

# ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ ПРИ СНАБЖЕНИИ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ И РЕСПУБЛИКЕ АЛТАЙ

Антропов С.Е. – студент, Воробьева С.Н. - аспирант, Воробьев Н.П. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Проблему энергодефицитности Алтайского края и Республики Алтай возможно решить различными способами. Одним из самых перспективных является использование альтернативных источников энергии при энергоснабжении потребителей в Алтайском крае и Республики Алтай. Однако для этого необходимо оценить целесообразность применения данных видов энергии с экономической точки зрения. Без данной оценки невозможно получить объективную картину эффективности капиталовложений в энергетику конкретного региона, района, населенного пункта или фермерского хозяйства.

Оценить экономическую целесообразность использования различных альтернативных и традиционных источников энергии можно следующими способами.

*Оценка экономической целесообразности использования энергии солнца* по [1]. Суть метода заключается в экономических расчетах целесообразности использования солнечных батарей и коллекторов относительно традиционных источников получения энергии. В работе приведены расчеты и получены линейные зависимости, связывающих стоимость топлива и предельное значение стоимости 1 м<sup>2</sup> солнечной батареи, при котором ее использование целесообразно в данном районе. С нашей точки зрения данная методика универсальна, так как по ней можно вести расчеты для разных территорий. Она позволяет вести расчеты по использованию солнечных коллекторов совместно с обычными котельными.

По нашему мнению данная методика пригодна для использования ее в Алтайском крае при условии ведения расчетов солнечных коллекторов совместно с котельными, а также использования в ней существующих трендов изменения стоимости компонентов солнечных батарей, их элементов и техпроцесса. Данную методику целесообразно использовать совместно с системой нечеткой логики в связи с тем, что входные параметры могут являться четкими и нечеткими числами.

*Оценка экономической целесообразности использования энергии ветра* по [1]. Суть метода заключается в экономических расчетах целесообразности использования энергии ветра относительно традиционных источников получения энергии. Приведены расчеты удельной стоимости одного киловатта вырабатываемой энергии. Использование энергии ветра по данной работе экономически оправдано, когда количество сэкономленного топлива на традиционном источнике энергии по стоимости будет больше, чем капитальные затраты на ветроэнергетическую установку. В работе также получены зависимости, связывающие стоимость ВЭУ и стоимость органического топлива.

Применение данной методики осложнено необходимостью поиска данных о моделях ВЭУ и иных справочных данных. По нашему мнению данная методика пригодна для использования ее в Алтайском крае при условии решения упомянутых проблем.

*Целесообразность использования биогазовых установок* можно оценить при помощи методики по [1]. Суть метода заключается в экономических расчетах целесообразности использования энергии биогаза относительно традиционных источников получения энергии. Приведен расчет удельной стоимости 1 м<sup>3</sup> биогазовой установки, а также оценка биогазового потенциала путем сбора и компоновки данных о численности животных. Произведена оценка экономической целесообразности использования биогазовой установки.

Данная методика не учитывает возможности получения прибыли с удобрений, полученных в результате работы биогазовой установки. По нашему мнению данная методика пригодна для использования ее в Алтайском крае при условии устранения описанного недостатка.

Из известных методик, позволяющих получить *оптимальное соотношение традиционных и альтернативных источников* энергии для Алтайского края и Республики Алтай можно выделить следующие.

*Известна методика*, основанная на расчете так называемых приведенных затрат. Приведенные затраты являются обобщающей экономической характеристикой варианта строительства установки, использующей нетрадиционный возобновляемый источник энергии (УНВИЭ), и альтернативного решения в соответствии с типовой методикой эффективности капитальных вложений. Исходными данными для расчета приведенных затрат являются: единовременные капитальные вложения, годовые эксплуатационные издержки, нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, стоимость используемого топлива, годовой расход топлива. Применение УНВИЭ экономически целесообразно, если годовые приведенные затраты на нее будут меньше либо равны стоимости вытесняемого топлива на базовой установке [1].

Достоинство данной методики в том, что она позволяет однозначно определить экономическую целесообразность применения УНВИЭ в данном месте предполагаемой установки и в данное время, однако она не позволяет учесть инфляционные процессы стране и все, что с ними связано.

*Вторым вариантом* принятия рационального соотношения между различными источниками является определение себестоимости энергии от этих источников. Для электрической энергии при питании от энергосистемы себестоимость складывается из себестоимости выработки и ее передачи потребителю. При этом себестоимость передачи следует разделить на две части: передача по питающим сетям и передача по распределительным сетям. По аналогии с этим проводят полный расчет себестоимости энергии от УНВИЭ. Составление сводной таблицы для различных административных либо географических районов позволяет определить оптимально выгодное соотношение традиционных и альтернативных источников энергии [1].

Недостатки описанной методики аналогичны недостаткам предыдущей методики.

*Третья методика* выбора варианта электроснабжения с исходными данными учитывает удаленность снабжаемого объекта от линий электропередач и требуемую вероятность энергообеспечения. Ее алгоритм следующий [1]:

1) Устанавливают требования заказчика по следующим показателям:

- предельная вероятность энергообеспечения;
- качество напряжения;
- сезонность работ.

2) Определяют удаленность усадьбы заказчика от линий электропередач централизованной системы электроснабжения (ВЛ - 10 кВ).

3) При удаленности от линии электропередач менее 2,12 км принимают централизованное электроснабжение.

4) При удаленности от линий электропередачи более 2,12 км рекомендуется применить следующий вариант автономного электроснабжения:

- при требуемой вероятности энергообеспечения более 0,9 - автономная электростанция на жидком топливе;

- при требуемой вероятности энергообеспечения 0,9 и менее - автономная система электроснабжения на основе ВУ роторного типа или на основе ВУ пропеллерного типа.

- возможны различные комбинированные варианты.

Недостатки описанной методики аналогичны недостаткам предыдущих методик.

*Оценка эффективности инвестиционных проектов* (четвертая методика) может быть произведена по [3] и [4]. Суть метода в использовании авторами методики оценки чистого дисконтированного дохода, по величине которого можно судить о таких понятиях как: притоки денежных средств по проекту за определенное время, оттоки денежных средств за определенное время, период окупаемости проекта, норма дисконта, объем капиталовложений. Метод является универсальным, при помощи которого можно оценивать

любые инновационные проекты в возобновляемые источники энергии, метод прост, учитывает весь срок функционирования проекта и график потока наличностей.

По нашему мнению данная методика применима для использования ее в Алтайском крае на небольших по объему инвестиционных проектах.

*Долгосрочный анализ денежных потоков* (притоков и оттоков) (пятая методика) может быть произведен по [4]. Суть метода в расчетах денежных потоков (притоков и оттоков), на основании которых рассчитываются следующие показатели: срок окупаемости инвестиций, индекс рентабельности; чистой текущей стоимости, или чистый дисконтированный доход, внутренняя норма доходности. Данный метод является расширением изложенного выше метода оценки чистого дисконтированного дохода.

По нашему мнению данная методика подходит для использования ее в Алтайском крае применительно к крупным инвестиционным проектам.

Общим недостатком всех вышеперечисленных методик является то, что в них не учитывается исчерпаемость традиционных источников энергии и влияние их установок на окружающую среду.

Представляется целесообразным произвести подробное технико-экономическое сравнение упомянутых выше методик для получения оптимального соотношения традиционных и альтернативных источников энергии применительно к каждому району Алтайского края и Республики Алтай, населенному пункту или фермерскому хозяйству.

#### Список литературы:

- 1) Кобелев А.В., Повышение эффективности систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - М., Тамбов, 2004. – С. 38 - 70.
- 2) Канакин Н.С., Техничко-экономические вопросы электрификации сельского хозяйства / Н.С. Канакин, Ю.М. Коган - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 192 с.
- 3) Коноплев Е.В., Применение ветроэнергетической установки в системе автономного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей малой мощности. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - М., Ставрополь, 2007. – С. 46 - 60.
- 4) Кутепов В.Н., Методы и средства повышения качества функционирования ветроэнергетических установок в растениеводстве. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Челябинск, 2008.

#### ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В АЛТАЙСКОМ РЕГИОНЕ С УЧЕТОМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ

Антропов С.Е. – студент, Воробьева С.Н. – аспирант, Воробьев Н.П. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Для решения проблем оптимизации энергоснабжения автономных потребителей в Алтайском регионе целесообразно использовать современное программное обеспечение.

Программная реализация позволяет обеспечить выполнение методик на автоматическом уровне, упростить выполнение однотипных расчетов и наглядно обосновать выводы.

Нами была поставлена задача разработать программу, позволяющую комплексно сформулировать исходные данные для расчета оптимального энергоснабжения конкретного автономного потребителя и определения приведенных затрат различных вариантов его энергоснабжения.

В результате была создана база данных, а на ее основе - программа для расчета энергоснабжения автономных потребителей с использованием различных источников энергии.

С помощью среды Excel и Access созданы базы данных технических установок по преобразованию альтернативных видов энергии в электроэнергию и тепло, установок,

необходимых для передачи и трансформирования электроэнергии и климатических характеристик местности Алтайского края и республики Алтай.

Создана база данных, включающая в себе следующие разделы:

- 1) Ветроэнергетические установки (ВЭУ).
- 2) Мачты.
- 3) Фотоэлектрические установки (ФЭУ).
- 4) Биогазовые установки (БЭУ).
- 5) Когенерационные установки на биогазе.
- 6) Мини гидроэлектростанции (МиниГЭС).
- 7) Аккумуляторы.
- 8) Контроллеры заряда.
- 9) Инверторы.
- 10) Характеристики силовых трансформаторов.
- 11) Цены на комплектные трансформаторные подстанции (КТП).
- 12) Сопротивления изолированных проводов.
- 13) Среднегодовая скорость ветра по районам Алтайского края.
- 14) Система условных единиц электротехнического оборудования.
- 15) Зависимость количества инженерно-технических работников от трудоемкости обслуживания.
- 16) Количество солнечных дней и инсоляция по районам Алтайского края.
- 17) Водный баланс речных водосборов рек Алтайского края и республики Алтай.
- 18) Потенциальная выработка биогаза в зависимости от количества живности в Алтайском крае и Республике Алтай.

Упомянутые базы данных скомпонованы в одном файле и могут считаться одной базой данных. Пример рабочего окна одного из разделов базы данных приведен на рисунке 1.

С помощью программы Excel фирмы Microsoft, а также с использованием разработанных нами баз данных и методик технико-экономического расчета и сравнения различных вариантов энергоснабжения автономного потребителя, была создана программа для оптимального выбора энергоснабжения автономного потребителя.

Программа содержит следующие модули:

- 1) Расчет варианта традиционного электроснабжения автономного потребителя.
- 2) Расчет варианта энергоснабжения автономного потребителя с использованием биоэнергии.

| Наименование    | Напряжение, В | Емкость, Ач | Размер, мм  | Масса (кг) | Технология | Розничная цена, руб. | Срок службы, лет | Производство | Источник информации                                                                               |
|-----------------|---------------|-------------|-------------|------------|------------|----------------------|------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Delta DT 1212   | 12            | 12          | 151x98x101  | 3,86       | AGM        | 750                  | 5                | КНР          | <a href="http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/">http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/</a> |
| Delta DTM 1217  | 12            | 18          | 181x77x167  | 5,70       | AGM        | 1300                 | 10               | КНР          | <a href="http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/">http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/</a> |
| Delta DTM 1233  | 12            | 33          | 195x130x180 | 10,20      | AGM        | 3000                 | 10               | КНР          | <a href="http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/">http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/</a> |
| Delta HR 12-18  | 12            | 18          | 181x77x167  | 5,90       | AGM        | 1500                 | 5                | КНР          | <a href="http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/">http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/</a> |
| Delta DTM 1240  | 12            | 40          | 197x185x170 | 13,20      | AGM        | 3500                 | 10               | КНР          | <a href="http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/">http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/</a> |
| Delta DTM 1265  | 12            | 65          | 350x167x183 | 22,20      | AGM        | 5800                 | 10               | КНР          | <a href="http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/">http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/</a> |
| Delta DTM 12100 | 12            | 100         | 350x173x220 | 32,00      | AGM        | 8200                 | 10               | КНР          | <a href="http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/">http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/</a> |
| Delta DTM 12120 | 12            | 120         | 410x176x227 | 38,00      | AGM        | 9500                 | 10               | КНР          | <a href="http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/">http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/</a> |
| Delta DTM 12150 | 12            | 150         | 485x172x240 | 47,00      | AGM        | 10300                | 10               | КНР          | <a href="http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/">http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/</a> |
| Delta DTM 12200 | 12            | 200         | 522x238x240 | 65,00      | AGM        | 15300                | 10               | КНР          | <a href="http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/">http://www.scoilb.at.ru/catalog/do-pobor/</a> |

Рисунок 1 - Вид рабочего окна одного из разделов базы данных в программе Microsoft Access

3) Расчет варианта энергоснабжения автономного потребителя с использованием энергии малых рек.

4) Расчет варианта энергоснабжения автономного потребителя с использованием энергии ветра.

5) Расчет варианта энергоснабжения автономного потребителя с использованием энергии солнца.

6) Сравнение капитальных вложений, издержек и минимума приведенных затрат для различных вариантов энергоснабжения автономного потребителя.

В упомянутой программе представлены 3 основных типа ячеек:

- синие ячейки, для введения в них данных;
- желтые ячейки, расчетные ячейки (рассчитываются автоматически при вводе данных в синие ячейки);
- зеленые ячейки, информационные ячейки, с указанными в них рекомендациями по проведению расчетов.

Программа проста в использовании. Для работы с ней необходимо запустить исполняемый файл Программа.xlsx, открыть лист расчета (модуль) и следовать приведенным в нем инструкциям.

Для примера приведем описание одного из модулей.

Модуль: «Расчет варианта энергоснабжения автономного потребителя с использованием биоэнергии» (рисунок 2).

Модуль позволяет произвести расчеты:

- количества отходов в сумме и отдельно по каждому источнику отходов;
- выхода биогаза в сумме и отдельно по каждому источнику отходов;

| № | Наименование источника отходов | Количество отходов, кг | Объем отходов, м³ | Выход биогаза | Возможная выработка биоэнергии на основе биогаза, кВт·ч | Количество тепла полученного при сгорании биогаза, кВт·ч |
|---|--------------------------------|------------------------|-------------------|---------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1 | КРС                            | 250                    | 11750             | 522854,08     | 713895,69                                               | 2876097,34                                               |
| 2 | КРС (свиная)                   | 150                    | 2475              | 88113,73      | 113799,22                                               | 117625,52                                                |
| 3 | КРС (овиная)                   | 120                    | 800               | 27642,89      | 52703,69                                                | 227039,23                                                |
| 4 | Помои                          | 80                     | 8533              | 250744,03     | 362241,64                                               | 1425092,14                                               |
| 5 | Курятина                       | 0                      | 0                 | 0,00          | 0,00                                                    | 0,00                                                     |
| 6 | Свиная                         | 0                      | 0                 | 0,00          | 0,00                                                    | 0,00                                                     |
| 7 | Поросня                        | 0                      | 0                 | 0,00          | 0,00                                                    | 0,00                                                     |
| 8 | Всего                          | 600                    | 27748             | 933497,73     | 1279790,24                                              | 5483485,22                                               |

| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

Рисунок 2 - Вид рабочего окна модуля «Расчет варианта энергоснабжения автономного потребителя с использованием биоэнергии» в программе Microsoft Excel

- выработки электроэнергии на основе выхода биогаза в сумме и отдельно по каждому источнику отходов;
- количества тепла, полученного при сгорании биогаза, в сумме и отдельно по каждому источнику отходов;
- необходимого объема биореактора для биогазовой установки.

Модуль: «Сравнение капитальных вложений, издержек и минимума приведенных затрат для различных вариантов энергоснабжения автономного потребителя» (рисунок 3).

Модуль позволяет произвести:

- укрупненный расчет и сравнение капиталовложений для различных вариантов энергоснабжения автономного потребителя;
- укрупненный расчет и сравнение издержек для различных вариантов энергоснабжения автономного потребителя;
- укрупненный расчет и сравнение приведенных затрат для различных вариантов энергоснабжения автономного потребителя;
- представление приведенных затрат в виде диаграммы.

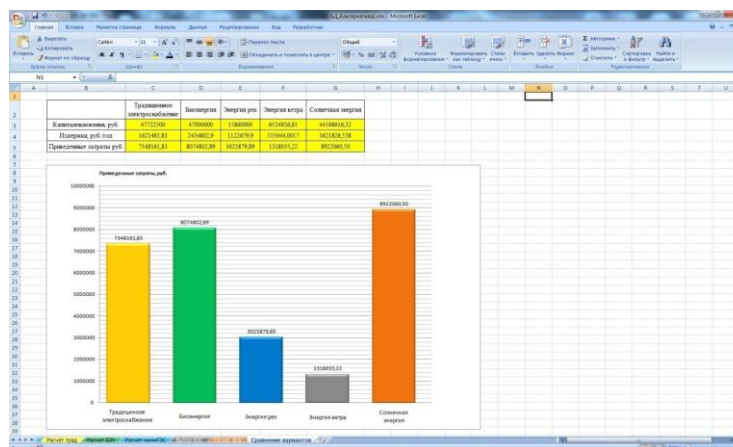


Рисунок 3 - Вид рабочего окна модуля «Сравнение капитальных вложений, издержек и минимума приведенных затрат для различных вариантов энергоснабжения автономного потребителя» в программе Microsoft Excel

Таким образом, проделанная работа позволила свести в один программный модуль технические и экономические характеристики традиционных и альтернативных источников энергии и использовать их для определения оптимального варианта энергоснабжения автономного потребителя энергии для любого района Алтайского края и Республики Алтай.

База данных при необходимости может легко обновляться в связи с изменением технико-экономической ситуации в мире, РФ, Алтайском крае, и в связи с появлением новых устройств преобразования возобновляемых источников энергии.

### СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В АЛТАЙСКОМ РЕГИОНЕ С УЧЕТОМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Малахов П.Б. – студент, Воробьева С.Н. – аспирант, Воробьев Н.П. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Современное состояние исследований в области оптимизации энергоснабжения автономных потребителей характеризуется тем, что рассматриваются, как правило, только отдельные нетрадиционные источники энергии. Работ, нацеленных на комплексное решение проблемы энергоснабжения отдельных потребителей с учетом всех основных видов традиционных источников энергии и альтернативных источников, а тем более в рамках целого региона, нами не обнаружено.

Возникшее противоречие между уровнем развития методов и средств генерации энергии от альтернативных источников энергии и реальным состоянием дел в области использования альтернативных источников энергии, как для автономных потребителей, так и для потребителей, имеющих существенные возможности для замещения традиционных источников энергии альтернативными источниками с целью сокращения издержек производства, может быть решено созданием системы оптимизация энергоснабжения автономных потребителей в Алтайском регионе с учетом возобновляемых источников энергии.

*Такая система, по нашему мнению, укрупненно должна содержать:*

- алгоритмы определения потенциалов альтернативной энергии в Алтайском крае и Республике Алтай;
- методики определения затрат на энергоснабжение автономного потребителя от возобновляемых источников энергии в Алтайском крае и Республике Алтай;
- методику рационального выбора между различными источниками энергии при электроснабжении потребителей.

То есть необходима разработка методики выбора оптимального варианта энергоснабжения автономного потребителя, не имеющего источников централизованного электроснабжения, либо располагающего значительным потенциалом для их замещения источниками альтернативной энергии применительно к Алтайскому краю и Республике Алтай.

