

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

Андреев К.А. – студент, Маркова Т.А. – к.т.н., доцент  
Тульский государственный университет (г. Тула)

За последние тридцать лет масштабы использования энергии ветра возросли в десятки раз. Россия стоит в самом начале пути использования энергии ветра. Всплеск интереса к возобновляемым источникам энергии и широкое внедрение их в мировую практику во время мировых топливных кризисов Россию почти не задела, т.к. она обеспечена собственными топливными ресурсами. По всемирной таблице развития ветроэнергетики она находится где-то на тридцать втором месте. Сейчас в России установлено суммарно одиннадцать МВт мощностей ветроэнергетических установок (ВЭУ).

Энергетическая стратегия России возобновляемых источников энергии (ВИЭ) предусматривает увеличение потребления энергии к 2010 году до 60млн.т.у.т., а к 2020 году до 70 млн.т.у.т., хотя доля ВИЭ останется на прежнем уровне.

Расширение доли энергоустановок на ВИЭ в условиях рыночной экономики сложна. Сегодня преимущество возобновляемых источников энергии не всегда адекватно отражаются в рыночной стоимости, полученной от них энергии. Отсутствует государственное стимулирование, экологические выгоды в процессе выбора источника энергии.

Сейчас существуют некоторые сомнения относительно экономической эффективности ВЭУ и отсутствие надёжных серийных рынков ВЭУ. Требуются серьёзные исследования и создания наличия соответствующей технической базы. Существуют параметры для оценки стоимости ВЭУ. Параметры стоимости: удельная цена на топливо и удельные постоянные эксплуатационные расходы, срок службы ВЭУ, срок службы обычных электростанций и коэффициент преобразования тепловой энергии в электрическую определяют технические параметры.

Экономия топлива, которая возможно благодаря введению единичной установки в состав энергосистемы, возможность вытеснения менее эффективных и дорогостоящих генерирующих мощностей при сохранении того же уровня надёжности энергоснабжения, и выгода, связанная с уменьшением выброса в атмосферу вредных веществ от энергетических установок – всё это поможет оценить эффективность применения ВЭУ.

Правда применения ВЭУ имеет и негативные последствия. К ним можно отнести:

1. вред, наносимый животным и птицам. Правда его можно снизить, уменьшив частоту вращения ротора (один оборот за 4,5 -7 сек);
2. шум. Имеется два основных источника: механический и электрический, а так же аэродинамическая. В общем ВЭУ не слишком шумные машины (350 м от неё 35-45 дБ), поэтому как правило они расположены от домов на удалении 300 м;
3. визуальное воздействие. В настоящий момент это воздействие наиболее актуально и его довольно сложно оценить. В большинстве случаев это неприятие людьми изменений в ландшафте. Это решается устанавливанием ветротурбин на трубных башнях;
4. негативное влияние на прохождение радио - и телевизионных сигналов. Решением этой проблемы является закладывание алюминиевых проводников довольно значительного сечения во внутрь лопастей. Такие лопасти позволяют защититься от ударов молнии, а также становятся своего рода зеркалами для прохождения радио – и телесигналов [1].

ВЭУ вырабатывает такое количество энергии, какое в этот момент можно снять с ветрового потока. Мощность ветрового потока прямо пропорциональна кубу его скорости.

Например, если при скорости ветра 4 м/с ветровой поток развивает мощность около 40 Вт, то уже при скорости ветра 10 м/с мощность может достигать 850 Вт. Всю мощность ветра нельзя преобразовать в полезную. Эта величина не превышает 50%.

Так же можно воспользоваться экономическим критерием для выбора расчетной скорости для ВЭУ, которая является отношением выработанной энергии за год к

установленной мощности, то есть количество часов работы ВЭУ за год, приведенное к установленной мощности (приведенные часы).

$$\tilde{A} = A/N_y \text{ [кВт*ч/кВт]/год,}$$

где  $A = \sum N(V_i)t_i$  – суммарная выработка электроэнергии в течение года. Так как мощность ВЭУ  $N(V_i)$  зависит от скорости ветра, суммирование проводится по продолжительности последних.

Приведем ниже характеристики ВЭУ (табл. №1) [2].

Тип ВЭУ	ВЭТЭН-0.16	Радуга-001	ВТН-8	Радуга-1
Установленная мощность, кВт	0.16	1	8	1000
Расчетная скорость, м/с	-	7.1	10.5	13.6
Диаметр ветроколеса, м	1.6	4.5	6	48
Min скорость ветра, м/с	3.5	3	4.5	4.2
Мах скорость ветра, м/с	25	25	25	25

Таблица 1

Широкомасштабному использованию ветроэлектростанций препятствуют проблемы обеспечения качества генерируемой электроэнергии. Идёт несовпадение графика электропотребления с режимом выработки электроэнергии и так же необходимостью резервирования мощности ветроэлектростанций. Чтобы не было колебаний предлагается использовать аккумулятор энергии: электрические батареи, гидро – и воздухоаккумулирующие электростанции.

