91	175	221	230	290	305
19	328	313	286	289	264	332	390	418	240	302	331	249
20	109	154	190	209	120	112	180	202	203	210	220	201
21	155	122	195	109	104	115	108	74	67	110	185	209
22	94	136	220	323	273	310	292	299	261	336	307	120
23	88	103	200	87	115	99	83	93	139	59	110	120
24	284	255	230	289	264	332	390	418	240	302	331	249
25	301	264	430	317	323	273	310	292	299	261	336	350
26	313	237	191	115	108	74	67	110	72	105	110	141
27	105	138	191	154	190	209	120	112	180	202	203	210
28	138	177	190	200	150	100	150	400	200	200	200	200
29	150	195	205	191	230	207	157	160	429	131	215	235
30	227	250	289	224	191	230	207	157	160	429	131	215

Таблица 3. Структура производства электрической энергии, %

Виды станций	Беларусь	Россия	Швеция	Канада
Тепловые станции	97,17	62,92	10,2	8,5
Атомные станции	0,87	19,32	41,2	14,2
Гидроэлектростанции	1,03	17,61	37,1	70,2
Ветроэлектростанции	0,48	0,03	11,2	6,3
Солнечные электрические станции	0,44	0,12	0,3	0,8

Таблица 4. Граммы эквивалента CO₂ на киловатт-час электрической энергии

Виды станций	Значение
Тепловые станции (угольная/газовая)	950/520
Атомные станции	26
Гидроэлектростанции	15
Ветроэлектростанции	12
Солнечные электрические станции	52

4. Определить количество выделяемого углекислого газа одной семьей в течение года в зависимости от региона:

$$m = \sum E_{эл} q_i \alpha,$$

где $E_{эл}$ – расход электрической энергии, кВт · ч;

q_i – величина эквивалента CO₂ при производстве электроэнергии на различных электрических станциях, г;

α – доля производства электрической энергии, % (табл. 3).

Полученные данные свести в табл. 5.

Таблица 5. Количество выделяемого углекислого газа за год отдельной семьей, г

Регион	Месяц												Год
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	
Беларусь													
Россия													
Швеция													
Канада													

5. Построить график зависимости количества выбросов углекислого газа от объемов потребления электрической энергии для каждого региона. Сделать вывод о том, какой способ производства электрической энергии является наиболее экологичным.

6. Предложить мероприятия по уменьшению вклада бытового потребления электроэнергии в парниковый эффект.