Для достижения этого необходимо решение *следующих задач*:

- Определить риски от перерывов в энергоснабжении и снижении качества электроэнергии для автономных потребителей.
- Классифицировать, а также определить количественные, социальные и технико-экономические характеристики маломощных автономных сельскохозяйственных потребителей энергии в Алтайском регионе.
- Внести предложения по модернизации нормативно-правовой базы документов, регламентирующих энергоснабжение автономных потребителей.
- Исследовать потенциал использования возобновляемых источников энергии (ветра, солнца, малых рек, биоэнергии) и традиционных источников энергии в Алтайском регионе.
- Создать базу с исходными данными по традиционным и альтернативным видам энергии для разработки программы по оптимальному энергоснабжению автономного потребителя энергии.
- Разработать методику проведения технико-экономического расчета различных вариантов энергоснабжения автономного потребителя.
- Разработать методику выявления наиболее оптимального способа энергоснабжения автономного потребителя.
- Исследовать различные варианты совместного поступления энергии.
- Разработать программу по расчету затрат и экономической эффективности различных вариантов энергоснабжения автономного потребителя.

В настоящее время отсутствует точное определение автономных потребителей. Произведенный нами анализ научно-технических источников позволяет отнести к ним:

- 1) удаленные фермерские хозяйства;
- 2) удаленные деревни, отдельно стоящие дома или их группы;
- 3) водопойные пункты на отгонных пастбищах;
- 4) установки мелкоозисного орошения;
- 5) жилища чабанов, оленеводов и пчеловодов;
- 6) стригальные машины;
- 7) полевые станы и дома бригад;
- 8) насосные и водоподъемные установки;
- 9) устройства катодной защиты трубопроводов сельскохозяйственного назначения;
- 10) установки специального назначения (светосигнальные устройства и др.).

В большинстве своем установленная мощность электроприемников перечисленных выше объектов не превышает нескольких киловатт.

Подключение таких потребителей к энергосистемам нерационально из-за сезонности энергопотребления и раздробленности потребителей, что приводит к недоиспользованию установленной мощности энергосистемы и к дополнительным потерям энергии. Следовательно, такие потребители должны получать энергию от автономных электрогенерирующих систем [1].

Одним из немногих федеральных документов, регламентирующих энергоснабжение автономных потребителей являются «Правила технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям» [2].

Они определяют порядок технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым

организациям и иным лицам, к электрическим сетям, регламентируют процедуру присоединения энергопринимающих устройств к электрическим сетям сетевой организации, определяют существенные условия договора об осуществлении технологического присоединения к электрическим сетям, устанавливают требования к выдаче технических условий, в том числе индивидуальных, для присоединения к электрическим сетям, критерии наличия (отсутствия) технической возможности технологического присоединения и особенности технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей посредством перераспределения присоединенной мощности между юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями.

Несмотря на то, что сельскохозяйственный сектор в Алтайском крае потребляет лишь около 20% привозного топлива, его социально-экономическое значение велико - в нем проживает около 1 млн. 300 тысяч человек - т.е. половина населения Алтайского края. Среднее годовое потребление топлива и энергии сельским населением Алтайского края в быту составляет около 37,5 ГДж в расчете на одного человека. Основной источник теплоснабжения этой группы населения - привозной каменный уголь (86%). Низкий уровень использования потенциальной энергии, заключенной в топливе, связан с техническим несовершенством энергетического оборудования, усложненными условиями доставки энергоресурсов, повышенными потерями топлива при его транспортировке и хранении, относительно низким уровнем квалификации персонала, обслуживающего энергетическое хозяйство. Стоимость привозного угля составляет около 1 млрд. руб. [1].

Сложившаяся структура энергообеспечения приводит к интенсивному загрязнению среды обитания пылью, окислами серы и углерода.

Для поддержания в зданиях на селе внутреннего микроклимата требуется большое количество энергии, которое не может быть обеспечено при современных ценах. Если не принять действенных мер, сложная социально-экономическая ситуация в сельских населенных пунктах может стать еще более тяжелой.

Таким образом, частичное или полное замещение угля и других традиционных источников энергии на возобновляемые экологически чистые энергоисточники, использование современных энергосберегающих систем позволит решить упомянутые проблемы. Комплексная модернизация систем теплоснабжения позволит направить часть финансовых потоков, идущих в настоящее время на заготовку привозного угля, на создание новых рабочих мест на территории края [1].

В сельском хозяйстве совместное применение энергии солнца и ветра распространено меньше, чем раздельное использование этих источников, хотя перспективность данного направления отмечена во многих работах. Наибольшее распространение комбинированные гелиоветроэнергетические установки (КГВЭУ), часто называемые ветросолнечными, получили за рубежом [3].

В России и странах СНГ комбинированные гелиоветроэнергетические установки в последнее время также получают распространение.

Мировой и отечественный опыт применения КГВЭУ в сельском хозяйстве свидетельствует о том, что совместное использование солнечной и ветровой энергии позволяет повысить надежность энергоснабжения потребителя по сравнению с раздельным использованием этих энергоисточников. При этом обеспеченность потребителя в энергии существенно возрастает и может достигать 80 - 90 %, в то время как при раздельном применении ГЭУ и ВЭУ данный показатель находится на уровне 30 - 70 % [3].

Для достижения поставленной цели нами в среде Excel и Access созданы базы данных:

- установок по преобразованию альтернативных видов энергии в электроэнергию и тепло,
- установок, необходимых для передачи и трансформирования электроэнергии,
- местных установок, использующих уголь, дрова, мазут, дизельное топливо, бензин и другие традиционные источники,
- климатических характеристик местности Алтайского края и республики Алтай.

Созданные базы данных являются частью разработанной нами программы по оптимальному энергоснабжению автономного потребителя энергии, позволяющей произвести выбор оптимального варианта энергоснабжения автономного потребителя в Алтайском крае и Республике Алтай.

#### Список литературы:

1) Аруов Б.Б., Электроэнергетическая система на основе солнечных модулей с энергоемкими конденсаторами для автономных сельскохозяйственных объектов. Автореферат диссертации кандидата технических наук. - М., Москва, 2005. – С. 9 -2.

2) Правила технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям (в ред. Постановлений Правительства РФ от 21.03.2007 N 168 от 14.02.2009 N 118, от 21.04.2009 N 334).

3) Ахметжанов Р.А., Повышение эффективности использования солнечной и ветровой энергии для теплоснабжения сельскохозяйственных потребителей. Диссертация на соискание кандидата технических наук. - М., Челябинск, 2005. – С. 33 - 60.

### ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В АЛТАЙСКОМ РЕГИОНЕ ОТ ТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Малахов П.Б. – студент, Воробьева С.Н. – аспирант, Воробьев Н.П. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Энергетика Алтайского края является угольной и централизованной. Доля угля в топливном балансе составляет около 80%. Все электростанции края - ТЭЦ, производящие как электрическую, так и тепловую энергию. Основной вид топлива на них – уголь. [1]

Своих газовых месторождений в крае нет. Газификация края далека от завершения.

Алтайский край считается одним из дефицитных регионов, это обусловлено малой производимой энергией в самом крае и высоким износом энергооборудования. К 2015 году дефицит составит по прогнозу 888,5 МВт, такая перспектива не приемлема для региона, поскольку мощности потребителей с каждым годом будут расти. Из этого следует, что нужно строить новые станции в крае, которые смогут покрыть дефицит энергии.

В официальных краевых документах в основном отмечается курс на использование газовых генераторов, работающих на природном газе. Это может и приемлемо для центральных районов и городов, но как быть с потребителями, удаленными от центральной энергосистемы? [2]

Сельские (а особенно автономные) потребители Алтайского края характеризуются отдаленностью от энергоцентралей, рассредоточенностью нагрузок на местности и небольшой величиной нагрузок. Аварийное состояние электрических сетей и невозможность их реконструкции из-за больших затрат приводит к ухудшению качества электрической энергии, поставляемой таким потребителям. [2] В связи с чем необходимо оценить особенности энергоснабжения автономных потребителей в Алтайском регионе от традиционных источников энергии.

*Особенности электроснабжения потребителей удаленных районов* от энергосистемы приведем на примере автономного абстрактного потребителя. Потребитель располагает одной закрытой подстанцией с автоматическим вводом резерва (АВР) с двумя трансформаторами по 160 кВА. Питание подстанции предусмотрено от двух линий 10 кВ распределительных подстанций 110/35/10 кВ. Одна из линий выбрана рабочей, другая – резервной. Длина ВЛ 10 кВ рабочей и резервной составляет соответственно 15 и 19 км. Потребитель характеризуется смешанной нагрузкой. Имеются потребители 2 и 3 категории.

Капиталовложения  $K$  на строительство электрической сети будут равны сумме стоимостей воздушных линий изолированных (ВЛИ) и подстанций (ПС), а так же затрат на

транспортировку и монтаж (примем их 10 и 20 % соответственно). Так как стоимость ВЛИ рассчитана по укрупненным показателям, то эта стоимость уже учитывает затраты на все виды работ связанные с ее строительством, поэтому затраты на транспортировку и монтаж не учитывают

$$K = K_c + K_m + K_t = K_{вли} + K_{пс} \cdot 1,3 \quad , \quad (1)$$

где  $K_c$  - суммарные капиталовложения на ВЛИ и ПС;

$K_m$  - затраты монтажные и наладочные работы;

$K_t$  - затраты на транспортировку;

$K_{пс}, K_{вли}$  - капиталовложения на ПС и ВЛИ соответственно.

Ежегодные издержки  $I$ , связанные с передачей и распределением электроэнергии в сельском районе, включают затраты на амортизацию и капитальный ремонт, затраты на текущий ремонт и содержание обслуживающего персонала, а также затраты на возмещение стоимости потерь электроэнергии.

Расчет издержек  $I$  производят по формуле

$$I = p_a \% K + A_{обсл} y_n B + C_{пот} \quad , \quad (2)$$

где  $p_a$  % - коэффициент амортизационных отчислений для элементов сетей комплектных трансформаторных подстанции (КТП) и для ВЛИ, %;

$K$  - капитальные вложения на сооружение сети, руб. без учета налога на добавленную стоимость (НДС);

$A_{обсл}$  - стоимость обслуживания одной условной единицы в год с учетом единого социального налога (ЕСН) (взята средняя заработная плата электромонтера), руб.;

$y_n$  - норма обслуживающего персонала (подстанцию, 1 км линии и т.д.);

$B$  - число обслуживаемых объектов;

$C_{пот}$  - потери электроэнергии по объектам сети, кВт.

Исходя из того, что нормативный срок окупаемости ПС равен 20 лет, коэффициент амортизационных отчислений  $p_a = 1/T = 1/20 = 0,05 = 5\%$ .

Самонесущие изолированные провода (СИП) являются относительно новой продукцией, и поэтому пока не существует конкретных нормативных амортизационных отчислений и отчислений на обслуживание. Примем амортизационные отчисления  $p_a \% = 3,0\%$ . Затраты на эксплуатацию ВЛИ снижаются на 80% по отношению к затратам на обслуживание воздушных линий (ВЛ). Таким образом, можно принять  $p_{обсл} \% = 0,1\%$ .

Приведенные затраты рассчитываются по формуле

$$Z_{пр} = E \cdot K + I \quad , \quad (3)$$

где  $E$  – коэффициент экономической эффективности равный 0,12.

*Оценка затрат на распределение природного газа автономному потребителю*

Производят предварительную оценку варианта газоснабжения. Сравнивают полученные результаты для вариантов газоснабжения природным и сжиженным газом и делают выбор наиболее пригодного варианта.

*Особенности энергоснабжения потребителей от местных установок*

Энергоснабжение автономных потребителей в значительной мере зависит от затрат на распределение твердого и жидкого топлива. Основным техническим средством перевозки указанных видов топлива является автомобильный транспорт: бортовые автомобили, автосамосвалы и автоцистерны. [3]

Затраты на снабжение автономных потребителей тепловой энергией от местных котельных и местных теплогенерирующих установок ( $Z_{тм}$ ) складываются из следующих составляющих [3]

$$Z_{тм} = Z_{мон} + Z_{ам} + Z_{мгз} + Z_{пот} \quad , \quad (4)$$

где  $Z_{mon}$  - затраты на приобретение топлива;

$Z_{am}$  - затраты на перевозку топлива от баз топлива и топливных складов до места потребления с учетом возможных потерь при транспортировке;

$Z_{mgy}$  - затраты, связанные с преобразованием органического топлива в тепловую энергию в котельной или другой теплогенерирующей установке;

$Z_{nom}$  - затраты, компенсирующие потери топлива при хранении, передаче, регулировании и преобразовании в энергоиспользующей установке.

Из всех составляющих только затраты на перевозку топлива зависят от месторасположения конкретного района. В случае централизованного снабжения потребителей удельные затраты на перевозку топлива определяют по выражению [3]

$$Z_{am} = Z'_{am} + Z''_{am} \beta_m R_m C_T, \quad (5)$$

где  $Z'_{am}$  - постоянная составляющая затрат, руб./т;

$Z''_{am}$  - составляющая, отражающая изменение затрат в зависимости от дальности перевозки топлива, руб./(т-км);

$\beta_m$  - коэффициент, учитывающий особенности концентрации и размещения пунктов потребления топлива, разветвленность и состояние дорожной сети, удлинение маршрутов движения транспорта из-за непригодности отдельных участков дороги и других ограничений в выборе пути следования;

$R_m$  - радиус обслуживания топливной базы, км.

Из [4] коэффициент  $\beta_m$ , при однородном и достаточном равномерном размещении населенных пунктов и регулярном круглогодичном передвижении автотранспорта по маршрутам принимают в интервале от 0,8 до 1,0.

*Выводы:*

Для многих автономных потребителей в Алтайском крае нет централизованного электроснабжения, газоснабжения, теплоснабжения.

Современные бензиновые электростанции используются в основном в качестве автономных резервных источников электроснабжения. Но основным недостатком бензогенераторов является высокая стоимость топлива.

Так же велики затраты на перевозку топлива.

Большое количество электрических сетей находится в аварийном состоянии и требует больших эксплуатационных затрат на техническое обслуживание и ремонт, что приводит к ухудшению качества электрической энергии, поставляемой к автономным потребителям.

Из этого следует высокая стоимость электрической энергии и необходимость замещения традиционных источников альтернативными источниками энергии.

Приведенные алгоритмы оценки энергоснабжения автономных потребителей от традиционных источников энергии использованы в разработанной нами программе по оптимизации энергоснабжения автономных потребителей энергии в Алтайском регионе.

Список литературы:

1) Институт энергетической стратегии / [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2009]. – Режим доступа: <http://www.energystrategy.ru/> - Загл. с экрана.

2) Евстигнеев В.В., Развитие нетрадиционных источников энергии в Алтайском крае [Текст] / В.В. Евстигнеев, В.Я. Федянин, М.Ю. Шишин. // Солнце, ветер, биогаз! Альтернативные источники энергии: экологичность и безопасность. Проблемы, перспективы, производители - Барнаул, типография Фонда «Алтай — 21 век». – 2005.

3) Кобелев А.В., Повышение эффективности систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - М., Тамбов, 2004. – С. 38 - 70.

4) Канакин Н.С., Техничко-экономические вопросы электрификации сельского хозяйства / Н.С. Канакин, Ю.М. Коган - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 192 с.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Малахов П.Б. – студент, Воробьева С.Н. – аспирант, Суханкин Г.В. – к.т.н., Воробьев Н.П. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Асинхронные электродвигатели (АД) с короткозамкнутым ротором обычно рассчитаны на срок службы 15–20 лет без капитального ремонта при условии их правильной эксплуатации.

Под правильной эксплуатацией АД понимается его работа в соответствии с номинальными параметрами, указанными в его паспортных данных.

Однако в реальной жизни имеет место значительное отступление от номинальных режимов эксплуатации.

Это в первую очередь связано с плохим качеством питающего напряжения и нарушением правил технической эксплуатации: технологические перегрузки, условия окружающей среды (повышенная влажность, температура), снижение сопротивления изоляции, нарушение охлаждения.

Выход из строя АД приводит к тяжелым авариям и большому материальному ущербу, связанному с простоем технологического оборудования, устранением последствий аварий и ремонтом вышедшего из строя электродвигателя [1].

Следовательно, эффективный контроль показателей качества асинхронных электродвигателей в процессе производства и после их изготовления, своевременная их диагностика в процессе эксплуатации и основанное на этих результатах управление качеством изготовления электродвигателей, являются актуальными задачами.

В настоящее время не существует метода, с помощью которого можно однозначно определить остаточный ресурс электродвигателя.

Для устранения этой проблемы необходимо решение *следующих задач*:

- анализ состояния разработок и методов определения остаточного ресурса АД;
- выявление особенностей эксплуатации АД в сельском хозяйстве и их влияние на физико-механические свойства изоляции;
- составление совокупности измеряемых диагностических параметров, по которым можно судить об остаточном ресурсе АД;
- обоснование выбора влияющих факторов;
- выбор приборов для измерения влияющих факторов и их единиц измерения;
- определение диапазонов измерений параметров для оценки остаточного ресурса АД;
- разработка структуры системы нечеткой логики в программной среде Matlab Fuzzy Logic Toolbox для определения остаточного ресурса АД;
- разработка m-файла сопс.m для управления fis-файлами и для работы всей системы нечеткой логики в целом;
- представление и анализ результатов модельных экспериментов по определению остаточного ресурса АД.

Методы и приборы контроля остаточного ресурса АД основаны на различных принципах действия и имеют в своей основе выходные данные, касающиеся качества изоляции АД, представленные как в цифровой форме, с различной размерностью, так и в нечетких термах (низкий, средний, высокий).

Интерпретировать такие данные с целью оценки остаточного ресурса АД сложно без использования понятий нечеткой логики.

В связи с чем нами разработана система нечеткой логики для определения остаточного ресурса АД, структурная схема которой представлена на рисунке 1.

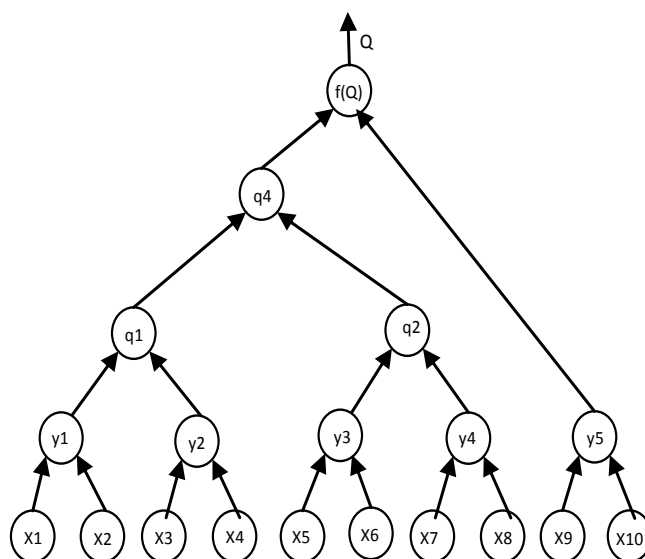


Рисунок 1 - Иерархическая структурная схема нечеткого логического вывода для остаточного ресурса асинхронного двигателя

В таблице 1 приведены влияющие факторы к рисунку 1.