Существующие на данный момент методы не решают проблему гарантированного покрытия графика нагрузки энергосистемы. При этом происходит лишь сглаживание минутных, часовых, суточных и недельных колебаний потоков, вырабатываемой ветроэлектростанцией энергии. В годовом же разрезе комплексы «ветроэлектростанция + аккумулятор энергии» не рентабельны. Единственный способ покрытия пиковых нагрузок – это применение ветродизельных систем. Аккумулятор покрывает пиковую нагрузку, а дизельная установка – базисную и полупиковую.

Скорость ветра не постоянная величина. ВЭУ вырабатывает определенную мощность в различный момент времени. При скорости ветра ниже расчетной, мощность ВЭУ всегда ниже установленной. Установленную мощность ВЭУ выдает при выше расчетной скорости ветра. Если скорость ветра выше максимальной или ниже минимальной, то ВЭУ не работает.

Ветроэнергетика позволяет сокращать потребление ископаемых видов топлива и вредных выбросов в атмосферу. Россия имеет большие возможности, заложенные самой природой, чтобы занять первое место в ветроэнергетике. Формирование действенного механизма стимулирования и практического использования ВИЭ позволит замедлить темпы эксплуатации исчерпаемых ресурсов и заменить на возобновляемые источники энергии. Всё это позволит снизить нагрузку на окружающую среду.

#### Список литературы

1. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России. –М.: 2002.
2. Энергия: экономика, техника, экология. 2004. №10.

## ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6–35 КВ, РАСЧЕТ УСТАВОК НАПРАВЛЕННЫХ ЗАЩИТ

Баранова М. Е. – студентка, Маркова Т. А. – к.т.н., доцент  
Тульский государственный университет

Рассмотрим некоторые особенности расчета уставок направленных токовых защит в сетях с резистивным заземлением нейтрали на примере схемы, приведенной на рис. 1.

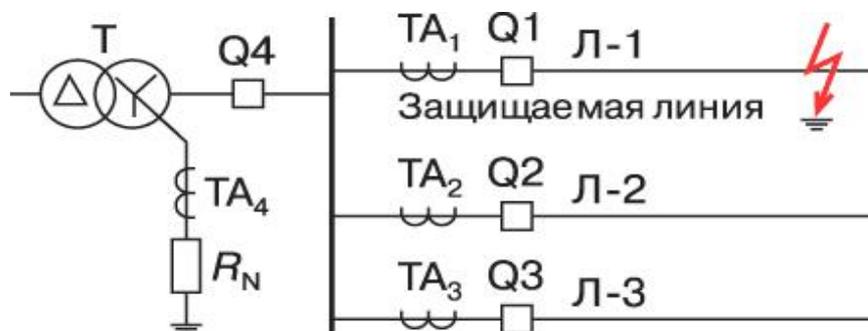


Рисунок 1. Схема сети

В сети установлен один заземляющий резистор – в нейтрали питающего трансформатора. На рис. 2 показано токораспределение при ОЗЗ в рассматриваемой сети. Силовой питающий трансформатор на схеме не указан. В рассматриваемой схеме следует установить как минимум два вида защит от ОЗЗ (однофазных замыканий на землю): на отходящих фидерах, на вводе.

**ЗАЩИТА ОТХОДЯЩЕГО ФИДЕРА.** В настоящее время на рынке представлено значительное количество устройств направленной защиты от ОЗЗ, которые могут быть использованы в резистивнозаземленных сетях по рис. 1, 2.