Контрольные вопросы и задания

1. Дать определение понятию «парниковый эффект».
2. Классифицировать парниковые газы и изучить их вклад в парниковый эффект.
3. Описать источники появления парниковых газов.
4. Ознакомиться с основными причинами парникового эффекта.
5. Проанализировать пути решения сокращения выбросов парниковых газов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антоненков, А. И. Безопасность жизнедеятельности человека / А. И. Антоненков, А. М. Брайкова, К. Ф. Саевич. – Минск: БГЭУ, 2022. – 143 с.
2. Безопасность жизнедеятельности человека. Практикум / А. В. Домненкова [и др.]. – Минск: БГТУ, 2023. – 252 с.
3. Безопасность жизнедеятельности человека: практикум / З. С. Ковалевич [и др.]. – Минск: МИТСО, 2015. – 316 с.
4. Безопасность жизнедеятельности человека: учебное пособие / В. Н. Босак [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 312 с.
5. Безопасность жизнедеятельности человека: учебное пособие / В. Н. Босак [и др.]. – 2 изд., доп. и перераб. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 312 с.
6. Босак, В. Н. Адамның қауіпсіздік өміртірішілігі (Безопасность жизнедеятельности человека) / В. Н. Босак, К. Т. Жантасов, М. К. Жантасова. – Шымкент, 2022. – 280 с.
7. Босак, В. Н. Безопасность жизнедеятельности человека. Основы энергосбережения: курс лекций / В. Н. Босак. – Горки: БГСХА, 2024. – 85 с.
8. Босак, В. Н. Безопасность жизнедеятельности человека: практикум / В. Н. Босак, А. В. Домненкова. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 192 с.
9. Босак, В. Н. Безопасность жизнедеятельности человека: учебник / В. Н. Босак, З. С. Ковалевич. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 335 с.
10. Босак, В. Н. Безопасность жизнедеятельности человека: учебник / В. Н. Босак, З. С. Ковалевич. – Минск: РИВШ, 2023. – 404 с.
11. Босак, В. Н. Безопасность жизнедеятельности человека: учебник / В. Н. Босак. – Старый Оскол: ТНТ, 2022. – 356 с.
12. Босак, В. Н. Охрана труда, охрана окружающей среды и энергосбережение: пособие / В. Н. Босак, А. Е. Кондраль. – Горки: БГСХА, 2023. – 107 с.
13. Ковалевич, З. С. Безопасность жизнедеятельности человека: практикум / З. С. Ковалевич, В. Н. Босак. – Минск: МИТСО, 2024. – 292 с.
14. Ковалевич, З. С. Безопасность жизнедеятельности человека: учебно-методическое пособие / З. С. Ковалевич, С. В. Савченко, С. Е. Головатый. – Минск: МИТСО, 2021. – 164 с.
15. Ковалевич, З. С. Безопасность жизнедеятельности человека: учебное пособие / З. С. Ковалевич, В. Н. Босак. – Минск: МИТСО, 2015. – 392 с.
16. Охрана окружающей среды и энергосбережение в сельском хозяйстве / А. В. Кильчевский [и др.]. – Минск: РИПО, 2017. – 336 с.
17. Охрана окружающей среды и энергосбережение в сельском хозяйстве: средства контроля / А. В. Кильчевский [и др.]. – Минск: РИПО, 2018. – 167 с.
18. Пестис, В. К. Основы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве: учебное пособие / В. К. Пестис, П. Ф. Богданович, Д. А. Григорьев. – 2-е изд. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 199 с.
19. Прищепа, И. М. Безопасность жизнедеятельности человека: учебное пособие / И. М. Прищепа, В. А. Клоев, А. Н. Дударев. – Минск: Вышэйшая школа, 2020. – 328 с.
20. Челноков, А. А. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / А. А. Челноков, В. Н. Босак, Л. Ф. Ющенко. – Минск: Вышэйшая школа, 2023. – 407 с.
21. Челноков, А. А. Охрана окружающей среды и энергосбережение: учебник / А. А. Челноков, Л. Ф. Ющенко. – Минск: РИПО, 2011. – 422 с.
22. Шершнева, Е. И. Безопасность жизнедеятельности человека. Основы энергосбережения: УМК / Е. И. Шершнева, А. С. Мастеров. – Горки: БГСХА, 2023. – 126 с.
23. Шимова, О. С. Основы экологии и энергосбережения: учебное пособие / О. С. Шимова, Н. К. Соколовский, О. В. Свидерская. – Минск: БГЭУ, 2011. – 227 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Практическая работа № 1 «Энергосбережение в зданиях и сооружениях»	4
Практическая работа № 2 «Эффективное использование электрической и тепловой энергии»	14
Практическая работа № 3 «Методика энергетического анализа применения пестицидов»	21
Практическая работа № 4 «Методика энергетического анализа применения удобрений»	34
Практическая работа № 5 «Энергетический анализ сельскохозяйственного производства»	49
Практическая работа № 6 «Производство и использование биогаза»	62
Практическая работа № 7 «Парниковый эффект»	89
Библиографический список	104

Учебное издание

Босак Виктор Николаевич
Крупенин Павел Юрьевич
Мастеров Алексей Сергеевич и др.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ЧЕЛОВЕКА

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Практикум

Учебно-методическое пособие

Редактор
Технический редактор
Корректор

Подписано в печать _____. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____.
Тираж 50 экз. Заказ _____.

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.