Таблица 1 – Совокупность влияющих факторов к рисунку 1

| Обозначение фактора            | Описание фактора                                                                                           |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| x1                             | Измерение величины тока холостого хода АД                                                                  |
| x2                             | Измерение величины воздушного зазора АД                                                                    |
| x3                             | Измерение величины сопротивления изоляции двигателя                                                        |
| x4                             | Измерение коэффициента мощности АД                                                                         |
| x5                             | Измерение величины сопротивления обмоток АД при постоянном токе                                            |
| x6                             | Измерение коэффициента абсорбции изоляции обмотки статора                                                  |
| x7                             | Измерение коэффициента поляризации изоляции обмотки статора                                                |
| x8                             | Остаточный ресурс электродвигателя, определенный способом акустической диагностики изоляции статора АД [2] |
| x9                             | Температура статора АД                                                                                     |
| x10                            | Оценка состояния подшипников                                                                               |
| y1, y2, y3, y4, y5, q1, q2, q4 | Укрупненные влияющие факторы                                                                               |
| Q                              | Корень дерева – остаточный ресурс асинхронного электродвигателя                                            |

Нечеткая модель состоит из управляющего m-файла (conp.m) и 9-ти систем нечеткого вывода: q\_y1.fis, q\_y2.fis, q\_y3.fis, q\_y4.fis, q\_y5.fis, q\_q1.fis, q\_q2.fis, q\_q4.fis, Q.fis.

Каждая система нечеткого вывода имеет по 2 входных параметра, непосредственно влияющих на остаточный ресурс асинхронного электродвигателя.

Так как значения входных параметров изменяются в различных пределах, то целесообразно использовать дополнительный m – файл - нормализатор.

Нормализатор представляет собой программу, листинг которой представлен на рисунке 2.

Если скопировать содержимое файла в командную строку Matlab и запустить его, то получаются результаты работы системы нечеткой логики при минимальных, максимальных и средних значениях контролируемых параметров.

```

1  Zmin=60;
2  Zmax=180;
3  Procentnoe_Otklonenie=round(100*(Zmax-Zmin)/(Zmax+Zmin));
4  Kasc_izm_p=120; %Вставить здесь!
5  x1=((Zmax+Zmin)/2)-Kasc_izm_p*(-Procentnoe_Otklonenie/(((Zmax+Zmin)/2)-Zmin));
6
7
8  Zmin=1;
9  Zmax=475;
10 Procentnoe_Otklonenie=round(100*(Zmax-Zmin)/(Zmax+Zmin));
11 Kasc_izm_p=238; %Вставить здесь!
12 x2=((Zmax+Zmin)/2)-Kasc_izm_p*(-Procentnoe_Otklonenie/(((Zmax+Zmin)/2)-Zmin));
13
14 % Низкий результат:
15 conc(x1, x2, 'н', 'н', 'н', 'н', 'н', 'н', 'н', 'н');
16
17 % Высокий результат:
18 conc(x1, x2, 'в', 'в', 'в', 'в', 'в', 'в', 'в', 'в');
19
20 % Средний результат:
21 conc(x1, x2, 'с', 'с', 'с', 'с', 'с', 'с', 'с', 'с');
22

```

Рисунок 2 – Листинг программы Stroka\_conc\_2012\_03\_19.m

#### Выводы:

- Сформулированы задачи, решение которых необходимо для однозначного определения остаточного ресурса асинхронного электродвигателя.
- Разработана система нечеткой логики для определения остаточного ресурса асинхронного электродвигателя.
- Разработан нормализатор системы нечеткой логики для определения остаточного ресурса асинхронного электродвигателя.

Полученные результаты при их реализации помогут предотвратить выход из строя асинхронных электродвигателей и снизить материальный ущерб, связанный с простоем технологического оборудования, устранением последствий аварий и ремонтом вышедшего из строя электродвигателя.

#### Список литературы:

- 1) Гольдберг О.Д., Надежность электрических машин общепромышленного и бытового назначения: материалы лекций. - М.: Знание, 1976. - 57 с.
- 2) Пат. 2436081 Российская Федерация, МПК G 01 N 29/11 (2006/01). Способ акустической диагностики изоляции обмоток асинхронного электродвигателя / Герцен Н.Т., Суханкин Г.В., Воробьев Н.П.; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «Алт. гос. техн. ун-т. Им. И.И. Ползунова (АлтГТУ)» - № 2010129672/28; заявл. 15.07.2010; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34. – 12 с.: ил.

#### СТРУКТУРА СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Малахов П.Б. – студент, Воробьева С.Н. – аспирант, Суханкин Г.В. – к.т.н.,  
 Воробьев Н.П. – д.т.н., профессор  
 Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В агропромышленном комплексе условия эксплуатации электродвигателей существенно отличаются от нормальных. Помимо неблагоприятных факторов эксплуатации асинхронных электродвигателей (АД) в агропромышленном комплексе необходимо отметить полное и частичное отсутствие диагностической аппаратуры, ремонтной базы, недостаточный уровень квалификации обслуживающего персонала, а также отсутствие планово-предупредительного ремонта. В этих условиях наблюдаются разрушения полимерной изоляции, резко сокращается срок службы оборудования, снижается надежность эксплуатации.

На основании известных данных об имеющихся на сегодняшний день методах диагностики изоляции АД можно сделать вывод о том, что не существует метода, с помощью которого можно однозначно определить остаточный ресурс электродвигателя.

Этим обуславливается необходимость разработки метода определения остаточного ресурса АД с помощью нечеткой логики в программной среде MathLab Fuzzy Logic Toolbox, который был бы свободен от упомянутого недостатка.

Особенности разработанного метода поясняется каталогом системы нечеткой логики (рисунок 1).

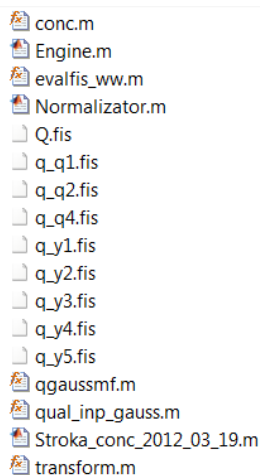


Рисунок 1 - Каталог системы нечеткой логики с файлами

В каталоге представлены системы нечеткого вывода с расширением .fis и m-файлы. Например, система нечеткого вывода q\_y1.fis имеет 2 входных фактора: x\_1 – величину тока холостого хода АД и x\_2 – измерение величины воздушного зазора АД. Основным из m-файлов является файл conc.m, который управляет работой всей системы (осуществляет иерархический вывод по логическому дереву).

В связи с тем, что исходная информация распределена, как правило, по случайному закону, для лингвистической оценки каждого фактора нами использованы 5 термов модификации стандартной функции распределения gaussmf – qgaussmf, которая позволяет использовать как четкие, так и нечеткие входные величины (рисунок 2). Для этого в каталоге создаваемой системы нечеткой логики должны присутствовать файлы qgaussmf, evalfis\_vw и qual\_inp\_gauss (рисунок 1).

Для получения результатов нечеткого вывода (y\_1->Промежуточный результат 1) по заданным факторам используются нечеткие базы знаний типа Mamdani (рисунок 3).

Для запуска смоделированной системы нечеткой логики в режиме максимальных значений факторов в командной строке Matlab вводят следующие данные (первое значение в нем выбрано низким - 'н' - с учетом того, что величина тока холостого хода АД должна принимать инверсное значение для достижения максимума значения Q - корня логического дерева – остаточного ресурса асинхронного электродвигателя):

```
conc('н', 'в', 'в', 'в', 'в', 'в', 'в', 'в', 'в', 'в');
```

Ввод строки завершают командой «Enter».

При этом в командном окне Matlab получают значения всех укрупненных влияющих факторов y1, y2, y3, y4, y5, q1, q2, q4 и максимальный результат вычисления остаточного ресурса Q (в годах) асинхронного электродвигателя с помощью системы нечеткой логики, так как всем остальным входным факторам присвоен нечеткий терм «высокое» (рисунок 4).

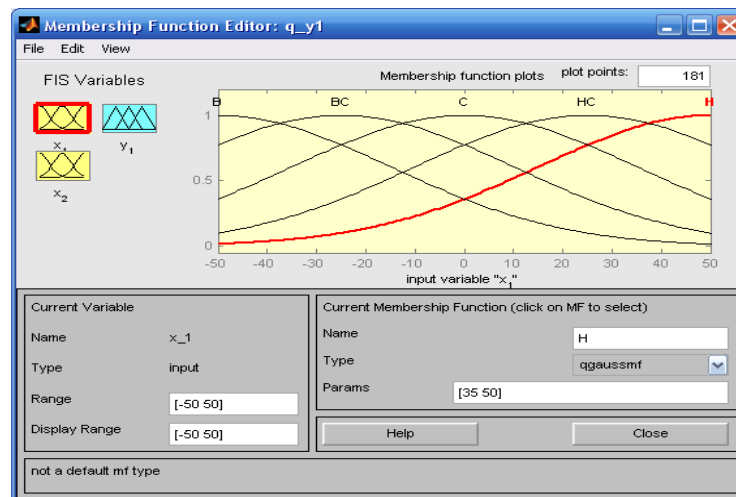


Рисунок 2 - Редактор функций принадлежности нечетких термов (H, HC, C, BC, B) для q\_y1.fis

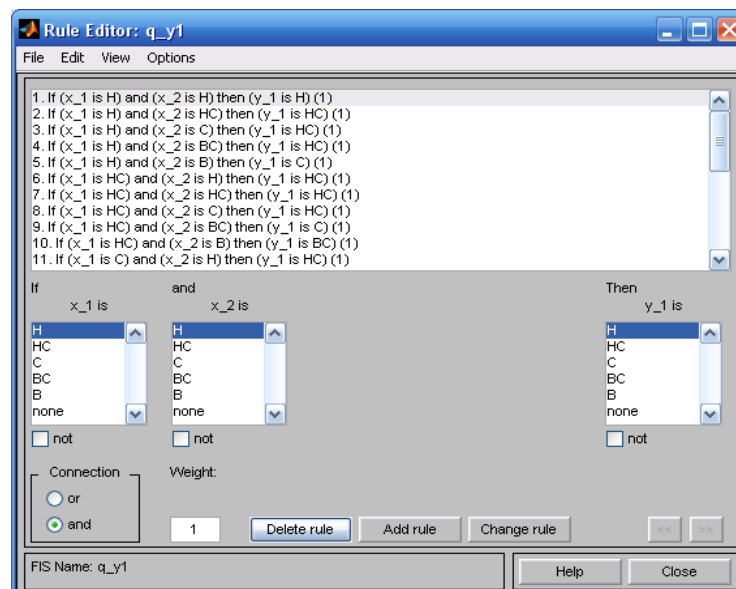


Рисунок 3 - Нечеткая база знаний типа Mamdani (для q\_y1)

По показателям надежности согласно ГОСТ 183-74 средний срок службы АД составляет 20 000 - 50 000 ч в зависимости от типа двигателя, условий эксплуатации и технического обслуживания, с вероятностью безотказной работы - не менее 0,9 за 10000 ч.

Значение  $Q=20$  лет получено при учете того, что ежедневно рассматриваемый асинхронный электродвигатель работал не более 7 часов в сутки при нормальных условиях эксплуатации.

Аналогичным образом получают значения  $Q$  для режима минимальных, средних и произвольных значений входных факторов. Значения  $Q$  для режима максимальных, минимальных и средних значений входных факторов используются для калибровки системы нечеткой логики, а значения  $Q$  для режима произвольных значений входных факторов – для определения остаточного ресурса асинхронного электродвигателя (в годах).

Разработанная система нечеткой логики позволит обоснованно определять остаточный ресурс АД по результатам измерения: величины тока холостого хода, воздушного зазора, сопротивления изоляции, коэффициента мощности, сопротивления обмоток при постоянном токе, коэффициента абсорбции изоляции обмотки статора, коэффициента поляризации изоляции обмотки статора, остаточного ресурса электродвигателя, определенного способом

акустической диагностики изоляции статора [1], температуры статора и по оценке состояния подшипников.

```
>> cons('н', 'в', 'в', 'в', 'в', 'в', 'в', 'в', 'в', 'в');
Промежуточный результат 1----->>
y1 =
    9.7980
Промежуточный результат 2----->>
y2 =
    53.5254
Промежуточный результат 3----->>
y3 =
    49.8018
Промежуточный результат 4----->>
y4 =
    53.6878
Промежуточный результат 5----->>
y5 =
    53.6878
Промежуточный результат Q1----->>
q1 =
    29.7720
Промежуточный результат Q2----->>
q2 =
    38.1739
Промежуточный результат Q4----->>
q4 =
    26.7258
Рейтинг остаточного ресурса асинхронного электродвигателя---->>
Q =
    31.8317
Остаточный ресурс асинхронного электродвигателя, лет----->>
Q =
    20.0000
>>
```

Рисунок 4 - Результат работы системы нечеткого моделирования остаточного ресурса асинхронного электродвигателя в зависимости от влияющих факторов

Список литературы:

1) Пат. 2436081 Российская Федерация, МПК G 01 N 29/11 (2006/01). Способ акустической диагностики изоляции обмоток асинхронного электродвигателя / Герцен Н.Т., Суханкин Г.В., Воробьев Н.П.; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «Алт. гос. техн. ун-т. Им. И.И. Ползунова (АлтГТУ)» - № 2010129672/28; заявл. 15.07.2010; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34. – 12 с.: ил.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Малахов П.Б. – студент, Воробьева С.Н. – аспирант, Суханкин Г.В. – к.т.н.,

Воробьев Н.П. – д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Изоляция электрических машин подвергается ряду неблагоприятных факторов: повышенные нагревы, превышающие допустимые для данного класса изоляции пределы, повышенная влажность вплоть до непосредственного воздействия воды и влаги, наличие химически агрессивной среды (аммиак, органические удобрения и т.д.), значительные механические воздействия (вибрации, ударные воздействия), коммутационные воздействия, значительные колебания напряжения в сети, нестабильные климатические условия, наличие пыли, копоти, абразивных частиц в воздухе.

Приборы, использующиеся для измерения различных параметров электродвигателя, основаны на различных принципах действия и имеют выходные данные, представленные как в цифровой форме, с различной размерностью, так и в нечетких термах (высокий, низкий, средний ...). Интерпретировать такие данные с целью оценки остаточного ресурса асинхронного электродвигателя (АД) очень сложно без использования понятий нечеткой логики. В связи с чем нами разработан метод определения остаточного ресурса АД с помощью нечеткой логики в программной среде MathLab Fuzzy Logic Toolbox.

Для того чтобы система нечеткой логики работала правильно и достоверно оценивала влияющие факторы, необходимо знать в каких диапазонах (таблица 1) изменяются входные факторы для оценки остаточного ресурса АД.

Таблица 1 – Диапазоны измерений параметров для оценки остаточного ресурса АД

| Факторы, определяющие остаточный ресурс АД                                                                | Диапазоны измерений входных факторов                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Температура обмотки статора АД                                                                            | От 60 °С до 180 °С                                     |
| Измерение величины воздушного зазора между статором и ротором АД                                          | Значение воздушного зазора: низкое, среднее, высокое   |
| Измерение величины сопротивления изоляции двигателя                                                       | От 1кОм до 0,38 МОм                                    |
| Измерение коэффициента мощности АД                                                                        | Значение $\cos \varphi$ : низкое, среднее, высокое     |
| Измерение величины сопротивления обмоток АД при постоянном токе                                           | От 1 кОм до 5 кОм                                      |
| Остаточный ресурс электродвигателя, определенный методом акустической диагностики изоляции статора АД [1] | Значение остаточного ресурса: низкий, средний, высокий |
| Измерение величины тока холостого хода АД                                                                 | От 1 А до 475 А                                        |
| Оценка состояния подшипников качения                                                                      | Состояние подшипников: плохое, среднее, хорошее        |
| Качество изоляции по показателю коэффициента поляризации                                                  | Изоляция: плохая, хорошая и превосходная               |
| Качество изоляции по коэффициенту абсорбции                                                               | Изоляция: плохая, хорошая и превосходная               |

Результаты работы системы нечеткой логики на примере произвольных данных, соответствующих диапазонам измерений входных факторов АД по таблице 1, представлены в таблице 2.

По полученному значению остаточного ресурса с помощью пакета Fuzzy Logic программы Matlab можно сделать вывод о том, что остаточный срок службы составляет около 11 лет (при учете того, что данный АД работал не более 7 часов в сутки и в нормальных условиях эксплуатации).

Полученное значение остаточного ресурса с помощью пакета Fuzzy Logic программы Matlab при минимальных значениях контролируемых факторов составило 0 лет.

При средних значениях контролируемых факторов оно составило 10 лет.

При максимальных значениях контролируемых факторов оно составило 20 лет.

В результате проделанной работы нами разработан метод определения остаточного ресурса асинхронного электродвигателя с использованием системы нечеткой логики в программной среде Matlab и пакете Fuzzy Logic.

Таблица 2 – Результаты работы системы нечеткой логики

| Факторы для оценки остаточного ресурса АД                                                                 | Значения факторов, взятые для модельного эксперимента | Значения факторов, приведенные в диапазон от -100 до 100, с помощью нормализатора | Остаточный ресурс асинхронного электродвигателя в годах |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Температура обмотки статора АД                                                                            | 100 °С                                                | -33,33                                                                            | 10,87                                                   |
| Измерение величины воздушного зазора между статором и ротором АД                                          | среднее                                               | среднее                                                                           |                                                         |
| Измерение величины сопротивления изоляции двигателя                                                       | 12 кОм                                                | -94,19                                                                            | 10,87                                                   |
| Измерение коэффициента мощности АД                                                                        | среднее                                               | среднее                                                                           |                                                         |
| Измерение величины сопротивления обмоток АД при постоянном токе                                           | 3,5 кОм                                               | 25                                                                                |                                                         |
| Остаточный ресурс электродвигателя, определенный методом акустической диагностики изоляции статора АД [1] | среднее                                               | среднее                                                                           |                                                         |
| Измерение величины тока холостого хода АД                                                                 | 200                                                   | -16,03                                                                            |                                                         |
| Оценка состояния подшипников качения                                                                      | хорошее                                               | хорошее                                                                           |                                                         |
| Качество изоляции по показателю коэффициента поляризации                                                  | плохая                                                | плохая                                                                            |                                                         |
| Качество изоляции по коэффициенту абсорбции                                                               | хорошая                                               | хорошая                                                                           |                                                         |

По результатам моделирования можно сделать вывод, что система нечеткой логики по определению остаточного ресурса АД функционирует исправно и готова к работе.

Разработанная система нечеткой логики позволит обоснованно определять остаточный ресурс АД по результатам измерения: величины тока холостого хода, воздушного зазора, сопротивления изоляции, коэффициента мощности, сопротивления обмоток при постоянном токе, коэффициента абсорбции изоляции обмотки статора, коэффициента поляризации изоляции обмотки статора, остаточного ресурса электродвигателя, определенного способом акустической диагностики изоляции статора [1], температуры статора и по оценке состояния подшипников.

Список литературы:

1) Пат. 2436081 Российская Федерация, МПК G 01 N 29/11 (2006/01). Способ акустической диагностики изоляции обмоток асинхронного электродвигателя / Герцен Н.Т., Суханкин Г.В., Воробьев Н.П.; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «Алт. гос. техн. ун-т. Им. И.И. Ползунова (АлтГТУ)» - № 2010129672/28; заявл. 15.07.2010; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34. – 12 с.: ил.