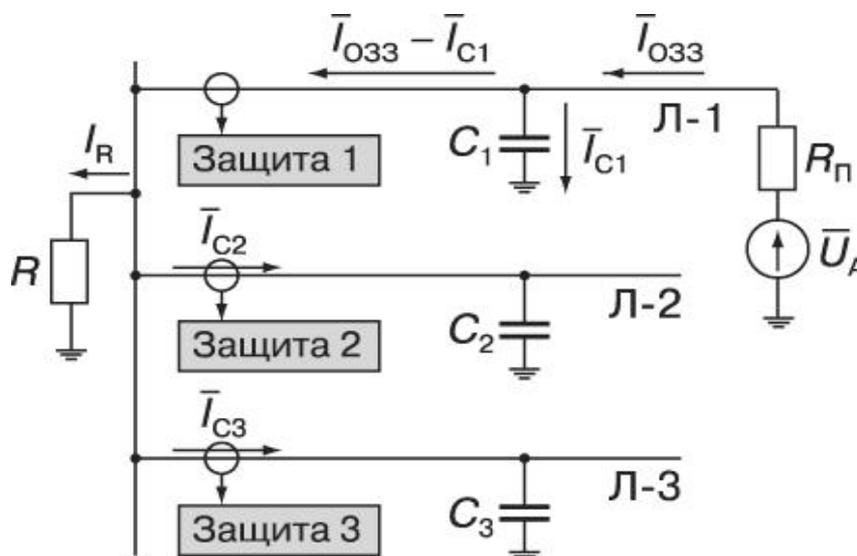


Рисунок 2. Токораспределение при ОЗЗ в сети при наличии заземляющего резистора

Наибольшее распространение получили направленные токовые защиты, реагирующие на составляющую промышленной частоты тока нулевой последовательности, с фазовыми характеристиками двух типов, изображенных на рис. 3. Фазовой характеристикой первого типа (рис. 3, а) обладает, например, защита типа УЗЛ производства НГТУ (похожую характеристику имеет также защита типа ЗЗН отечественного производства и ряд микропроцессорных импортных защит). Такие защиты реагируют как на активную, так и на емкостную составляющие токов ОЗЗ.

Фазовой характеристикой второго типа (рис. 3, б) обладают защиты, реагирующие только на активную (или только на емкостную) составляющую тока нулевой последовательности. Эти защиты также содержатся в некоторых импортных микропроцессорных терминалах. При выборе типа защиты следует иметь в виду, что характеристика первого типа обеспечивает работоспособность защиты не только в нормальном режиме – при наличии в сети заземляющего резистора, но и при выходе последнего из строя и работе сети в режиме с изолированной нейтралью. Защита при этом будет работать хуже, но в принципе останется работоспособной.

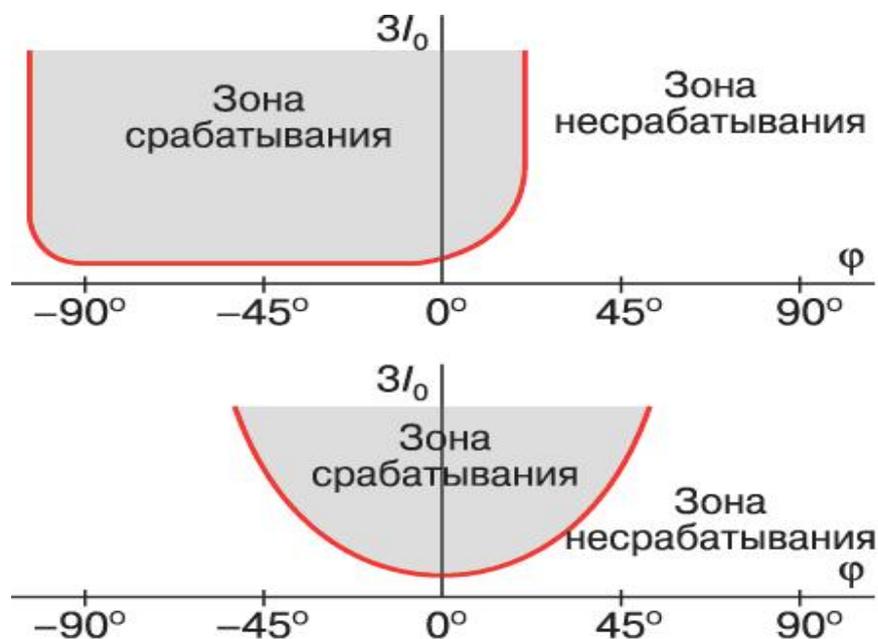


Рисунок 3. Фазовые характеристики направленных токовых защит от ОЗЗ, применяемых в резистивнозаземленных сетях:  
 а – характеристика первого типа, б – характеристика второго типа

Характеристика второго типа в большей степени соответствует самой идее использования заземляющего резистора – защита срабатывает только в том присоединении, по которому протекает активный ток этого резистора, т.е. идеально выявляет поврежденное присоединение. Однако при выходе заземляющего резистора из строя сеть остается без защиты от ОЗЗ. При применении таких защит целесообразно использовать надежные заземляющие резисторы, способные длительное время находиться под напряжением без опасности перегреться и выйти из строя. Не следует подключать резисторы через длинные кабели, которые могут часто повреждаться. Кроме того, защиты такого рода следует применять с кабельными трансформаторами тока нулевой последовательности, не дающими значительных угловых погрешностей. Применительно к микропроцессорным терминалам возможно одновременное использование обеих характеристик, например, переключаясь (автоматически или дистанционно по команде диспетчера) с одной характеристики на другую при изменении режима работы силовой системы.

Следует отметить, что при использовании любой из характеристик (рис. 3) в процессе монтажа и наладки защиты необходимо провести: фазировку цепей тока и напряжения. Следует убедиться в том, что полярность цепей тока и напряжения для каждого устройства защиты выдержана правильно и соответствующее устройство будет работать при ОЗЗ на защищаемом присоединении и не станет срабатывать при внешних ОЗЗ. Опыт работы показывает, что без такой проверки, сопровождающейся опытами искусственного ОЗЗ, невозможно быть полностью уверенным, что схема защиты собрана верно.

**ЗОНА СРАБАТЫВАНИЯ.** Для защиты с характеристикой первого типа эта зона должна с запасом охватывать диапазон углов от  $0$  до  $-90$  электрических градусов. Такая защита

должна правильно работать как при протекании по поврежденной ЛЭП только активного тока (например, если по условиям эксплуатации в работе осталась одна линия и на ней произошло замыкание), так и в режимах, когда заземляющий резистор по какой-то причине отключен и по линиям протекает лишь емкостная составляющая тока.

**ВЫБОР УСТАВКИ ПО ТОКУ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ  $I_{C3min}$ .** Это является следующим важным этапом расчета уставок. Как известно, минимальный ток срабатывания направленных токовых защит не требуется отстраивать от емкостного тока защищаемого присоединения при внешнем ОЗЗ (см. рис. 2). Его надо отстраивать от суммарного максимального тока небаланса  $I_{н.б.Σ}$ , который может протекать по рассматриваемому устройству защиты при внешнем ОЗЗ и вектор которого может располагаться в пределах зоны срабатывания защиты:

$$I_{C3min} = k_n I_{н.б.Σ} ,$$

где  $k_n$  – коэффициент запаса, значение которого можно принять равным 1,2 (для микропроцессорных терминалов иногда допускается  $k_n = 1,1-1,15$ ).

При расчете уставок защиты воздушной линии также необходимо рассчитать максимальное переходное сопротивление  $R_{ПЕР}$  (порядка 3–5 кОм), при котором защита будет способна отключить ОЗЗ и проверить, соответствуют ли они условиям эксплуатации.

**ВЫБОР УСТАВКИ ПО НАПРЯЖЕНИЮ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ  $U_{C3min}$ .** Опыт показывает, что небаланс по напряжению нулевой последовательности  $3\bar{U}_{0неб}$  чрезвычайно редко (при отсутствии феррорезонанса) превышает значение 2,5 В. В связи с этим можно принять  $U_{C3min} = 5-7,5$  В. При этом следует иметь в виду, что рассматриваемое устройство защиты от ОЗЗ будет чувствительнее стандартных устройств сигнализации по  $3\bar{U}_0$ , имеющих уставку порядка 20 В, т.е., например, при срабатывании защиты на сигнал устройство сигнализации может и не работать.

**ВЫБОР УСТАВКИ ПО ВРЕМЕНИ СРАБАТЫВАНИЯ  $t_{ср}$ .** Время срабатывания защиты отходящего фидера определяется несколькими факторами: видом силовой установки, наличием распределительных пунктов или подстанций, питающихся от изображенных на рис. 1 фидеров, и т.д. Возможны также постоянная выдержка времени, не зависящая от входных сигналов защиты, и «токозависимая» выдержка времени. Например, в схеме по рис. 1 в случае, если отходящие фидеры питают распределительные пункты (РП) или подстанции, необходимо выдержку времени выполнить на уровне 1–1,5 с, чтобы на питаемых РП можно было принять выдержку времени 0,5 с. Следует иметь в виду, что вследствие более высокой по сравнению с традиционными реле точностью работы микропроцессорных терминалов степень селективности для них может быть принята на уровне порядка 0,25 с.

**ЗАЩИТА ВВОДА.** К сожалению, на большинстве энергетических объектов (кроме шахт и карьеров) специальная защита вводов от ОЗЗ в настоящее время не предусматривается. При ОЗЗ на кабельной разделке защита соответствующего фидера не способна сработать, что может привести к весьма неприятным последствиям. Избежать этого можно с помощью защиты ввода, которая обеспечит правильную работу всей системы также при перепутывании фаз первичных проводников. Например, в случае, изображенном на рис. 1, такая защита может быть выполнена по признаку наличия на шинах напряжения нулевой последовательности  $3\bar{U}$  в течение времени, превышающего максимальную из выдержек времени отходящих присоединений.

Напряжение срабатывания такой защиты  $U_{ср.ввода}$  надо отстроить от максимального из напряжений срабатывания защит отходящих присоединений  $U_{C3,фидера}$ :  $U_{ср.ввода} = k_n U_{C3,фидера}$ , где  $k_n = 1,2$ . Если ввод представляет собой линию, запитанную от «предыдущей» подстанции, то защита ввода по напряжению  $3U_0$  может действовать неселективно при ОЗЗ «левее» (по рис. 1) сборных шин рассматриваемой подстанции. Тогда защита ввода должна быть выполнена в виде селективной токовой.