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К АЛТАЙСКОМУ КРАЮ

Поляков П.Ю. – студент, Воробьева С.Н. – аспирант, Воробьев Н.П. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Алтайская энергосистема длительное время является дефицитной, поскольку производимая в крае электроэнергия не может полностью обеспечить его потребности. Разница покрывается закупками электроэнергии в соседних энергосистемах в объеме до 5 млрд. кВт\*ч. (около 50% от потребности).

В то же время Алтайский край располагает существенным потенциалом возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Одним из возможных вариантов уменьшения дефицита электроэнергии является использование солнечной энергии.

Для отдаленных автономных потребителей, не имеющих возможности использования электроэнергии, или желающих заместить часть электрической энергии возобновляемыми ее видами, это перспективный вариант.

В связи с чем необходимо произвести оценку потенциала солнечной энергии для каждого района, а лучше для каждой точки Алтайского края и республики Алтай с тем, чтобы объективно решить вопрос о целесообразности использования в них солнечных панелей, коллекторов и батарей.

Согласно [1] Алтайский край территориально входит в две зоны – в зону со слабой солнечной активностью, где, тем не менее, возможно применения солнечных батарей, и в зону, где рекомендуются к применению солнечные электростанции.

В работе [2] приведены результаты регулярных наблюдений солнечной активности в Алтайском крае (солнечная радиация оценивается от 4 до 5 кВт\*ч/м<sup>2</sup> день), приведена карта расчетной площади солнечных коллекторов (расчетная площадь солнечных коллекторов оценивается от 10 до 30 м<sup>2</sup>), приведена карта расчетных мощностей аккумуляторов (расчетная мощность аккумуляторов оценивается до 60 А\*ч) и приведена карта расчетной себестоимости электроэнергии, вырабатываемой солнечно-ветровой энергоустановкой (расчетная себестоимость электроэнергии, вырабатываемой солнечно-ветровой энергоустановкой оценивается от 10 до 30 цент/кВт\*ч).

В работе [3] приведены среднедневные суммы солнечной радиации за год для оптимально ориентированной поверхности, которые для Алтайского региона немного ниже – в пределах 3,5 – 4 кВт\*ч/м<sup>2</sup> день. Там же указывается, что среднедневные суммы солнечной радиации за летний период (июнь-август) удерживаются на уровне 4,5-5 кВт\*ч/м<sup>2</sup> день.

Подробные данные по ресурсам ветра и солнца по информации из базы данных NASA могут быть получены из [4]. При этом достаточно лишь ввести координаты градусах, минутах и секундах северной широты и восточной долготы для рассматриваемого населенного пункта, например, из работы [5].

Оценка потенциала солнечной энергии применительно к Алтайскому краю может быть проведена и в соответствии с работой [6], где приведены данные о суммарной солнечной годовой радиации в Алтайском крае и Республике Алтай и о годовом ходе числа часов солнечного сияния, а также по [7], где приведены данные по количеству солнечных дней в году и солнечной инсоляции в районах Алтайского края.

На территории Алтайского края расположены метеорологические станции, которые регистрируют продолжительность солнечного сияния. Область, с ее территорией, не имеет ни одной актинометрической станции, которые регистрируют радиацию Земли в метеорологии.

Можно расчетным методом, позволяющим на основании промежуточной величины, регистрируемой всеми метеорологическими станциями, рассчитать значение солнечной энергии. Для зоны Алтайского края этой величиной служит продолжительность солнечного сияния.

Примерный алгоритм определения средних месячных значений солнечной энергии, поступающей на поверхность земли, приведен на рисунке 1.

Для косвенного расчета существует целый ряд эмпирических формул. Отдельные формулы были предложены, в частности, для Украины и Молдавии, Северо-запада России, Польши. Предварительный анализ существующих эмпирических зависимостей позволяет отобрать для последующей проверки формулы, которые по нашему мнению могут быть использованы и в условиях Алтайского края [8].

$$Q = Q_0 \cdot \left[ 1 + (1 - a) \cdot \frac{S}{S_0} \right]; \quad (1)$$

$$Q = a + b \cdot S; \quad (2)$$

$$Q = Q_0 \cdot \left[ a \cdot \cos \varphi + b \cdot \frac{S}{S_0} \right]; \quad (3)$$

$$Q = Q_0 \cdot \left[ a + b \cdot \frac{S}{S_0} \right]. \quad (4)$$

где  $Q$  - суммарная солнечная энергия, МДж/м<sup>2</sup>;

$Q_0$  - солнечная энергия, поступающая на границу атмосферы земли - (солнечная постоянная), МДж/м<sup>2</sup>;

$S$  - действительная продолжительность солнечного сияния, ч.;

$S_0$  - возможная продолжительность солнечного сияния, определяемая как продолжительность времени между восходом и заходом солнца, ч.;

$a$  и  $b$  - коэффициенты регрессии, показывающие связь между относительной суммарной солнечной энергией и относительной продолжительностью солнечного сияния.

Выбор выражения, наиболее адекватно отражающего связь между суммарной солнечной энергией и продолжительностью солнечного сияния, можно сделать только на основании анализа статистического материала, который собирают по актинометрическим станциям региона с глубиной проработки 5-10 лет.

Аналогичным образом собирают статистический материал по продолжительности солнечного сияния, энергетической освещенности. По формуле (4) с использованием по полученным значениям коэффициентов  $a$  и  $b$ , с использованием [9], рассчитывают значения суммарной солнечной энергии для территории рассматриваемого региона. При этом используют усредненные значения продолжительности солнечного сияния по данным наблюдений метеостанций рассматриваемого региона за 5 - 10-летний период /8/.

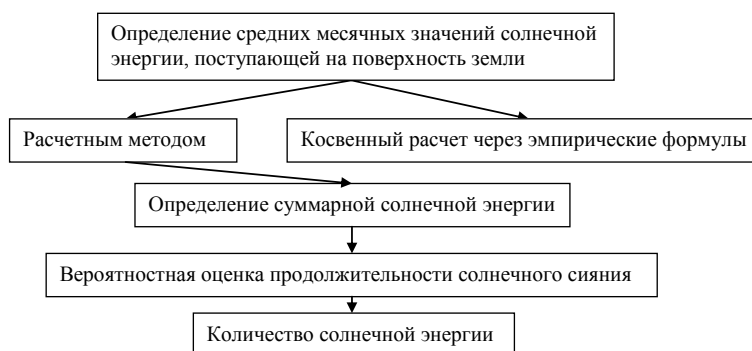


Рисунок 1 - Алгоритм определения средних месячных значений солнечной энергии, поступающей на поверхность земли

Приведенные оценки потенциала солнечной энергии применительно к Алтайскому краю использованы нами при разработке программы по оптимизации энергоснабжения Алтайского региона с учетом альтернативных источников энергии.

#### Список литературы:

- 1) Карта солнечной активности / [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2012]. – Режим доступа: <http://www.evis-ores.ru/karta%202.htm> - Загл. с экрана.
- 2) Результаты регулярных наблюдений солнечной активности / [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2012]. – Режим доступа: [http://enargo.ru/technologies\\_sun.php](http://enargo.ru/technologies_sun.php) - Загл. с экрана.
- 3) Солнечная Россия / [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2012]. – Режим доступа: <http://www.solarhome.ru/ru/biblio/solar/popel2.htm> - Загл. с экрана.
- 4) Альтернативная энергия для вашего дома / [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2012]. – Режим доступа: <http://www.solarhome.ru/forum/index.php?topic=2366.0> - Загл. с экрана.
- 5) Сервер "Погода России" - Архив погоды / [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2012]. – Режим доступа: [http://meteo.infospace.ru/win/wcarch/html/r\\_sel\\_stn.sht?adm=553](http://meteo.infospace.ru/win/wcarch/html/r_sel_stn.sht?adm=553) - Загл. с экрана.
- 6) Ветровой и солнечный кадастр Алтайского края: атлас. Т. 1 – Москва - Барнаул. Изд-во: ГУГКСМ СССР, 1980. – 236 с.
- 7) Куликова Л.В. Научный отчет по гранту: «Катунской ГЭС - разумную альтернативу». - М., Новосибирск, 2004 – с. 150.
- 8) Кобелев А.В., Повышение эффективности систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - М., Тамбов, 2004. – С. 38 - 70.
- 9) Научно-прикладной справочник по климату СССР, серия 3. - Л.: Гидрометеиздат, 1990. Вып. 28.

#### ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА БИОЭНЕРГИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К АЛТАЙСКОМУ КРАЮ

Поляков П.Ю. – студент, Воробьева С.Н. – аспирант, Воробьев Н.П. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Алтайский край является местом сосредоточено огромного количества животноводческих комплексов, сельхозугодий, в которых выращиваются различные сельскохозяйственные культуры. В сельскохозяйственном производстве, как и в любом другом, имеется большое количество отходов, как правило, биологического происхождения (биомасса). Использование биоэнергии в крае ограничено. Однако потенциал данного вида энергии очень велик.

К примеру, выход биогаза от крупного рогатого скота (КРС), свиней, овец, кроликов, а также при переработке соломы и коммунально-бытовых отходов приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Выход биогаза от КРС, свиней, овец, кроликов, при переработке соломы и коммунально-бытовых отходов [1]

| Вид перерабатываемых отходов                              | Выход биогаза, в м <sup>3</sup> , в сутки |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| бесподстилочный навоз от 10 голов крупного рогатого скота | 20                                        |
| от 10 свиней                                              | 1-3                                       |
| от 10 овец                                                | 1 - 1,2                                   |
| от 10 птиц                                                | 0,6 - 1,2                                 |
| от 10 кроликов                                            | 0,4-0,6                                   |
| тонна соломы                                              | 300                                       |
| тонна коммунально-бытовых отходов                         | 130                                       |

Имея данные по поголовью живности, можно оценить количество биогаза при переработке отходов через биогазовые установки. Данные по количеству поголовья живности для Алтайского края по районам имеются на сайте Территориальной Федеральной службы по Алтайскому краю. [2]

Известно также, что сгорание 1-го кубометра биогаза может дать 1,4 кВт·ч электроэнергии.

По произведенным нами расчетам в 2006 г. масштабах Алтайского края от КРС можно получить 1456602 кВт·ч электроэнергии, от свиней – 30457 кВт·ч, от овец – 6404 кВт·ч, от птицы – 437549 кВт·ч и от кроликов 177,8 кВт·ч. В общей сложности в Алтайском крае можно было получить 1931190 кВт·ч электроэнергии при использовании только биоотходов на биогазовых установках.

Алгоритм для определения биоэнергетического потенциала в Алтайском крае представлен на рисунке 1.

Нами проведена оценка количества электроэнергии, которое можно получить только от соломы в крае.

Если принять, что валовой сбор пшеницы в Алтайском крае достигает нескольких млн. т., а при уборке пшеницы минимум 80% к ее весу составляет солома, приняв в учет количество соломы, используемое в качестве подстилки для КРС – 0,5 тонны на голову в год, можно оценить примерное количество биогаза, получаемого от соломы.

Количество соломы от 6 млн. т. пшеницы, собранной в бункерном весе в Алтайском крае (2009 год), составляло 4,8 млн. т. Затраты на подстилки для КРС равны 256524 т., тогда соломы, пригодной для переработки в биогаз, оставалось 4,54 млн. т.

С учетом таблицы 1 из этого количества соломы можно было получить 1,363 млрд. м<sup>3</sup> биогаза. Из этого биогаза соответственно могло быть получено 1,9 млрд. кВт·ч электрической энергии.

К примеру, в Шипуновском районе в 2009 году можно было получить 83,4 млн. кВт·ч, а в Родинском районе - 90,7 млн. кВт·ч электроэнергии только из соломы.

В среднем по каждому из 30-ти районов Алтайского края можно было получить в 2009 году примерно 25,24 млн. кВт·ч электроэнергии при использовании только соломы на биогазовых установках.



Рисунок 1 – Алгоритм определения биоэнергетического потенциала

#### *Оценка биогазового потенциала автономного потребителя*

1) Зная данные о количестве биогаза, получаемом при переработке одной условной единицы отходов и об их количестве, оцениваем суммарное количество биогаза, которое можно получить при переработке отходов через биогазовые установки.

Выход биогаза от КРС, свиней, овец, кроликов, а также при переработке соломы и коммунально-бытовых отходов приведен в таблице 1. Данные по количеству поголовья живности, а так же по количеству коммунально-бытовых отходов примем исходя из нагрудочных характеристик потребителя (таблица 2).

Таблица 2 - Нагрузочные характеристики потребителя

|                    | Наименование потребителя             | Максимальные нагрузки     |                       | Категория надежности по ПУЭ |
|--------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|
|                    |                                      | Р <sub>дн</sub> , кВт     | Q <sub>дн</sub> , кВт |                             |
| 1                  | Жилой дом (х20)                      | 4х20                      | 2,85х20               | III                         |
| 2                  | Дом животновода с ветпунктом         | 6                         | -                     | III                         |
| 3                  | Коровник на 200 голов                | 20                        | 16                    | II                          |
| 4                  | Родильное отделение на 50 мест       | 6                         | -                     | III                         |
| 5                  | Телятник на 150 голов                | 5                         | 3                     | III                         |
| 6                  | Помещение для молодняка на 180 голов | 10                        | -                     | III                         |
| 7                  | Конюшня на 80 голов                  | 3                         | -                     | III                         |
| 8                  | Овощехранилище на 1000 тонн          | 5                         | 3                     | III                         |
| 9                  | Весовая                              | 1                         | -                     | III                         |
| 10                 | Сенохранилище                        | 10                        | 8                     | III                         |
| 11                 | Водонасосная станция                 | 10                        | 8                     | III                         |
| Суммарная нагрузка |                                      | 156                       | 95                    |                             |
| Полная мощность    |                                      | S <sub>дн</sub> = 184 кВт |                       |                             |

2) Примем некоторые приближения: молодняк дает 10% отходов, а, следовательно, 10% выработки биогаза от соответствующего показателя взрослой особи; теленок дает 30% отходов, а, следовательно, 30% выработки биогаза от соответствующего показателя взрослой особи; один жилой дом производит 1 кг коммунально-бытовых отходов в день. Исходные и расчетные данные сведем в таблицу 3.

3) Используя приведенные выше данные, можно сделать расчет количества производимой биоустановкой электроэнергии. С учетом энергоемкости получаемого газа – 23 мДж/м<sup>3</sup>, или 5500 ккал/м<sup>3</sup> - произведем расчет полученной тепловой энергии от сгорания получаемого биогаза (таблица 3).

На основе проведенных расчетов можно сделать вывод о том, что использование биоэнергетики приемлемо для данного потребителя, так как может полностью покрыть его суточную потребность в электроэнергии и тепле.

Произведенный анализ показывает, что биогазовые технологии не только экономически оправданы, но и могут создать условия для более интенсивного развития сельского хозяйства Алтайского края и Республики Алтай, решить проблему отходов агропромышленного комплекса и развития энергетической инфраструктуры в сельских районах.

Приведенный алгоритм оценки биогазового потенциала автономного потребителя использован в разработанной нами программе по оптимизации энергоснабжения автономных потребителей в Алтайском регионе с учетом альтернативных видов энергии.

Таблица 3 – Расчет возможной выработки биогаза, электроэнергии и тепла на базе автономного потребителя

| Наименование источника отходов       | Объем получаемого от источников биогаза, м <sup>3</sup> | Возможная выработка электроэнергии на основе биогаза, кВт · ч | Количество тепла, полученного при сгорании получаемого биогаза, ккал · 10 <sup>3</sup> |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Жилой дом (х20)                      | 2,6                                                     | 3,64                                                          | 14,3                                                                                   |
| Коровник на 200 голов                | 400                                                     | 560                                                           | 2200                                                                                   |
| Родильное отделение на 50 мест       | 100                                                     | 140                                                           | 550                                                                                    |
| Телятник на 150 голов                | 90                                                      | 126                                                           | 495                                                                                    |
| Помещение для молодняка на 180 голов | 36                                                      | 50,4                                                          | 198                                                                                    |
| Конюшня на 80 голов                  | 120                                                     | 168                                                           | 660                                                                                    |
| Всего                                | 748,6                                                   | 1048,04                                                       | 4117,3                                                                                 |

Список литературы:

1. Бесплатный биогаз, или биотехнология для свинофермы. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – М., [2005]. – Режим доступа: <http://www.recyclers.ru/modules/section/item.php?itemid=112> - Загл. с экрана.
2. Всероссийская сельскохозяйственная перепись 2006 года. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – М., [2006]. – Режим доступа: <http://ak.gks.ru/perep2006sx/Алтайский%20край.aspx> - Загл. с экрана.

#### ОЦЕНКА ЗАТРАТ НА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ АВТОНОМНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ В АЛТАЙСКОМ РЕГИОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ МАЛЫХ РЕК

Поляков П.Ю. – студент, Воробьева С.Н. – аспирант, Воробьев Н.П. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

При оптимизации энергоснабжения автономных потребителей в Алтайском регионе с учетом возобновляемых источников энергии важно оценить возможность использования для этого энергии малых рек. Для определенности примем, что такой потребитель обладает полной максимальной мощностью установленного оборудования 156 кВт второй и третьей категории надежности по ПУЭ.

Для оценки необходимой потенциальной электрической мощности реки, на которой планируется установка микро- или мини- ГЭС, примем некоторые допущения:

- река проходит вблизи автономного потребителя (длина воздушных линий изолированных (ВЛИ) складывается только из протяженности внутренних сетей 0,4 кВт);
- расчет производится для верховьев реки Чарыш Алтайского края.

Исходные данные по реке Чарыш:

1) Средний уклон: пос. Чарышское - 8 м/км.

2) Среднегодовой расход воды: пос. Чарышское - 108 м<sup>3</sup>/сек. [1]

Работа потока воды определяется напором ( $H$ ) водотока, т.е. разностью уровней воды в начале и конце рассматриваемого участка, и величиной расхода ( $Q$ ) протекающей воды [2].

Напор – давление жидкости, выражаемое высотой столба жидкости над выбранным уровнем отсчета, или разница уровней от забора воды в систему до гидроагрегата; измеряется в метрах. Из данных по реке для поселка Чарышское средний уклон на километр составляет 8 м. Примем примерную длину водозаборного устройства 1 км.

Расход – объем воды, протекающей через поперечное сечение трубы (русла) в единицу времени, измеряется в м<sup>3</sup>/с. Для нашего случая расход составит 108 м<sup>3</sup>/сек.

Если падение участка реки длиной  $L$  метров составляет  $H$  метров, то при расходе воды  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, равном его среднему значению в начале и конце участка, работа текущей воды в 1 секунду, т.е. мощность водотока  $N$ , Вт, на рассматриваемом участке составит [2]:

$$N = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = 9810 \cdot Q \cdot H, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Так как вся кинетическая энергия водного потока не может быть преобразована в электрическую энергию, то необходимо дополнить вышеописанную формулу механическим к.п.д. гидроагрегата  $\eta$  (находится в диапазоне от 0,6 до 0,95 в зависимости от типа гидроагрегата).

Таким образом, потенциальная электрическая мощность реки, которую возможно выработать при помощи микро- или мини- ГЭС, в кВт составляет (по формуле (1)) [2]:

$$N = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta \approx 8800 \cdot Q \cdot H = 7603,2 \text{ кВт}. \quad (2)$$

Таким образом, потенциала реки в данном местоположении достаточно для обеспечения автономного потребителя электроэнергией.