## УЛУЧШЕНИЕ СХОДИМОСТИ ДВУМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕЛА С ПОКРЫТИЕМ

Галиков Б.Ш. – аспирант, Кирсанов Ю.А. – д.т.н., в.н.с.

Исследовательский центр проблем энергетики КазНЦ РАН (г. Казань)

При решении задачи теплопроводности с неоднородными граничными условиями установлено, что ряды Фурье-Ханкеля сходятся неравномерно около границ рассматриваемого тела, вследствие чего происходит медленное убывание коэффициентов разложения при неограниченном возрастании их номера. Причина неравномерной сходимости заключается в том, что по своей природе эти ряды не могут удовлетворять неоднородным граничным условиям, хотя отдельные члены их удовлетворяют однородным граничным условиям. Устранение указанного недостатка особенно важно для задач с циклическими граничными условиями, так как начальные температурные поля в каждом из периодов определяются с учетом теплового взаимодействия тела со средами во всех периодах цикла. Известные методы улучшения сходимости отработаны на одномерных задачах.

В регенераторах находят применение насадки с покрытием из керамических материалов. Геометрические размеры и свойства покрытия оказывают влияние на тепловое состояние насадки и ее теплопередающую способность. Для учета влияния покрытия на теплопередающую способность насадки необходимо знание теплового состояния такой многослойной стенки.

Для определения температурного состояния твердого тела с покрытием (двухслойного твердого тела), рассматривается краевая задача нестационарной теплопроводности при граничных условиях третьего рода.

Решение исходной задачи для улучшения сходимости рядов Фурье-Ханкеля заключается в следующем. Берется квазистационарная задача с граничными условиями, соответствующими исходной задаче, производится поиск ее решения в виде ряда Фурье-Ханкеля и в замкнутой форме.

Вычитая из ряда, являющегося решением исходной задачи, решение квазистационарной задачи в виде ряда и прибавляя решение в замкнутой форме, получают искомое решение исходной задачи с улучшенной сходимостью рядов Фурье-Ханкеля.

Программная реализация полученного решения с улучшенной сходимостью на примере призмы показала, что температурные профили вблизи поверхностей тела, в отличие от решения без улучшения сходимости, имеют монотонный характер при относительно небольшом количестве членов рядов.

## АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА В СХЕМАХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ С ТЕРМИНАЛОМ RET 316 ФИРМЫ АВВ

Комардин Д.А. – студент, Дёмин В.К. – к.т.н., доцент

Тулский государственный университет

Терминал RET 316 включает функциональные блоки дифференциальной защиты, максимальной токовой защиты и ряд других. Область применения этого терминала определяется, в основном, возможностями функционального блока дифференциальной защиты.

Его следует применять на электрических станциях и других объектах для защиты трансформаторов собственных нужд, трансформаторов связи и блочных трансформаторов. При этом для защиты генераторов целесообразно использовать REG 316 или другой терминал с аналогичными функциями.

В электрических сетях и на электрических станциях данный терминал следует использовать для защиты трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов (в том числе автотрансформаторов связи).

Особенностью режимов электрических станций являются относительно большие времена  $T_a$  затухания аperiodических составляющих переходных токов по сравнению с распределительными сетями.

Нелинейная тормозная характеристика блока терминала описывается выражением (1):

$$I_{\Delta*} = v \cdot I_{H*} \quad (1),$$

где:  $I_{\Delta*}, I_{H*}$  - относительные значения дифференциального и тормозного токов по отношению к номинальному току;

$v$  - коэффициент торможения.

Тормозная характеристика представлена на рис.1.

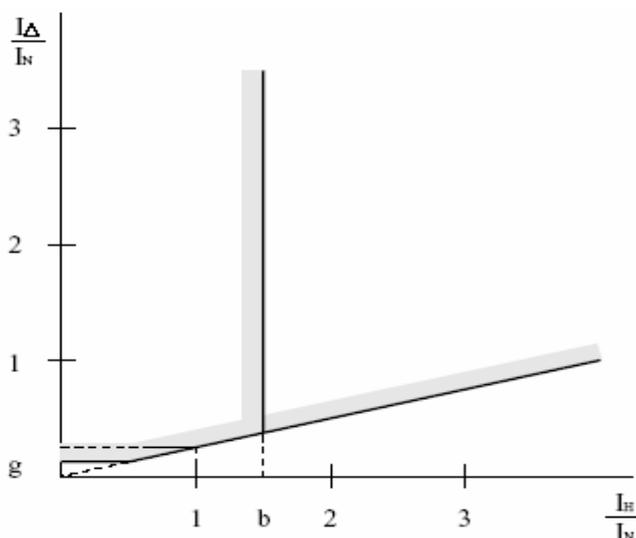


Рис.1 Тормозная характеристика блока дифференциальной защиты RET 316

Теперь более подробно разберёмся с работой трансформаторов тока в схемах данной дифзащиты. Насыщение трансформаторов тока (ТТ) при внешних КЗ вызывает увеличение токов небаланса дифференциальной защиты. С учетом этого полная погрешность ТТ в установившемся режиме не должна превышать 10% при максимальном токе внешнего КЗ (при максимальном сквозном токе) [2]. В переходных режимах внешних КЗ токи небаланса дифференциальной защиты, как правило, возрастают. Причем в переходных режимах значительные токи небаланса могут возникать и при небольших кратностях токов (порядка 1÷2 по отношению к номинальному току). Снижение переходных токов небаланса может быть достигнуто за счет снижения нагрузок на ТТ.

При анализе функционирования ТТ целесообразно использовать обобщенные параметры [1]. Основным таким параметром является предельная кратность  $K_{10}$  - наибольшая кратность первичного тока, при которой полная погрешность  $\epsilon$  в установившемся режиме при заданной вторичной нагрузке не превышает 10%.

Предельную кратность можно рассчитывать по приближенному выражению [3]:

$$K_{10} \approx \frac{B_{ПР} \cdot f \cdot w_2 \cdot S_M}{0.225 \cdot I_{2НОМ} \cdot z_2} \quad (2),$$

где:  $B_{ПР}$  – максимальное значение индукции в магнитопроводе ТТ при предельной кратности  $K_{10}$ ;

$f$  - частота напряжения сети;

$w_2$  – число витков вторичной обмотки;

$S_M$  – площадь поперечного сечения магнитопровода, м<sup>2</sup>;

$I_{2НОМ}$  – вторичный номинальный ток ТТ;

$z_2 = |z_{ОБМ2} + z_{НГ}|$  - модуль полного сопротивления ветви вторичного тока ТТ.

$B_{ПР} = 1,8$  Тл для магнитопроводов кольцевой формы, изготовленных из холоднокатаной стали марок 3411-3413.

При использовании терминала RET 316 можно полагать, что  $z_{НГ}$  практически определяется активным сопротивлением соединительных проводов между ТТ и терминалом защиты. Более точно значения  $K_{10}$  можно найти по кривым предельной кратности, приведенным в [2] или других материалах.

При отсутствии кривых предельной кратности и конструктивных параметров ТТ ( $w_2$  и  $S_M$ ) выражение (2) можно использовать для расчета предельной кратности на основе номинального значения предельной кратности  $K_{10\text{НОМ}}$  и номинального сопротивления нагрузки  $z_{НГНОМ}$ . Номинальное сопротивление нагрузки имеет  $\cos \varphi_{НГНОМ} = 0.8$ . Исходя из этого и используя выражение (2), получаем:

$$K_{10} = \frac{K_{10НОМ} \cdot \sqrt{(R_{ОБМ2} + 0.8 \cdot Z_{НГ.НОМ})^2 + (X_{ОБМ2} + 0.6 \cdot Z_{НГ.НОМ2})^2}}{\sqrt{(R_{ОБМ2} + R_{НГ})^2 + X_{НОМ2}^2}} \quad (3),$$

$$\text{где: } Z_{НГ.ОБМ2} = \frac{S_{НГ.НОМ}}{I_{2НОМ}^2},$$

$S_{НГ.НОМ}$  – номинальная мощность нагрузки ТТ.

Достаточно точный расчет реактивного сопротивления рассеяния вторичной обмотки ТТ  $X_{ОБМ2}$  представляет значительные трудности. Вместе с тем анализ, проведенный в [3], показывает, что практически для всех современных конструкций ТТ, применяемых в схемах дифференциальных защит трансформаторов, соблюдается условие:  $X_{ОБМ2} < \frac{R_{ОБМ2}}{2}$ .

Исходя из этого, в практических расчетах целесообразно поступать следующим образом: полагать в формуле (2)  $X_{ОБМ2} = 0$ , а значения  $K_{10}$ , рассчитанные при этом условии, принимать с запасом 10%. При  $X_{ОБМ2} = 0$  из выражения (3) имеем:

$$K_{10} = \frac{K_{10НОМ} \cdot \sqrt{R_{ОБМ2}^2 + 1.6 \cdot R_{ОБМ2} \cdot Z_{НГ.НОМ} + Z_{НГ.НОМ}^2}}{R_{ОБМ2} + R_{НГ}} \quad (4).$$

Переходные токи небаланса дифференциальных защит определяются как обобщенным параметром  $K_{10}$ , так и кратностью тока КЗ по отношению к номинальному току защищаемого трансформатора  $I_{НОМ.Т}$ . С учетом этого, наиболее общим параметром, от которого зависят токи небаланса, является приведенная предельная кратность  $K'_{10}$ , которая вычисляется по формуле:

$$K'_{10} = \frac{I_{НОМ.ТТ}}{I_{НОМ.Т}} \cdot K_{10} \quad (5),$$

где:  $I_{НОМ.ТТ}$  - первичный номинальный ток ТТ.