*Выбор мини ГЭС для электроснабжения автономного потребителя*

Для выбора типа микро- или мини- ГЭС воспользуемся рисунком 1.

По условию необходима гидроэлектростанция с номинально мощностью 156 кВт, так же известен напор 8 м и расход 108 м<sup>3</sup>/с (108000 л/с) воды. По расходу воды выбранная река способна обеспечить любой тип гидроэлектростанций, а по напору подходят только микро-ГЭС с диагональными турбинами и гидроагрегаты с пропеллерными турбинами. Выберем к исполнению гидроагрегаты с пропеллерными турбинами, поскольку они имеют самую высокую быстроходность, что позволяет при малых скоростях потока получать более высокую скорость вращения. Высокие обороты турбины в свою очередь позволяют применять более быстроходные, а значит, более легкие и дешевые электрогенераторы или уменьшать расходы на мультипликаторы [3].

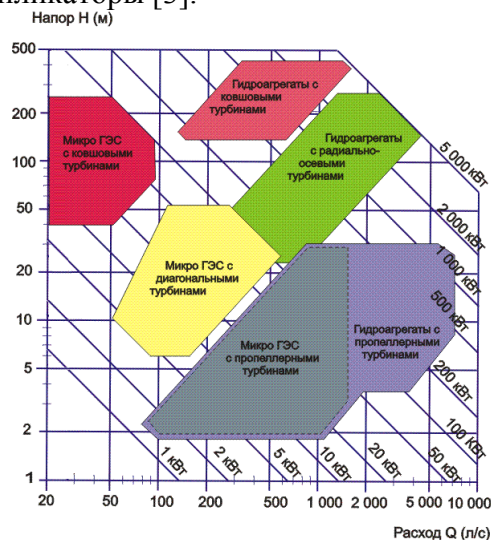


Рисунок 1 – Характеристики различных типов гидроэлектростанций [4]

Пользуясь таблицами 1 – 2, произведем выбор гидроэлектростанции. К исполнению принимаем гидроэлектростанцию с типом гидроагрегата Пр30, мощностью до 200 кВт, номинальной частотой 50 Гц.

*Оценка затрат на сооружение гидроэлектростанции для автономного потребителя*

Капиталовложения равны сумме стоимостей гидроэлектростанции и сооружения ВЛИ 0,4 кВ, а так же затратам на транспортировку и монтаж (примем их 10 и 20 % соответственно). Так как стоимость ВЛИ рассчитана по укрупненным показателям, затраты на транспортировку и монтаж не учитываем.

$$K = (K_{\phi} + K_m + K_t) = (K_{\text{эс}} \cdot P) \cdot 1,3 + K_{\text{вн}} = 15860 \text{ тыс. руб.}, \quad (3)$$

Таблица 1 – Стоимость агрегатов для малых ГЭС, в тыс. руб. [5]

| Диапазоны      |            |                             | Стоимость 1 кВт установленной мощности в зависимости от типа агрегата, тыс. руб. |                  |             | Примечание                             |
|----------------|------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|----------------------------------------|
| мощностей, кВт | напоров, м | расходов, м <sup>3</sup> /с | пропеллерный                                                                     | радиально-осевой | ковшовый    |                                        |
| до 100         | 2,5 - 150  | 0,1 - 5,5                   | 70,0 - 40,0                                                                      | -                | 36          | -                                      |
| 200 - 500      | 7,5 - 400  | 0,17 - 7,0                  | 36,0 - 19,0                                                                      | 27,0 - 14,5      | 27,0 - 14,5 | -                                      |
| 600 - 1000     | 10 - 450   | 0,3 - 8,5                   | 18,0 - 15,0                                                                      | 14,0 - 10,0      | 14,0 - 9,0  | -                                      |
| 1000 - 3000    | 12 - 450   | 0,9 - 10,0                  | 15,0 - 12,0                                                                      | 9,0 - 7,0        | 9           | до 1600 кВт для пропеллерных агрегатов |

Таблица 2 – Гидроагрегаты с пропеллерными турбинами [4]

| Параметры                                          | Тип гидроагрегата |                  |          |                |           |
|----------------------------------------------------|-------------------|------------------|----------|----------------|-----------|
|                                                    | ГА1               | ГА8              | ГА14     | Пр15           | Пр30      |
| Мощность, кВт                                      | 100-330           | 150-1800         | 20-300   | до 130,0       | до 200,0  |
| Напор, м                                           | 3,5-9,0           | 6,0-22,0         | 2,0-7,2  | 2,0-12,0       | 4,0-18,0  |
| Расход, м <sup>3</sup> /с                          | 2,3-6,2           | 2,5-11,0         | 2,5-5,75 | 0,44-1,5       | 0,38-1,10 |
| Частота вращения ротора турбины, мин <sup>-1</sup> | 200-360           | 300-600          | 250-375  | 600; 750; 1000 | 750; 1000 |
| Номинальное напряжение, В                          | 400               | 400; 6000; 10000 | 400      | 230/400        | 230/400   |
| Номинальная частота тока, Гц                       | 50                | 50               | 50       | 50             | 50        |

где  $K_{\phi}$  - суммарные капиталовложения на покупку гидроэлектростанции и сооружение ВЛИ 0,4 кВ;

$K_m$  - затраты монтажные и наладочные работы;

$K_t$  - затраты на транспортировку;

$K_{\text{эс}}$  - капиталовложения на 1 кВт установленной мощности гидроэлектростанции;

$P$  - мощность гидроэлектростанции;

$K_{\text{вн}}$  - капиталовложения на сооружение ВЛИ.

*Оценка ежегодных издержек*

Ежегодные издержки будут измеряться ежегодными амортизационными отчислениями и потерями в ВЛИ 0,4 кВ (провода марки СИП2). Составляющая издержек на содержание персонала отпадает, так как процесс полностью автоматизирован.

Исходя из того, что нормативный срок окупаемости мини ГЭС равен 10 лет, коэффициент амортизационных отчислений  $p_a = 1/T = 1/10 = 0,1 = 10\%$ .

$$I = p_a \cdot K_{\phi} \cdot v + C_{\text{пот}} = 1122679,9 \text{ руб.}, \quad (4)$$

где,  $v$  - коэффициент учитывающий отсутствие в цене товара НДС;

$C_{\text{пот}}$  - потери электроэнергии по объектам сети, кВт.

*Оценка приведенных затрат*

$$Z_{\text{пр}} = E \cdot K + I = 3025879,89 \text{ руб.}, \quad (5)$$

где,  $E$  – коэффициент экономической эффективности.

Описанный алгоритм оценки затрат на энергоснабжение автономного потребителя с использованием энергии малых рек реализован в разработанной нами программе по оптимизации энергоснабжения автономных потребителей в Алтайском регионе с учетом возобновляемых источников энергии.

Список литературы:

1) Солнце, ветер, биогаз! Альтернативные источники энергии: экологичность и безопасность. Проблемы, перспективы, производители. — Барнаул, Изд-во Фонда «Алтай — 21 век», 2005. — 174 с.

2) Мини-ГЭС / Справочная информация. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – М., [2011]. – Режим доступа: <http://miniges.com/spravka> - Загл. с экрана.

3) ИНСЭТ [Электронный ресурс] – Электрон. дан. М., [2011]. – Режим доступа: [http://www.inset.ru/r\\_offers/Axial\\_type.htm](http://www.inset.ru/r_offers/Axial_type.htm) - Загл. с экрана.

4) Микрогидроэлектростанции с пропеллерными турбинами (полу-Каплан). [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2011]. – Режим доступа: [http://www.solarhome.ru/hydro/inset\\_propeller.htm?print=1](http://www.solarhome.ru/hydro/inset_propeller.htm?print=1). - Загл. с экрана.

5) Куликова Л.В., Научный отчет по гранту: «Катунской ГЭС - разумную альтернативу». - М., Новосибирск, 2004 – с. 150.

#### РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ОАО «СК АЛТАЙКРАЙЭНЕРГО»

Поваляев И.С. – студент, Куликова Л.В. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В настоящее время в России создан один из крупнейших в мире топливно-энергетических комплексов. Страна способна полностью обеспечить свои потребности в топливно-энергетических ресурсах (ТЭР). Однако нельзя не отметить, что это привело и к возникновению новых проблем. Они связаны с возрастанием затрат на добычу топлива, необходимостью разработки новых, более труднодоступных месторождений, перестройки народнохозяйственного комплекса для обеспечения необходимого уровня производства и потребления энергии, а так же с истощаемостью основных энергоресурсов.

В результате назревшей проблемы, правительством Российской Федерации принят закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» №261-ФЗ, принятый 23.11.2009, который дает мощный толчок к развитию энергосберегающих технологий и в целом образа жизни граждан.

Одной из основных целей данного закона является проведение энергетического обследования. Энергетическое обследование или энергоаудит – это анализ энергопотребления зданием, опирающийся на проведенные измерения и собранные данные, конечным результатом которого является:

– разработка энергетического паспорта, т.е. документа, составленного в соответствии с ГОСТ Р 51379, и отражающий баланс потребления и показатели эффективности использования ТЭР;

– разработка энергосберегающих мероприятий, т.е. мероприятий, которые ведут к понижению потребления ТЭР и повышению эффективности их использования.

Основной целью энергоаудита является выявление экономии ресурсов.

Необходимость данных обследований назрела давно. Как показывает, практика при эксплуатации зданий происходит большой перерасход ТЭР. В среднем по стране этот показатель равен 15-25% от общего потребления, но в некоторых случаях превышает 50%. В основном это происходит:

1) из-за неэффективного использования ресурсов (применение физически и морально устаревшего оборудования);

2) из-за возникновения больших потерь (физический износ ограждающих конструкций, устаревшие систем канализации энергии, нерабочие воздуховоды и т.д.)

Эта проблема в свою очередь влечет за собой такие последствия как неэффективность экономики, неконкурентоспособность продукции (в связи с большой энергоемкостью продукции), малая реализация на мировых и внутренних рынках. Стоит так же отметить, что энергетические обследования ведут и к повышению экологической и энергетической безопасности страны.

В связи с этим энергоаудит способствует технологическому усовершенствованию обследуемого объекта, повышению безопасности труда, рационализации использования ресурсов и значительной экономии за счет этого.

Рассмотрим четырехэтажное административное здание ОАО «СК Алтайкрайэнерго».

Для нормального функционирования объекта используются следующие виды энергоресурсов: электрическая и тепловая энергия.

В таблице 1 представлены направления расхода тепловой энергии, и их процентное соотношение, от общего количества потребляемой энергии.

Таблица 1 – Расход тепловой энергии

| Направления расхода тепловой энергии | Процентное соотношение, % |
|--------------------------------------|---------------------------|
| Отопление                            | 94,6                      |
| Горячее водоснабжение                | 5,4                       |

Как видно из таблицы, основная доля тепловой энергии идет на отопление.

В таблице 2 представлены направления расхода электрической энергии, и их процентное соотношение, от общего количества потребляемой энергии.

Таблица 2 – Расход электрической энергии

| Направления расхода электрической энергии | Процентное соотношение, % |
|-------------------------------------------|---------------------------|
| Освещение:                                | 14,6                      |
| внутреннее                                | 13,4                      |
| наружное                                  | 1,2                       |
| Силовые нагрузки                          | 85,4                      |
| оргтехника                                | 21,1                      |
| бытовая техника                           | 27,8                      |
| кондиционирование                         | 36,5                      |

Как видно из таблицы, основная доля электроэнергии расходуется на силовые нагрузки, и лишь малая часть идет на освещение.

Физический износ здания составляет 15%.

Затраты ОАО «СК Алтайкрайэнерго» на энергоносители распределяются следующим образом: 70% расходуемых средств идет на оплату электроэнергии, и лишь 30% на оплату

тепловой энергии. Отсюда следует, что приоритетным направлением, при разработке энергосберегающих мероприятий, будет электрическая энергия, однако и в отношении тепловой энергии будет так же разработан ряд мероприятий, которые позволят более эффективно использовать данный энергоресурс.

При разработке энергосберегающих мероприятий необходимо учитывать их эффективность, а так же нормативные правила и санитарные нормы установленного для обследуемого здания.

При полном обследовании здания ОАО «СК Алтайкрайэнерго» и анализе потребляемых им ресурсов, разработан список рекомендуемых энергосберегающих мероприятий, а также приведены несколько проектов, которые позволят рационализировать потребление ТЭР.

Рекомендуемый перечень энергосберегающих мероприятий:

1) Система электроснабжения

- замена используемых люминесцентных ламп на люминесцентные лампы пониженной мощности, с повышенной светоотдачей;
- снижение установленной мощности источников света;
- снижение времени использования освещения;
- модернизация систем освещения применение энергосберегающего светотехнического оборудования и источников света нового поколения;
- применение бытовой техники с классом энергосбережения А+, А++;
- уменьшение числа нагревательных приборов;
- повышение эффективности использования отраженного света;
- контроль состояния изоляции;
- контроль состояния контактных соединений;
- чистка светильников.

2) Система теплоснабжения:

- демонтаж декоративных ограждений с радиаторов отопления в здании производственной базы;
- гидродневматическая промывка системы отопления с целью удаления из системы отложений и шлама, повышения коэффициента теплопередачи (проводится по окончании отопительного сезона);
- проверка состояния резиновых прокладок на пластиковых окнах;
- тепловая изоляция трубопроводов в помещениях, где нет постоянного присутствия персонала;
- покраска радиаторов отопления в производственных зданиях в тёмные тона.
- установка теплосчётчика в тепловой камере на вводе теплосети;
- автоматизация теплового пункта, с установкой регулятора температуры прямой сетевой воды в зависимости от температуры наружного воздуха;
- установка водо-водяного подогревателя для системы ГВС, переход на закрытую схему ГВС (этот вариант следует рассматривать при изменении тарифов теплоснабжающей организацией на подогрев и расход подпиточной воды в системе ГВС).

Рассмотрим один из предлагаемых проектов:

Снижение времени использования освещения.

*Существующее положение*

В коридорах и на лестничных маршах административного здания используются люминесцентные лампы (ЛЛ), которые работают постоянно вне зависимости от естественного освещения и присутствия людей в помещениях.

*Предлагаемый вариант*

Для снижения времени пользования освещением рекомендуется провести установку фотореле в коридорах и на лестничных маршах, и настройки их таким образом, чтобы освещенность удовлетворяла требованиям и нормам СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03

«Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».

Установить системы автоматического централизованного и локального управления освещением в зависимости от условий естественного освещения с применением фотоавтоматического управления, программных реле времени в зависимости от режима работы, датчиков, реагирующих на присутствие людей. Автоматизация управления освещением. Экономия электроэнергии при внедрении различных систем автоматизации определяется по выражению, кВт·ч/год:

$$\Delta W_{\text{э.о.}} = W_{\text{осв.г.}} \cdot (K_{\text{за.}} - 1), \quad (1)$$

где  $K_{\text{эф.}}$  - коэффициент эффективности автоматизации управления освещением;

$W_{\text{осв.г.}}$  - годовое потребление электроэнергии на освещение.

#### *Экономический эффект*

Расчеты показали, что расход электроэнергии на освещение в кабинетах и других помещениях здания ОАО «СК Алтайкрайэнерго» после проведения вышеуказанных мероприятий может быть снижен на 15%. Срок окупаемости 2 года.

При надлежащем исполнении организацией всех вышеуказанных мероприятий, расход финансовых средств, выделяющихся на оплату ТЭР, ориентировочно уменьшиться на 30%.

На основании вышеизложенного материала можно сделать вывод, что в настоящее время в нашей стране происходит большой перерасход энергоресурсов, в связи с не экономией ТЭР. Поэтому политика государства по энергосбережению, набирающая огромные обороты, является очень актуальным и взвешенным шагом к энергетической безопасности и стабильности страны. Результатами данной политики должны стать следующие факторы:

- рационализация и эффективность использования ТЭР;
- снижение энергоемкости продукции;
- воспитание в гражданах «энергетической» грамотности.

Снижение энергоемкости продукции приведет к снижению цены конечного продукта, что в свою очередь отразится на благосостоянии населения. Данная продукция станет более конкурентоспособной на мировом рынке.

Воспитание энергетической грамотности населения заключается с простого «уходя гасите свет» до использования более энергосберегающих технологий.

Все данные факторы послужат большим толчком к развитию экономики страны и улучшению благосостояния населения.

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГИИ ВЕТРА ДЛЯ АВТОНОМНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ И ПРИВЕДЕННЫХ ЗАТРАТ НА ЕГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К АЛТАЙСКОМУ РЕГИОНУ

Семенов О.В. – студент, Воробьева С.Н. – аспирант, Воробьев Н.П. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

### *Оценка потенциала энергии ветра для автономного потребителя*

Сводные данные по ветровым кадастрам Алтайского края, указывают на то, что среднегодовая скорость ветра составляет 3,85 м/с. Это является достаточным условием для установки ветровых энергетических станций (ВЭС), которые можно успешно эксплуатировать уже при скоростях ветра от 2,5 м/с. [1]

Использование ветровой энергии для абсолютного большинства районов является перспективным, исключение составляет только Солонешенский район, где среднегодовая скорость ветра не превышает 1,7 м/с.

Оценим мощность  $P$ , вырабатываемую генератором при различных скоростях ветра и диаметрах винта. Упрощенная формула расчета реально отдаваемой ветром мощности в

зависимости от скорости ветра и диаметра винта с погрешностью  $\pm 20\%$  (зависит от КПД винта и генератора) [2]:

$$P = D^2 \cdot V^3 / 7000 \text{ кВт}, \quad (1)$$

где,  $D$  – диаметр винта ВЭС;

$V$  – скорость ветра.

Расчетные данные показывают на то, что при средних скоростях ветра 4 метра в секунду (6 м/с на возвышенностях), у маломощных ветрогенераторов (как правило, с диаметром винта не больше 10 метров), средняя мощность составляет от 0,01 до 3 кВт. Данное количество энергии не может внести серьезный вклад в энергетический баланс края, но при рациональном выборе числа и мощности ветроэлектростанций может обеспечить автономного потребителя энергией.

*Расчет ВЭС для производственных нужд автономного потребителя*

По предварительным расчетам производство будет потреблять 1000-1200 кВт•ч электроэнергии ежемесячно. За основу расчета возьмем соображения, изложенные в работе [3].

Основной пик нагрузки потребительской части находится в интервалах времени с 7 до 9 и с 18 до 20 часов (кормежка скота, доение коров, нагрев и пр.) В эти моменты могут быть включены электроприборы суммарной мощностью до 40 киловатт. Ветроэлектростанция планируется установить на возвышенности, что позволит получить большую скорость ветра на уровне флюгера. Необходимо полностью обеспечить потребление 1000-1200 кВт•ч электроэнергии ежемесячно с пиковыми нагрузками до 40 кВт.

*Выбор генератора:*

Чтобы понять, как быстро должны заряжаться аккумуляторы при расходе электроэнергии 1200 кВт•ч в месяц, необходимо разделить 1200 кВт•ч/мес. на 30 дней (получим ежедневное потребление), а затем полученное число разделить на 24 часа ( $1200/30/24 = 1,66$  кВт – среднее ежечасное потребление энергии). Скорость заряда аккумуляторных батарей генератором должна составить как минимум 1660 Ватт в час. В Алтайском крае среднегодовая скорость ветра 4 м/с, но открытое пространство и возвышение объекта позволит увеличить скорость ветра (до 5 - 6 м/с) и позволит ветрогенератору EuroWind 10 (по зависимости мощности ветрогенератора EuroWind 10 от скорости ветра) вырабатывать 1,66 кВт [3].