Примечание. В случае выполнения дифференциальной защиты трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения или автотрансформатора  $I_{НОМ.Т}$  для обмоток низшего напряжения следует находить по формуле:

$$I_{НОМ.Т} = \frac{m \cdot S_{НОМ.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ.СР}} \quad (6),$$

где:  $S_{НОМ.Т}$  - номинальная мощность трансформатора (автотрансформатора);  
 $m$  - отношение мощности обмотки НН к номинальной мощности  $S_{НОМ.Т}$ .

Следует отметить, что при внешнем КЗ на стороне НН трансформатора с расщепленной обмоткой НН или автотрансформатора даже при одинаковых  $K'_{10}$  со всех сторон могут появляться значительные токи небаланса. Это объясняется тем, что реальная кратность тока КЗ (по отношению к номинальному первичному току ТТ) со стороны ВН (или СН) получается значительно меньше, чем со стороны НН. С учетом этого, в дальнейшем требования к граничному значению параметра  $K'_{10}$  задаются отдельно для каждой из сторон защищаемого трансформатора (автотрансформатора).

Схема функционирования терминала RET316 предполагает использование групп ТТ звезда с нулевым проводом со всех сторон защищаемого трансформатора. Применение группы ТТ звезда с нулевым проводом приводит к снижению расчетной нагрузки ТТ (по сравнению с группой ТТ треугольник) и, соответственно, к возрастанию  $K'_{10}$  (при прочих равных условиях).

Проведенный анализ крайне важен для обеспечения правильного расчёта и выбора уставок, а также для проверки чувствительности дифзащиты, с целью обеспечения надёжной и динамически устойчивой работы трансформаторов связи, блочных трансформаторы, трансформаторы собственных нужд электрических станций, трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов.

#### Библиографический список

1. Дмитренко А.М. Учет переходных процессов при выборе параметров времяимпульсных дифференциальных защит трансформаторов (автотрансформаторов) // Электричество. 1995. №1.
2. Королев Е.П., Либерзон Э.М. Расчеты допустимых нагрузок в токовых цепях релейной защиты. - М.: Энергия, 1980.
3. Трансформаторы тока / В.В. Афанасьев, Н.М. Адоньев, В.М. Кибель и др. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / В.В. Ершевич, А.Н. Зейлигер, Г.А. Илларионов и др. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110 - 500кВ: Расчеты. - М.: Энергоатомиздат, 1989.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ЗАДАЧЕ  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СУТОЧНОГО ГРАФИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Поляков Е.С. – магистрант, Хрущев Ю.В. – д.т.н., профессор  
Томский политехнический университет (г.Томск)

Согласно Постановлению Правительства РФ №529 от 31.08.2006 г. [1] потребители-участники оптового рынка электроэнергии обязаны заявлять краткосрочные планы полных объемов почасового потребления электроэнергии. При осуществлении поставки электроэнергии отклонения фактического почасового потребления от заявленного приводят потребителей к уплате штрафов либо к покупке дорогостоящей электроэнергии на балансирующем рынке. В этих обстоятельствах значительно возросли требования к точности краткосрочного прогнозирования графиков электрической нагрузки предприятий.

Многономенклатурные промышленные предприятия, отличающиеся высокой динамичностью изменения номенклатуры и объемов суточного выпуска продукции, имеют, как правило, нестационарные суточные графики электрической нагрузки. Краткосрочное прогнозирование таких графиков затруднено, так как широко распространенные статистические методы прогнозирования в этих случаях не позволяют получить желаемую точность, а другие подходы и методы недостаточно разработаны.

Приемлемым представляется подход, основанный на эффективном использовании для прогнозирования актуальной информации о планируемых номенклатуре, объемах и временных интервалах суточного выпуска продукции. При развитом планировании производства на предприятии эта информация может быть получена.

Для осуществления перехода от планов суточного выпуска продукции к прогнозируемым суточным графикам нагрузки предлагается построение двухуровневой модели, позволяющей моделировать технологические процессы производства и соответствующие этим процессам потребление электроэнергии. Особенностью этого подхода является необходимость формирования и использования нечеткой информации на обоих уровнях модели. Соответственно и построение модели должно осуществляться в нечеткой постановке.

В докладе излагаются математические основы построения первого уровня модели на примере моделирования технологических процессов кабельного производства. Задачей моделирования технологических процессов кабельного производства, как предприятия с нестационарным графиком нагрузки, является получение информации о суточной занятости основного и вспомогательного оборудования в процессе производства. Основу этой информации составляют нечеткие количественные данные об активности электроприемников в каждый элементарный момент времени прогнозных суток.