*Аккумуляторы:*

В отсутствие пиков нагрузки потребление минимально, как и в ночное время. Основное потребление происходит утром и вечером. Между этими основными пиками существует интервал в 8-9 часов.

В паспортных данных ветроэлектростанции указано, что при скорости ветра 6 м/с средняя выработка электроэнергии составляет 2200 кВт в месяц, следовательно средняя ежедневная выработка электроэнергии составит соответственно 73,3 кВт. Средняя энергия заряда аккумуляторных батарей составит 3 кВт•ч, а за интервал 8-9 часов ветровой генератор сможет выработать для их заряда около 27 кВт•ч.

Генератор EuroWind 10 имеет напряжение 240 Вольт, поэтому ему необходимо 20 аккумуляторов с напряжением 12 Вольт ( $12В \cdot 20 = 240В$ ). Одна аккумуляторная батарея 12В 200А•ч способна сохранить до 2,4 кВт электроэнергии. Двадцать таких батарей могут сохранить до 48 кВт ( $2400В \cdot 20 = 48000 В$ ). Для аккумуляции 27 кВт•ч электроэнергии подойдут 20 аккумуляторных батарей 12В с емкостью 200А•ч.

*Инвертор:*

Для максимального потребления электроэнергии в пиковые моменты до 40 кВт, можно установить инвертор с номинальной мощностью 30 кВт. Он сможет обеспечить постоянную нагрузку и пусковые токи.

*Дополнительное оборудование:*

АВР в данном случае не нужен, т.к. нет основной сети, а коммутацию с дизельным генератором (или бензиновым) можно производить посредством перекидного рубильника.

### *Результат:*

Для полного энергообеспечения объекта необходим генератор EuroWind 10, 20 аккумуляторных батарей 12В с емкостью 200А•ч, инвертор мощностью 30 кВт.

### *Расчет затрат на сооружение ВЭС для автономного потребителя*

Учитывая показатели ВЭС для автономного потребителя, а также данные [3], выберем оборудование. Для производственных потребителей необходимы: генератор EuroWind 10, установочная мачта для генератора EuroWind 10, 20 аккумуляторных батарей Santec 12-200, инвертор ESWIT 300-240.

Капиталовложения  $K$  будут равны сумме стоимостей оборудования для ветроэлектростанций, а так же затрат на транспортировку и монтаж (примем их 10 и 20 % соответственно). Сооружение ВЛИ не требуется, так как ветроэлектростанции находятся в непосредственной близости к потребителям.

$$K = (K_{\phi} + K_m + K_n) = (K_{\phi} + K_m + K_a + K_u) \cdot 1,3 = 6204,69 \text{ тыс. руб.}, \quad (2)$$

где  $K_{\phi}$  - суммарные капиталовложения на покупку компонентов ветроэлектростанций;

$K_m$  - затраты на монтажные и наладочные работы;

$K_n$  - затраты на транспортировку;

$K_{\phi}, K_m, K_a, K_u$  - капиталовложения на генераторы, установочные мачты, аккумуляторные батареи и инверторы соответственно.

### *Расчет ежегодных издержек*

Ежегодные издержки будут измеряться ежегодными амортизационными отчислениями. Потерями в воздушных линиях изолированных (ВЛИ) 0,4 кВ можно пренебречь в связи отсутствием как таковой распределительной сети низкого напряжения. Составляющая издержек на содержание персонала отпадает, так как процесс полностью автоматизирован и для работы с ветроэлектростанцией не требуется больших трудовых ресурсов.

Исходя из того, что нормативный срок окупаемости ветроэлектростанций условно равен 10 лет, коэффициент амортизационных отчислений  $p_a = 1/T = 1/10 = 0,1 = 10\%$

$$И = p_a \cdot K_{\phi} \cdot v = 508780 \text{ руб.}, \quad (3)$$

где,  $v$  - коэффициент учитывающий отсутствие в цене товара НДС.

### *Расчет приведенных затрат*

Рассчитаем приведенные затраты по формуле (2.24):

$$Z_{np} = E \cdot K + И = 1253342,80 \text{ руб.}, \quad (4)$$

где  $E$  – коэффициент экономической эффективности.

Нами разработан алгоритм определения затрат на энергоснабжение автономного потребителя с использованием энергии ветра, который представлен на рисунке 1.

Описанный алгоритм оценки потенциала энергии ветра для автономного потребителя и приведенных затрат на его энергообеспечение использован в разработанной нами программе по оптимизации энергоснабжения автономных потребителей в Алтайском регионе с учетом возобновляемых источников энергии.

### *Список литературы:*

1) Коноплев Е.В., Применение ветроэнергетической установки в системе автономного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей малой мощности. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - М., Ставрополь, 2007. – С. 46 - 60.

2) Рекомендации по выбору и установке ВЭУ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://futureenergy.ru/ochen-tolkovye-rekomendacii-po-vyboru-veu/> . – Загл. с экрана.

3) Ветрогенератор / Как работает ветрогенератор и комплектующие к ветрякам [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://wind.ae.net.ua/index.php/main/index/0/510> . – Загл. с экрана.

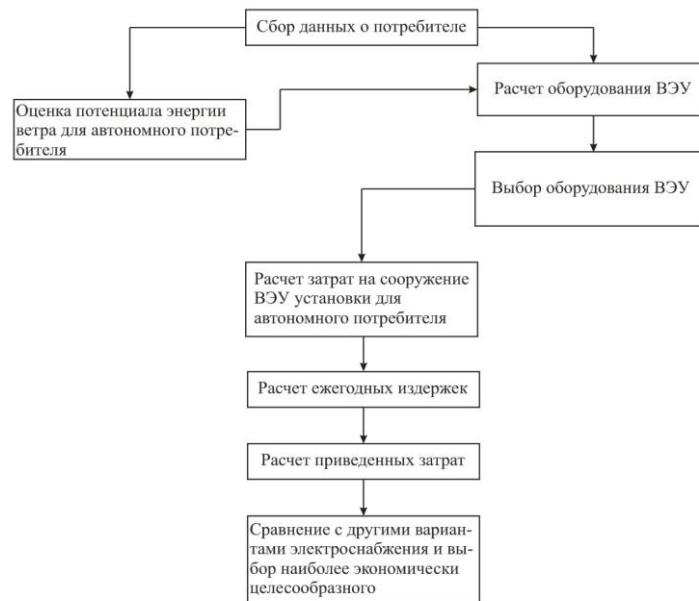


Рисунок 1 - Алгоритм определение затрат на снабжение автономного потребителя с использованием энергии ветра

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Сухоруков В.Е. – студент, Воробьев Н.П. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Процесс подготовки специалистов любых промышленных отраслей невозможен без использования принципа наглядности. Электромеханика - наука, изучающая процессы, происходящие в электроустановках различного рода. Использование программы Matlab R2010b существенно снижает затраты на лабораторное оборудование, площадь лабораторной аудитории и сводит к нулю возможность появления опасных факторов в процессе обучения. [1] Нами разработана виртуальная лабораторная установка для исследования однофазного трансформатора (рисунок 1).

Параметры трансформатора для выполнения лабораторной работы приведены в таблице 1.

Для снятия нагрузочной характеристики и рабочих характеристик трансформатора используется модель, представленная на рисунке 1. При этом для каждого значения сопротивления нагрузки осуществляется моделирование. Номинальное сопротивление нагрузки рассчитывается по формуле:

$$R_{ном} \approx \frac{U_1^2}{S}. \quad (1)$$

При проведении исследований заполняется таблица 2.

где

$R_n$  - Нагрузка трансформатора (Ом);

$P_1$  - Активная мощность, поступающая на первичную обмотку трансформатора (МВт);

$P_2$  - Активная мощность, поступающая на нагрузку трансформатора (МВт);

$Q_1$  - Реактивная мощность, поступающая на первичную обмотку трансформатора (МВАр);

$Q_2$  - Реактивная мощность, поступающая на нагрузку трансформатора (кВАр);

$U_1$  - Напряжение на входе трансформатора (кВ);

$U_2$  - Напряжение на выходе трансформатора (кВ);

$I_1$  - Ток на входе трансформатора (кА);

$I_2$  - Ток на выходе трансформатора (кА);

$\eta$  - КПД (%).

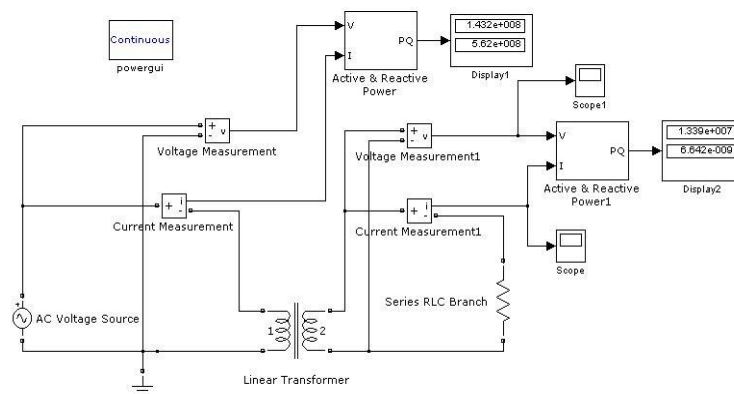


Рисунок 1 - Модель для исследования однофазного трансформатора

Таблица 1

| Тип трансформатора | $S_n$<br>[кВт] | $U_K$<br>[%] | $P_K$<br>[Вт] | $P_{10}$<br>[Вт] | $I_{10}$<br>[%] |
|--------------------|----------------|--------------|---------------|------------------|-----------------|
| ТС-10/066          | 10             | 4,5          | 280           | 90               | 7               |
| ТС-16/066          | 16             | 4,5          | 400           | 125              | 5,8             |
| ТС-25/066          | 25             | 4,5          | 560           | 180              | 4,8             |
| ТС-40/066          | 40             | 4,5          | 800           | 250              | 4,0             |
| ТС-63/066          | 63             | 4,5          | 1090          | 355              | 3,3             |
| ТС-100/066         | 100            | 4,5          | 1500          | 500              | 2,7             |
| ТС-160/066         | 160            | 4,5          | 2060          | 710              | 2,3             |

Таблица 2

| Нагрузка      | Измерения      |                 |               |               |                |                 |               |               | Вычисления            |                            |               |
|---------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------------|----------------------------|---------------|
| $R_n$<br>[Ом] | $P_1$<br>[МВт] | $Q_1$<br>[МВАр] | $U_1$<br>[кВ] | $I_1$<br>[кА] | $P_2$<br>[МВт] | $Q_2$<br>[кВАр] | $U_2$<br>[кВ] | $I_2$<br>[кА] | $\varphi_1$<br>[град] | $\cos \varphi_1$<br>[град] | $\eta$<br>[%] |
| 0,72          | 46,13          | 777,8           | 300,06        | 2,60          | 26,45          | 0               | 4,366         | 6,06          | 86,61                 | 0,06                       | 0,57          |
| 1,44          | 72,53          | 774             | 300,06        | 2,59          | 52,66          | 0               | 8,71          | 6,05          | 84,65                 | 0,09                       | 0,73          |
| 2,16          | 97,43          | 768,1           | 300,06        | 2,58          | 78,30          | 0               | 13,02         | 6,03          | 82,77                 | 0,13                       | 0,80          |
| 3,60          | 146,7          | 752             | 300,06        | 2,56          | 127,7          | 0               | 21,46         | 5,96          | 78,96                 | 0,19                       | 0,87          |
| 4,32          | 169,9          | 741,7           | 300,06        | 2,54          | 151,2          | 0               | 25,60         | 5,92          | 73,42                 | 0,27                       | 0,92          |
| 5,76          | 212,9          | 717,3           | 300,06        | 2,50          | 194,9          | 0               | 33,54         | 5,82          | 74,57                 | 0,27                       | 0,92          |
| 8,64          | 284,2          | 657,4           | 300,06        | 2,39          | 267,9          | 0               | 48,16         | 5,57          | 66,59                 | 0,40                       | 0,94          |
| 11,52         | 335,1          | 589,8           | 300,06        | 2,26          | 320,4          | 0               | 60,81         | 5,28          | 60,40                 | 0,49                       | 0,96          |
| 35            | 343,4          | 204,9           | 300,06        | 1,33          | 338,4          | 0               | 108,81        | 3,11          | 30,96                 | 0,86                       | 0,99          |
| 85            | 182,5          | 45,4            | 300,06        | 0,63          | 181,2          | 0               | 124,04        | 1,46          | 14,04                 | 0,97                       | 0,99          |
| 115           | 138,8          | 25,69           | 300,06        | 0,47          | 138            | 0               | 125,89        | 1,09          | 10,76                 | 0,98                       | 0,99          |
| 550           | 30,22          | 1,41            | 300,06        | 0,10          | 29,95          | 0               | 128,36        | 0,23          | 2,86                  | 1                          | 0,99          |
| 820           | 20,35          | 0,77            | 300,06        | 0,07          | 20,09          | 0               | 128,45        | 0,16          | 2,29                  | 1                          | 0,99          |
| 1150          | 14,6           | 0,52            | 300,06        | 0,05          | 14,35          | 0               | 128,5         | 0,11          | 2,29                  | 1                          | 0,98          |

Вычисления КПД и угла сдвига фаз между током и напряжением на первичной обмотке трансформатора производятся по выражениям:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}; \quad (2)$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{Q_1}{P_1}. \quad (3)$$

По данным таблицы строятся рабочие характеристики. Формы напряжения и тока на вторичной обмотке трансформатора, которые были получены с помощью осциллографов Scope1 и Scope, представлены на рисунках 2 и 3.

Результаты компьютерного моделирования хорошо согласуются результатами натурного моделирования в лаборатории «Электромеханика» АлтГТУ и существенно превосходят их по точности обработки информации и по наглядности ее представления.

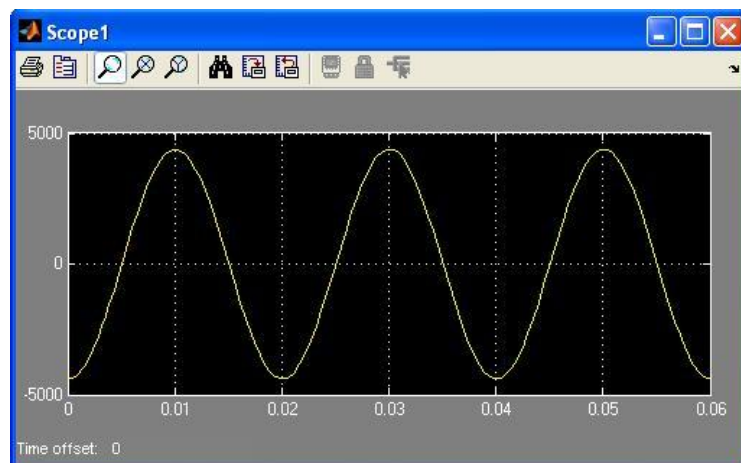


Рисунок 2 – Форма напряжения на выходе вторичной обмотки трансформатора

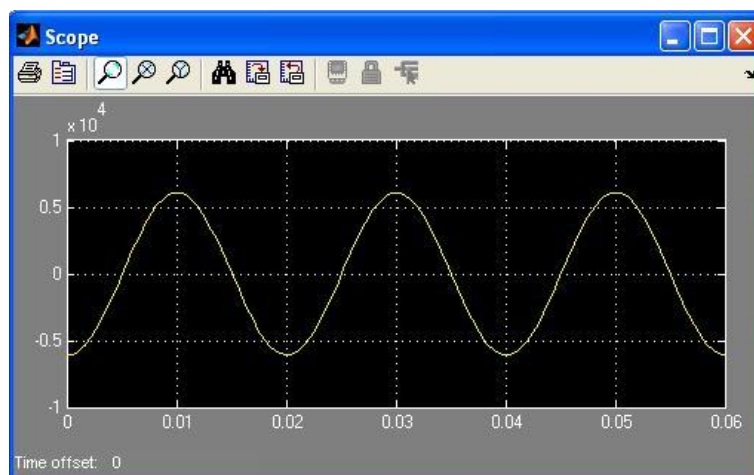


Рисунок 3 – Форма тока во вторичной обмотке трансформатора

#### Список литературы:

1. Воробьев Н.П., Выполнение лабораторных работ по электромеханике в моделирующем пакете Matlab: учебно-методические указания / А.И. Багаев, Н.П. Воробьев; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. - 128 с.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК АПК НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Заикина Е.М., Попова Ю.А., Чернецова Д.С. – студенты, Компанеец Б.С. – к.т.н.

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Целью работы является повышение эффективности электрической защиты с противопожарными функциями при коротких замыканиях в электроустановках объектов АПК.

Научную новизну представляют:

- критерии количественной оценки пожарной опасности коротких замыканий при неопределенном сочетании характеристик срабатывания электрической защиты и перегоя электропроводки;
- обобщенный показатель уровня изоляции электропроводки, в совокупности характеризующий качество изоляции и протяженность электрической сети;
- метод повышения эффективности электрической защиты по результатам количественной оценки пожарной опасности коротких замыканий с учетом теплового спада тока и неблагоприятных сочетаний параметров защиты и электропроводки.

В настоящее время по-прежнему актуальной остается проблема обеспечения электрической и пожарной безопасности электроустановок напряжением до 1000 В, как в городах, так и в агропромышленном комплексе (АПК). Весомую долю пожаров (более 20 %) составляют пожары от электротехнических причин (электропожары) [1].

В 2010 году ежедневно в Российской Федерации происходило более 490 пожаров, при которых погибали 36 человек и 36 человек получали травмы. Огнем уничтожалось 163 строения, 24 единицы автотракторной техники. Ежедневный материальный ущерб составил 38,6 млн. руб. [2].

Второе место после основной причины пожаров: неосторожное обращение с огнем (37,8 %) занимают электропожары (23,4 %) (рисунок 1) [2].

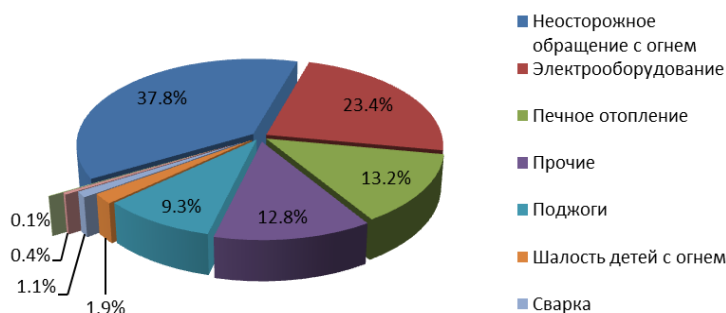


Рисунок 1 – Основные причины возникновения пожаров в 2010 г.

До 70 % электропожаров вызываются короткими замыканиями (КЗ). При этом наиболее пожароопасным видом электротехнических изделий являются электропроводки [3].

Для автоматического отключения питания при неисправности электроустановки широко используются предохранители и автоматические выключатели, в функции которых входит не только защита от аварийных режимов, но и предупреждение электропоражений людей и животных. Однако многолетний опыт эксплуатации электроустановок в сельском хозяйстве показал низкую эффективность такой защиты, как в части предупреждения электропожаров, так и обеспечения электробезопасности [4].

Одной из причин этого является сложность реализации чувствительной электрической защиты при низких значениях токов короткого замыкания (КЗ), характерных для сельских низковольтных сетей. Особенностью таких сетей является значительная протяженность воздушных линий, имеющих существенно большее сопротивление по сравнению с кабельными, а также относительно небольшая мощность силовых трансформаторов

питающих подстанций. Токи КЗ имеют весьма малую кратность по отношению к параметрам срабатывания электрической защиты – предохранителей и автоматических выключателей, что приводит к увеличению времени существования в сети опасных аварийных режимов и повышает вероятность пожаров даже при условии соответствия системы защиты нормируемым требованиям [4].

В целом можно выделить следующие основные причины неудовлетворительного состояния безопасности электроустановок в сельском хозяйстве:

- обусловленная особенностями сельских электрических сетей низкая кратность токов короткого замыкания, создающая возможность длительного существования аварийных режимов;

- неудовлетворительное техническое состояние внутренних электропроводок из-за их существенного износа и низкого уровня эксплуатации;

- неэффективная работа электрической защиты на основе предохранителей и автоматических выключателей, обусловленная особенностями аварийных режимов сельских электроустановок и несовершенством методик выбора параметров защиты;

- ограниченное финансирование на обеспечение безопасности электроустановок.

Для обеспечения пожарной безопасности электроустановок необходимы оценка функционирования и обоснование мероприятий по повышению эффективности электрической защиты, как меры предупреждения пожаров от КЗ. С этой целью могут использоваться вероятностные методы оценки пожарной опасности КЗ.

При расчетах показателей пожарной опасности КЗ существенное значение имеет точность определения токов КЗ, которые под влиянием нагрева проводников могут изменяться. Используемая технология предупреждения пожаров от КЗ не учитывала этот влияющий фактор. Поэтому в процессе ее совершенствования необходимо вводить соответствующие коррективы.

Основная защита определяется как применение мер против прямого контакта, что обеспечивается посредством исключения контакта между человеком и токоведущими частями. Некоторые токоведущие части полностью покрыты изоляцией, которая может быть удалена только в результате ее разрушения или разрушения самого защищаемого изделия. Кроме того, от прямого контакта защищают оболочки.

В случае неисправности электроустановки (чаще всего связанной с повреждением изоляции между токоведущими частями и доступными прикосновению открытыми проводящими частями электрооборудования) защита может включать одно или более классических защитных мероприятий:

- автоматическое отключение питания, в том числе с использованием устройств защиты от сверхтоков и устройств защитного отключения, реагирующих на дифференциальный ток (УЗО);

- защитное заземление;

- зануление;

- уравнивание потенциалов;

- выравнивание потенциалов;

- защитное электрическое разделение сетей;

- сверхнизкое (малое) напряжение;

- двойная изоляция, изолирование рабочего места;

- контроль, профилактика изоляции.

Используемая в настоящее время технология предупреждения пожаров, основанная на использовании вероятностных методов оценки пожарной опасности коротких замыканий, включает следующие этапы.

1. Составляется электрическая схема объекта электроснабжения, оцениваемого с точки зрения пожарной опасности коротких замыканий. На схеме указываются параметры аппаратов электрической защиты и электропроводки.

2. Рассчитываются:

- значения токов короткого замыкания всех видов и времени срабатывания защиты при КЗ на каждом участке электрической сети;
- коэффициенты незащищенности по участкам сети и сети в целом для каждого вида КЗ;
- показатели пожарной опасности для каждого вида КЗ и интегральный показатель пожарной опасности для всех видов КЗ, в том числе, с учетом использования УЗО;

3. Производится анализ результатов расчета и оценка пожарной опасности КЗ по каждому участку электрической сети.

4. Выбираются альтернативные системы электрической защиты объекта, в том числе с использованием УЗО, с учетом возможности полной или частичной замены электропроводки (изменения материала и сечения проводов).

5. Для выбранных вариантов рассчитываются показатели по п.2. и экономические показатели.

6. По рассчитанным показателям пожарной опасности и значениям коэффициентов незащищенности участков сети выбирается оптимальный вариант электрической защиты и (или) системы электроснабжения с учетом экономических ограничений.

Для повышения безопасности электроустановок объектов АПК должны использоваться системы электрической защиты, выбранные с учетом пережигającego и пожароопасного действия дуговых КЗ в электропроводах и обеспечивающие низкие значения интегральных показателей пожарной опасности КЗ.

Неопределенность результатов расчетов показателей пожарной опасности КЗ может быть снижена за счет учета неблагоприятных сочетаний параметров защиты и электропроводки и увеличения сопротивления цепи короткого замыкания из-за теплового спада тока.

Целью работы является повышение эффективности электрической защиты с противопожарными функциями при коротких замыканиях в электроустановках объектов АПК.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- обоснование выбора характеристик срабатывания аппаратов защиты и характеристик пережога электропроводок для выполнения расчетов показателей пожарной опасности КЗ;
- оценка влияния теплового спада тока КЗ на значения показателей пожарной опасности и обоснование условий уточнения расчетных значений;
- разработка метода сравнения уровней пожарной опасности для различных объектов или их групп с учетом реального соотношения вероятностей КЗ на этих объектах;
- оценка возможности снижения пожарной опасности КЗ за счет использования быстродействующих предохранителей;
- разработка метода повышения эффективности электрической защиты по результатам количественной оценки пожарной опасности КЗ с учетом теплового спада тока и неблагоприятных сочетаний параметров защиты и электропроводки;
- развитие программного обеспечения для оценки пожарной опасности КЗ и выбора эффективной электрической защиты электроустановок объектов АПК.

Список литературы:

1. Сошников, А.А. Пожарная безопасность электроустановок зданий: Проблемы и перспективы / А.А Сошников // Ползуновский альманах.- 1999.- № 3.- С.31-33.
2. Обстановка с пожарами в Российской Федерации за 2010 год // Пожарная безопасность.- 2011.- №1.- С. 148-163.
3. Смелков, Г. И. Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах / Г. И. Смелков. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 184 с.
4. Сошников, С.А. Снижение пожарной опасности коротких замыканий в электроустановках объектов агропромышленного комплекса: автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / С. А. Сошников. – Барнаул, 2008. – 23 с.

## АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В АПК

Титов Е.В. – инженер, Андросов Е.С. – студент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Практически в процессе любой трудовой деятельности человека окружают разнообразные технические средства, создающие электромагнитные поля (ЭМП). Причем для одних технических средств генерация электромагнитной энергии является технологической особенностью, а для других побочным явлением. Однако, в обоих случаях генерируемые поля являются активным фактором загрязнения окружающей среды.

В настоящее время механизм взаимодействия электромагнитных излучений (ЭМИ) с человеческим организмом до конца не изучен. Но биологами отмечаются отрицательные результаты при облучении биологических систем электромагнитными полями. Поэтому возникает необходимость обеспечения электромагнитной безопасности людей и животных, в том числе и на объектах агропромышленного комплекса (АПК) [1].

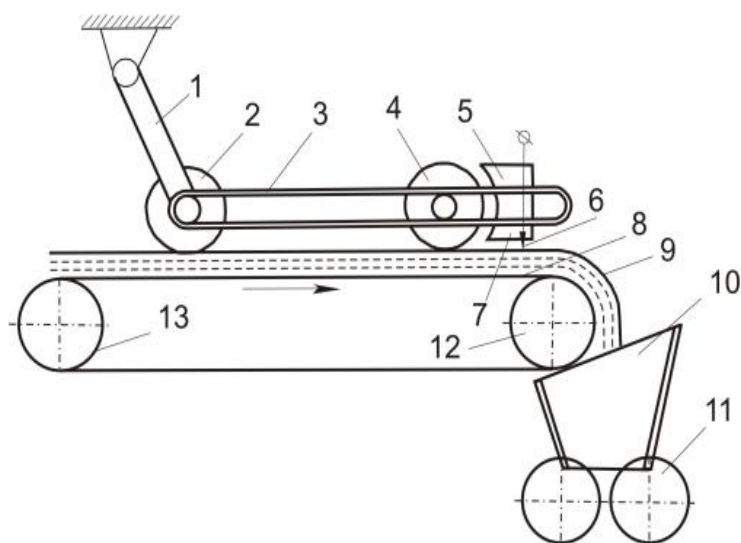
Анализ технологических процессов в АПК показывает, что среди наиболее опасных электротехнологий сельскохозяйственного производства по уровням создаваемых ЭМП, могут быть выделены следующие:

- обработка кормов электрическим током;
- электрическая очистка и сортирование семян в электрическом поле высокой напряженности;
- обеззараживание сельскохозяйственных сред и оборудования в электрическом поле;
- высоковольтное истребление насекомых электрическим полем;
- борьба с сорняками токами промышленной частоты;
- управление животными на пастбище с помощью электроимпульсного воздействия;
- разрушение, дробление и измельчение материалов в электрогидравлической установке;
- электроискровая обработка травы;
- искусственная аэроионизация воздуха, в том числе, с использованием двухзонных электрофильтров и аэроионизаторов Болотова (люстра Чижевского);
- ультразвуковая обработка материалов с использованием пьезокерамических преобразователей;
- стерилизация питательных растворов в магнитном поле;
- комплексная очистка и обеззараживание питьевой воды магнитным полем;
- активация воды омагничиванием постоянными магнитами или электромагнитами и т.д.

К примеру, электроискровая обработка травы осуществляется в специальных электроплазмолизаторах вальцевого типа (рисунок 1). Два цилиндра-электрода вращаются навстречу друг другу: один подключен к положительному, а другой к отрицательному полюсу. В зазор толщиной 5-6 мм между вальцами помещается обрабатываемый материал. Уровень напряженности электрического поля между вальцами составляет 70 кВ/м [2], который представляет опасность для жизни и здоровья человека: предельно-допустимый уровень напряженности электрического поля для производственного персонала равен 5 кВ/м при воздействии в течение 8 часов [3]. Интенсивность электромагнитного поля в некоторых случаях превышает 70 кВ/м, что означает превышение допустимого уровня излучения в 14 раз и более.

Таким образом, учитывая недостаточную изученность сельскохозяйственных процессов, формирующих опасные уровни электромагнитных излучений, следует отметить необходимость проведения электромагнитного мониторинга объектов АПК с целью контроля уровней ЭМИ. Поэтому возникает необходимость обеспечения электромагнитной безопасности людей и животных, в том числе и на объектах агропромышленного комплекса (АПК). Для решения данной проблемы необходимо детально рассмотреть электротехнологические процессы сельскохозяйственного производства с точки зрения

воздействия электромагнитных полей на живые организмы и разработать направления обеспечения электромагнитной безопасности на объектах АПК.



- 1 – тяга; 2 – заземленный ролик; 3 – изолирующая тяга; 4 – копирующий ролик;  
5 – изоляционный корпус; 6 – электрод разрядника; 7 – отверстие;  
8 – изоляционная транспортерная лента; 9 – обрабатываемая трава; 10 – бункер;  
11 – плющильные вальцы; 12 и 13 – барабаны транспортера

Рисунок 1 – Схема установки для совместной электроискровой и механической обработки травы перед сушкой

#### Список литературы:

1. Биологическое действие низкоинтенсивных экологических факторов на организм человека / Довгуша В.В., Кудрин И.Д., Тихонов М.Н. и др. // Экол. пром. пр-ва. – 1999. – Вып.1. – С. 3-14; Вып.2. – С. 9-22.
2. Савицкас, Р. К. Электротехнологии в растениеводстве и животноводстве [Текст] : учебное пособие для студентов специальности 110302 «Электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства» / Р. К. Савицкас В. В. Картавцев ; Воронежский гос. агр. ун-т им. К.Д. Глинки.– Воронеж : Изд-во Воронеж ВГАУ, 2008. – 62 с.
3. СанПиН 2.1.8/2.2.4.2490-09. Электромагнитные поля в производственных условиях [Текст]. – Введ. 2009–05–15. – М. : Изд-во стандартов, 2009. – 15 с.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, СОЗДАВАЕМОГО КОМПАКТНЫМИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМИ ЛАМПАМИ

Титов Е.В. – инженер, Мигалев И.Е. – инженер, Малашин М.Н. – студент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

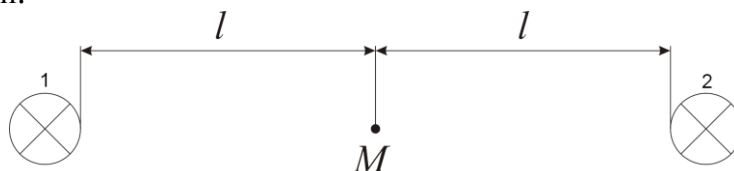
В настоящее время в России активно внедряются энергосберегающие технологии. В первую очередь осуществляется замена ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы, так называемые энергосберегающие. Эксплуатация таких ламп связана с рядом опасностей.

Во-первых, компактные люминесцентные лампы опасны для здоровья человека из-за содержания в них различных ядовитых веществ: ртути, фосфора. Во-вторых, уровень электромагнитного излучения (ЭМИ) таких ламп превышает предельно-допустимые уровни напряженности электрического поля, определенные в санитарных нормах [1-2].

Для анализа опасности электромагнитной обстановки в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова были проведены исследования ЭМИ от включенных энергосберегающих ламп моделей «Navigator» и «Zeon» с помощью приборов

ПЗ - 50 и ПЗ - 41 в разных частотных диапазонах на различном расстоянии от поверхности источников излучения. Указанные выше энергосберегающие лампы обладают следующими техническими характеристиками: лампа «Navigator»: 20 Вт, 220–240 В, 50/60 Гц; лампа «Zeon»: 15 Вт, 220–240 В, 50–60 Гц.

На рисунке 1 представлена схема проведения экспериментальных исследований, в соответствии с которой параметры электромагнитного поля в точке  $M$  измеряются в три ступени: 1) от энергосберегающей лампы фирмы «Navigator»; 2) от энергосберегающей лампы фирмы «Zeon»; 3) от обеих ламп одновременно на расстояниях  $l$  между измерителем и исследуемой лампой.



1 – энергосберегающая лампа «Navigator»; 2 – энергосберегающая лампа «Zeon»

Рисунок 1 – Схема экспериментальных исследований

В таблице 1 представлены результаты измерений напряженности электрического поля, характеризуемого превышением нормируемых значений [1-2], от энергосберегающих ламп моделей «Navigator» и «Zeon» на различных расстояниях.

Таблица 1 – Экспериментальные данные измерения напряженности электрического поля

| Частота излучения | Предельно-допустимый уровень, В/м | Расстояние между измерителем и лампой, см | Напряженность электрического поля, В/м |              |           |
|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|--------------|-----------|
|                   |                                   |                                           | Лампа «Navigator»                      | Лампа «Zeon» | Обе лампы |
| 50 Гц             | 500                               | 1                                         | 468                                    | 285          | 866       |
| 30 кГц            | 25                                | 1                                         | 418,33                                 | 310          | 758,34    |
|                   |                                   | 5                                         | 182,13                                 | 158,12       | 323,78    |
|                   |                                   | 15                                        | 71,59                                  | 55,2         | 108,35    |
| 3 МГц             | 15                                | 1                                         | 109,3                                  | 63,35        | 145,79    |
|                   |                                   | 5                                         | 50,3                                   | 30,03        | 76,43     |
|                   |                                   | 15                                        | 17,33                                  | 10,33        | 22,85     |
| 30 МГц            | 10                                | 1                                         | 61,18                                  | 72,2         | 128,25    |
|                   |                                   | 5                                         | 40,64                                  | 34,65        | 67,17     |
|                   |                                   | 15                                        | 12,87                                  | 9,34         | 16,86     |

Таким образом, экспериментальные данные доказывают превышение предельно допустимого уровня электромагнитного излучения в широком частотном диапазоне на расстоянии менее 15 см от работающей лампы. Этот феномен заставляет задуматься о необходимости проводить детальные исследования электромагнитных полей от подобных источников ЭМИ. Компьютерное моделирование позволяет расширить информативную основу состояния электромагнитной безопасности.

На рисунке 2 показана пространственная картина опасности электрического поля частоты 3 МГц (вид сверху) от энергосберегающих ламп моделей «Navigator» и «Zeon». На картине показаны зоны допустимого времени пребывания людей вблизи исследуемых ламп в исследуемом помещении в виде изоповерхностей, окрашенных в различные тона в зависимости от числового значения допустимого времени. Справа от картины указана шкала допустимого времени пребывания человека в различных зонах помещения, с помощью которой можно визуально определить потенциально опасные зоны в зависимости от цветового оттенка изображения в любой области моделируемого пространства.

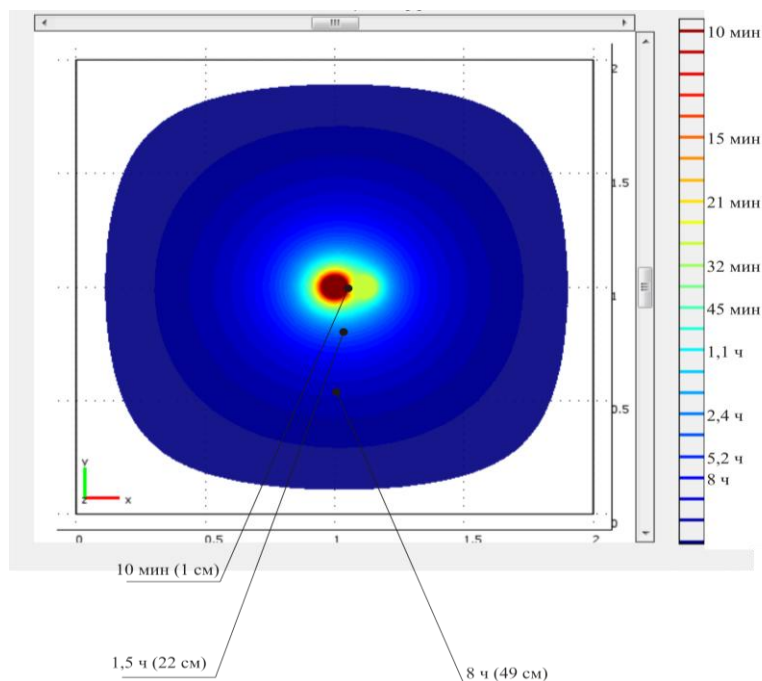


Рисунок 2 – Пространственная картина опасности ЭМИ от энергосберегающих ламп

Результаты измерений и компьютерного моделирования позволяют оценивать пространственную картину опасности ЭМИ для организации условий безопасного пребывания в помещениях за счет внедрения обоснованных мероприятий по улучшению и оздоровлению условий труда.

Список литературы:

1. СанПиН 2.1.8/2.2.4.2490-09. Электромагнитные поля в производственных условиях [Текст]. – Введ. 2009–05–15. – М. : Изд-во стандартов, 2009. – 15 с.
2. СанПиН 2.1.2.1002-00. Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям [Текст]. – Введ. 2001–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 13 с.

## МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В ПОМЕЩЕНИЯХ

Апанасенко И. С. - студент, Мигалёв И. Е. - аспирант

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Интенсивное использование электромагнитной и электрической энергии в современном обществе привело к тому, что в последней трети XX века сформировался новый значимый фактор загрязнения окружающей среды – электромагнитный. Электромагнитное поле искусственного происхождения является значимым экологическим фактором.

Отсюда следует необходимость измерять и нормировать присутствие электромагнитного излучения в рабочей зоне и его воздействие на человеческий организм.

В работе рассмотрены вопросы электромагнитной безопасности в зданиях, принципы обеспечения электромагнитной безопасности. Описана концепция комплексных исследований электромагнитной обстановки, измерений и контроля уровней электромагнитных полей, создаваемых в помещениях различными источниками электромагнитных излучений, разработанная силами кафедры ЭПБ в Алтайском государственном техническом университете им. И. И. Ползунова. Предлагается оригинальная методика анализа полученной картины поля.

Задача оценки и анализа электромагнитной обстановки вытекает из требований нормативных документов (СанПиН [1, 2]). Необходимо контролировать распределение

электрического и магнитного полей в исследуемом помещении на разных частотах, для чего целесообразно применить современную измерительную аппаратуру [3].

Полная картина поля не может быть сформирована лишь по результатам измерений. Необходимо моделирование электромагнитного поля (для этого рассматривается применение среды COMSOL Multiphysics [4]).

С использованием формул, приведённых в нормативных документах, для каждой расчётной точки помещения производится расчёт допустимого времени пребывания человека.

Затем проводится анализ помещения, по которому строится картина распределения времени допустимого пребывания уже в зонах (а не точках) помещения.

По результатам анализа можно предложить комплекс мероприятий по улучшению электромагнитной обстановки. В перечень предлагаемых мероприятий могут быть включены меры по реорганизации рабочих мест в помещении (концентрации источников полей повышенной опасности вдали от людей), а также экранирование некоторых областей помещения или источников электромагнитного поля.

Список литературы:

1. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [Текст]. – Введ. 2003–06–30. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 27 с.

2. СанПиН 2.2.4-2.1.8.055-96. Излучения радиочастотного диапазона. [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 2009.

3. Карякин, Р. Н. Основы электромагнитной совместимости [Текст]: учебник для вузов / Р.Н. Карякин, Л.В. Куликова, О.К. Никольский, А.А. Сошников, Н.Т. Герцен, Т.В. Еремина, А.А. Зайцев; под ред. Р.Н. Карякина; Алт. гос. тех. ун-т им. И.И. Ползунова. – Изд. 2-е, перераб. – Барнаул: ОАО «Алтайский дом печати», 2009. – 470 с.

4. Егоров, В. И. – Применение ЭВМ для решения задач (Comsol Multiphysics) [Текст]: учебное пособие / В. И. Егоров; СПб.: ИТМО, 2006.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ В ФУНКЦИИ ВРЕМЕНИ

Мигалёв И. Е. - аспирант

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Переменные электромагнитные процессы соответствуют уравнениям Максвелла [2, 4]. Решение системы дифференциальных уравнений Максвелла в пространстве является достаточно сложной задачей, но с развитием ЭВМ стали доступны численные методы, которые позволяют эффективно её решить.

Одним из таких методов, применяющимся на сегодняшний день, является метод конечных разностей во временной области (finite-difference time-domain method, далее метод FDTD) [5]. В основе метода лежит алгоритм Йи [6].

Суть конечно-разностных методов состоит в замене частных производных в каждой расчётной точке конечными разностями, зависящими от значений параметра в соседних расчётных точках. Рассматриваемый метод позволяет провести симуляцию (модельный эксперимент) и проследить эволюцию электромагнитного процесса во времени.

Метод FDTD основывается на уравнениях Максвелла для области, не имеющей свободных электрических и магнитных зарядов [7].

$$\text{Закон Фарадея: } \nabla \times \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\vec{M}.$$

$$\text{Закон Ампера: } \nabla \times \vec{H} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \vec{J}.$$

$$\text{Закон Гаусса для электрического поля: } \nabla \cdot \vec{D} = 0.$$

Закон Гаусса для магнитного поля:  $\nabla \cdot \vec{B} = 0$ .

Самый простой вариант алгоритма Йи позволяет моделировать развитие электромагнитного процесса внутри вещества, обладающего линейными изотропными недисперсными электромагнитными свойствами.

Метод FDTD позволяет задавать источники электрического и магнитного поля внутри рассматриваемой области пространства, а также симулировать электрические и магнитные потери в веществах.

Для отдельных компонентов векторов используется шесть связанных уравнений Максвелла [7]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial H_x}{\partial t} &= \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} - \sigma^m H_x - M_{sourceX} \right); \\ \frac{\partial H_y}{\partial t} &= \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} - \sigma^m H_y - M_{sourceY} \right); \\ \frac{\partial H_z}{\partial t} &= \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} - \sigma^m H_z - M_{sourceZ} \right); \\ \frac{\partial E_x}{\partial t} &= \frac{1}{\varepsilon} \left( \frac{\partial H_y}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial y} - \sigma^m E_x - J_{sourceX} \right); \\ \frac{\partial E_y}{\partial t} &= \frac{1}{\varepsilon} \left( \frac{\partial H_z}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial z} - \sigma^m E_y - J_{sourceY} \right); \\ \frac{\partial E_z}{\partial t} &= \frac{1}{\varepsilon} \left( \frac{\partial H_x}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial x} - \sigma^m E_z - J_{sourceZ} \right).\end{aligned}$$

Ключевой особенностью алгоритма Йи является расположение векторов напряжённости электрического и магнитного поля внутри вокселя (воксель – элементарный фрагмент пространства в конечно-разностных методах). Это может быть проиллюстрировано рисунком 1.

Векторы  $E$  и  $H$  разнесены не только в пространстве, но и во времени на половину модельного временного шага [7, 9, 10].

Метод FDTD предполагает задание частично рассеивающих или отражающих условий для граничных областей модельной области. Для моделирования помещения целесообразно разместить на границах модельной области, так называемые, идеально согласованные слои (perfectly-matched layers) [10, 11].

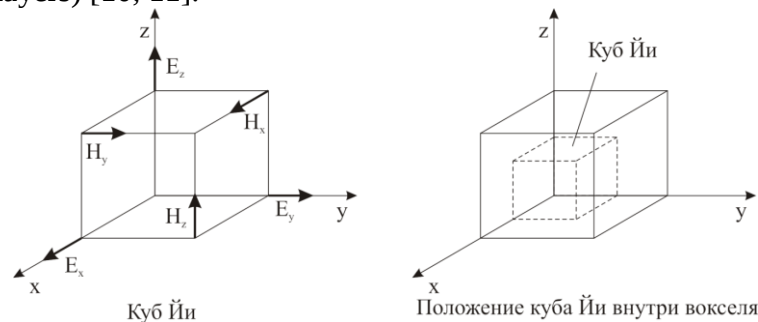


Рисунок 1 – Расположение векторов  $E$  и  $H$  на кубе Йи

Существуют готовые открытые и коммерческие реализации метода FDTD для моделирования электромагнитного поля, а также для других областей науки и техники (например, [12]). Эти реализации позволяют проводить анализ электромагнитных полей различных конфигураций в различных условиях, получать параметры поля для конкретных точек помещения или интегральные показатели. Также возможно графическое представление картины электромагнитной обстановки в любой момент времени (или интегрально для всего рассматриваемого промежутка времени).

После проведения отдельного модельного эксперимента с применением метода FDTD для каждого источника ЭМИ в помещении может быть выполнен анализ результирующего параметра поля от всех источников ЭМИ.

Список литературы:

1. Карякин, Р. Н. Основы электромагнитной совместимости [Текст]: учебник для вузов / Р. Н. Карякин, Л. В. Куликова, О. К. Никольский, А. А. Сошников, Н. Т. Герцен, Т. В. Еремина, А. А. Зайцев; под ред. Р. Н. Карякина; Алт. гос. тех. ун-т им. И.И. Ползунова. – Изд. 2-е, перераб. – Барнаул: ОАО «Алтайский дом печати», 2009. – 470 с.
2. Бинс, К. Анализ и расчет электрических и магнитных полей. [Текст] / К. Бинс, П. Лауренсон; Пер. с англ., М., «Энергия», 1970. – 376 с. с илл.
3. Копченова, Н. В. Вычислительная математика в примерах и задачах: Учебное пособие, 2-е изд., стер. / Копченова Н. В., Марон И. А.; СПб.: Издательство «Лань», 2008. – 368 с.
4. Ландау Л. Д. Теоретическая физика [Текст]: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. II. Теория поля. / Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. – 8-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 536 с.
5. Taflove and M. E. Brodwin (1975). "Numerical solution of steady-state electromagnetic scattering problems using the time-dependent Maxwell's equations". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 23 (8): 623–630. Bibcode 1975ITMTT..23..623T. doi:10.1109/TMTT.1975.1128640.
6. Kane Yee (1966). "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media". IEEE Transactions on Antennas and Propagation 14 (3): 302–307. Bibcode 1966ITAP...14..302Y. doi:10.1109/TAP.1966.1138693.
7. Taflove, Allen (2005). Computational Electrodynamics: the finite-difference time-domain method.–2nd ed. / Allen Taflove, Susan C. Hagness.
8. Гаврилом, В. Р. Кратные и криволинейные интегралы. Элементы теории поля / В. Р. Гаврилом, Е. Е. Иванова, В. Д. Морозова. Математика в техническом университете VII, издательство МГТУ имени Н. Э. Баумана.
9. Matthew N.O. Sadiku (2000). Numerical Techniques in Electromagnetics, Second Edition.
10. Sullivan, Dennis M. (2000). Electromagnetic simulation using the FDTD method / Dennis M. Sullivan: IEEE Microwave Theory and Techniques Society, sponsor.
11. J. Berenger (1994). "A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves". Journal of Computational Physics 114: 185–200. DOI:10.1006/jcph.1994.1159.
12. Deinega and S. John (2012), "Effective optical response of silicon to sunlight in the finite-difference time-domain method", Opt. Lett. 37, 112.

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ.

### ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ КАК СИСТЕМА

Русаков П.П. – студент, Куликова Л.В. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В Российской Федерации тема энергосбережения стала активно обсуждаться с выходом Федерального закона от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». В связи с этим многие сводят все к проведению энергетического обследования и составлению энергетического паспорта. Это неправильно, ведь энергоаудит является лишь одним из направлений энергосбережения. Обследования лишь выявляют нерациональное использование топливно-энергетических ресурсов. На рисунке 1 представлена общая структура энергосбережения и отмечены основные его направления.



Рисунок 1 – Система энергосбережения

Схема показывает, что ключевым моментом в этой системе является именно инжиниринг, то есть практическое энергосбережение. Программа мероприятий должна активно действовать, а не быть обычным отчетным документом.

Важную роль так же имеет создание эффективной системы энергоменеджмента, которая должна обеспечить управление ТЭР и рациональное их использование. Продвинуться в этом направлении также поможет внедрение в России международного стандарта ISO 50001:2011 «Системы энергоменеджмента - Требования с руководством по использованию».

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ В ЗДАНИЯХ

Семенов О.В. – студент, Воробьева С.Н. – аспирант, Воробьев Н.П. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Каждый пятый пожар, а это составляет 20% всех пожаров в России, происходит из-за электроустановок. Надежность электропроводки 0.4 кВ в значительной степени определяется качеством ее изоляционных конструкций, которые часто работают в весьма неблагоприятных условиях. В процессе эксплуатации изоляция подвергается одновременному воздействию сильных электрических полей, нагреву, влаге, механическим воздействиям, действию окружающей среды и т.д. Под действием этих факторов изменяются технические характеристики изоляционных конструкций.

Для обоснования выбора параметров для контроля остаточного ресурса электропроводки в зданиях и сооружениях нами исследованы влияющие факторы, которые необходимо учитывать, что отражено в таблице 1.

Таблица 1 – Обоснование выбора влияющих факторов при контроле остаточного ресурса электропроводки

| Влияющий фактор (в скобках приведены марки приборов для его измерения)                                                                  | Обоснование выбора влияющего фактора                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Измерение целостности цепей, используя испытательный ток 7 или 200 мА (MI 2123)                                                         | Все защитные проводники (включая заземляющие и проводники системы уравнивания потенциалов) не должны иметь обрывов и неудовлетворительных контактов в местах их присоединения к открытым и сторонним проводящим частям. При плохих контактных соединениях происходит нагрев изоляции, вследствие чего уменьшается нормативный срок ее службы.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Автоматическое распознавание и выбор фазного или междуфазного напряжения при вычислении ожидаемого тока короткого замыкания (MЗC - 300) | При коротком замыкании путь тока укорачивается, т. е. он идет, минуя сопротивление нагрузки, поэтому он может увеличиться до недопустимых величин, если электропроводка не отключится под действием защиты. Но электропроводка может не отключиться и при наличии защиты, если короткое замыкание случилось в удаленной точке, и из-за большого сопротивления до места короткого замыкания ток может быть недостаточен для срабатывания защиты. Но этот ток может быть достаточным для загорания проводов, что может привести к пожару. Большой кратковременный ток к.з. приводит к нагреву изоляции и, как следствие, ухудшению ее свойств, а также к сокращению остаточного ресурса электропроводки. За счет автоматического выбора фазного или междуфазного напряжения обеспечивается более точное вычисление тока короткого замыкания. |

Продолжение таблицы 1

| Влияющий фактор (в скобках приведены марки приборов для его измерения)   | Обоснование выбора влияющего фактора                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Проверка параметров УЗО (3102H EurotestXE 2.5кВ)                         | УЗО, входит в состав электропроводки (если оно установлено), и несоответствие его параметров паспортным данным приводит к продолжительным токовым перегрузкам в электропроводке и к снижению остаточного ее ресурса.                                                                                       |
| Измерение полного сопротивления линии и контура (3102H EurotestXE 2.5кВ) | Сопротивление проводникового материала линии и контура определяет качество электропроводки. Чем выше это сопротивление, тем меньше остаточный ресурс электропроводки.                                                                                                                                      |
| Измерение сопротивления заземляющих устройств (MPI - 511)                | Заземляющие устройства входят в состав электропроводки, соответственно, если будет большое сопротивление заземляющего устройства, то произойдет задержка времени отключения нагрузки автоматическими выключателями и предохранителями, что тоже приведет к уменьшению остаточного ресурса электропроводки. |
| Вычисление коэффициента абсорбции (MIC - 1000)                           | Если коэффициент абсорбции будет меньше 1,3, то изоляция считается влажной. Следовательно, ее эксплуатационный срок службы уменьшается.                                                                                                                                                                    |
| Вычисление                                                               | Если коэффициент поляризации будет меньше 2, то изоляция                                                                                                                                                                                                                                                   |

|                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| коэффициента поляризации (MIC - 1000)                                        | устарела и ее следует заменить.                                                                                                                                                                                                                                  |
| Измерение сопротивления изоляции цепей "фаза-ноль" и "фаза-фаза" (MPI - 511) | Сопротивления изоляции цепей "фаза-ноль" или "фаза-фаза" изменяется в процессе эксплуатации электропроводки, влияя тем самым на остаточный ее ресурс.                                                                                                            |
| Измерение сопротивления контактных соединений (MPI - 511)                    | Плохой контакт нагревается, нагрев может быть длительными и привести перегреву расположенного вблизи контакта участка изоляции электропроводки, установочного электрооборудования, проводникового материала, что ограничивает остаточный ресурс электропроводки. |
| Измерение сопротивления цепи "фаза - защитный проводник РЕ" (MPI - 511)      | Сопротивления цепи "фаза - защитный проводник РЕ" изменяется в процессе эксплуатации электропроводки, влияя тем самым на остаточный ее ресурс.                                                                                                                   |

Приведенные в таблице 1 приборы выдают разнородную информацию о состоянии остаточного ресурса электропроводки, которую трудно интерпретировать и обрабатывать.

Часть параметров по таблице 1 представлена числовыми значениями, а часть – нечеткими термами.

Для определения остаточного ресурса электропроводки нами разработана система нечеткой логики (в среде Fuzzy Logic), структурная схема которой приведена на рисунке 1.

В таблице 2 приведена классификация и описание влияющих факторов к рисунку 1.

Таблица 2 – Классификация и описание влияющих факторов по рисунку 1.

| Обозначение фактора | Описание фактора                                                                                                               |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| X1                  | Вычисление ожидаемого тока короткого замыкания (при автоматическом распознавании и выборе фазного или междуфазного напряжения) |

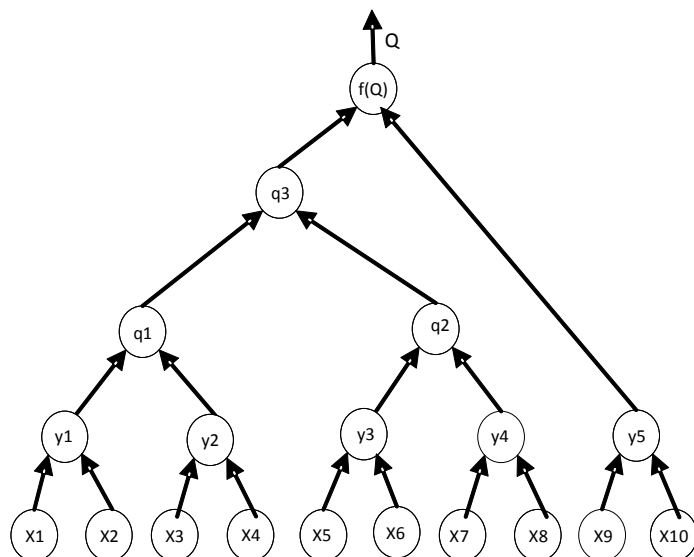


Рисунок 4.1 – Структурная схема системы нечеткой логики для определения остаточного ресурса электропроводки

Продолжение таблицы 2

| Обозначение фактора           | Описание фактора                                                                                                  |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| X2                            | Измерение целостности цепей, используя испытательный ток 7 или 200 мА                                             |
| X3                            | Измерение сопротивления изоляции цепей "фаза-ноль" и "фаза-фаза"                                                  |
| X4                            | Измерение сопротивления цепи "фаза - защитный проводник РЕ"                                                       |
| X5                            | Коэффициент значимости суммарного сопротивления контактов в общем суммарном сопротивлении линии                   |
| X6                            | Измерение сопротивления соединений заземлителей с заземляемыми элементами и устройствами выравнивания потенциалов |
| X7                            | Измерение сопротивления контактных соединений                                                                     |
| X8                            | Проверка параметров УЗО                                                                                           |
| X9                            | Качество изоляции по показателю коэффициента поляризации                                                          |
| X10                           | Качество изоляции по коэффициенту абсорбции                                                                       |
| y1,y2,y3,y4,y5,<br>q1, q2, q3 | Промежуточные корни дерева                                                                                        |
| Q                             | Корень дерева – остаточный ресурс электропроводки                                                                 |

Нечеткая модель состоит из управляющего m-файла (conp.m) и 9-ти систем нечеткого вывода: q\_y1.fis, q\_y2.fis, q\_y3.fis, q\_y4.fis, q\_y5.fis, q\_q1.fis, q\_q2.fis, q\_q3.fis, Q.fis.

Каждая система нечеткого вывода имеет по 2 входных фактора, непосредственно влияющих на остаточный ресурс электропроводки.

Выводы:

- Произведено обоснование выбора влияющих факторов при контроле остаточного ресурса электропроводки.

- Разработана система нечеткой логики для определения остаточного ресурса электропроводки.

Полученные результаты при их реализации помогут определить остаточный ресурс электропроводки (в годах), предотвратить выход из строя электропроводки и снизить материальный ущерб, связанный с простоем технологического оборудования, устранением последствий пожаров и ремонтом вышедшей из строя электропроводки.