Активность электроприемника – это степень его использования в производственном процессе. Под элементарным здесь понимается интервал времени, в течение которого мощность планируемого графика нагрузки принимается постоянной (часовые интервалы для планового почасового потребления). Понятно, что о прогнозируемой активности электроприемника можно говорить только с некоторой степенью достоверности. Под достоверностью здесь понимается оценочное значение вероятности. В теории нечетких множеств в качестве степени достоверности используется число из интервала  $[0, 1]$ . Нуль соответствует абсолютно недостоверному событию, единица – абсолютно достоверному.

Достоверность активности электроприемников в каждый элементарный момент времени прогнозных суток определяется на основе данных о планируемом выпуске продукции. Для каждого изделия эти данные представляют собой интервал на временной оси, в течение которого планируется выпуск продукции данного вида ( $\mu_1(t)$  на рис.1). В общем случае этот интервал будет иметь размытые (нечеткие) границы ( $\mu_2(t)$  на рис.1), которые вводятся на основе статистической или экспертной информации о точности выполнения заданий на выпуск продукции данного вида. Для определения количественных характеристик

активности электроприемников представим функцию  $\mu_2(t)$  как функцию принадлежности нечеткого числа [2], и эту функцию на каждом из элементарных интервалов времени ( $\mu_3(t)$  на рис.1) с целью получения для каждого из них достоверности выпуска продукции данного вида.

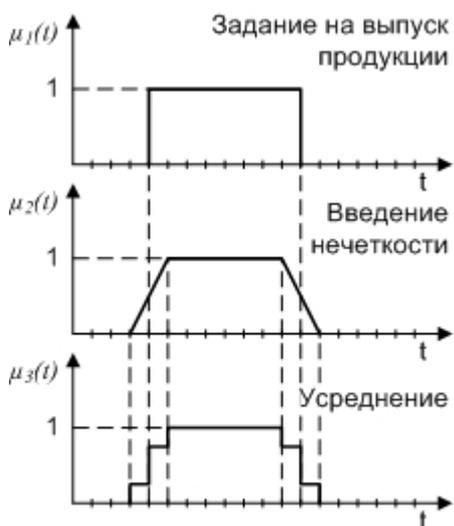


Рис.1. Получение данных о планируемом выпуске продукции

работе оборудования. Множество  $F$  является четким и дискретным (его экстенционал указывается явно через перечисление элементов). Подмножества  $F_a$  и  $F_c$  отвечают соотношениям  $F_a \cup F_c = F$ ,  $F_a \cap F_c = \emptyset$ .

Для определения величины, описывающей активность оборудования в каждый элементарный интервал времени прогнозных суток, используется множество единиц электропотребления (set of consumption units)  $C$ . Множество  $C$  является нечетким подмножеством, заданным на множестве  $F$ [2]. Функция принадлежности множества  $\mu_C(f)$ , где  $f$  – элемент множества  $F$ , описывает активность электрооборудования и абстрактных единиц прогнозирования только в рамках данного элементарного интервала времени. На рис.2 приведена функция принадлежности множества  $C$  (ненулевые значения), полученная при прогнозировании электропотребления оборудования цеха волочения медной и алюминиевой проволок (производство медной проволоки ММ 1-2,82мм, переработка скальпированной меди 4,5мм). Расшифровка номеров элементов  $f$  дана в таблице к рис.3.

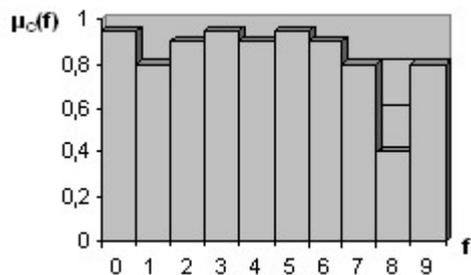


Рис.2. Функция принадлежности множества  $C$

Функция принадлежности нечеткого отношения  $\mu_R(f, g)$ , где  $f$  и  $g$  – элементы множества  $F$ , определяет достоверность влияния активности каждой единицы прогнозирования на активность остальных (прямо или опосредованно). Достоверность влияния задается единожды и используется алгоритмом прогнозирования для получения  $\mu_C(f)$ . Построение функции принадлежности  $\mu_R(f, g)$  является ключевой задачей при моделировании электропотребления в рамках данного подхода и производится путем

Следующим шагом является получение достоверности активности электроприемников в каждый элементарный момент времени. Взаимосвязи между планируемым выпуском продукции и электропотреблением оборудования дадим математическое представление посредством отнесения абстрактного понятия "задание на выпуск продукции" и конкретных электроприемников к одному множеству, которое названо множеством единиц прогнозирования (set of forecasting units)  $F$ . Подмножества  $F_a$  и  $F_c$  этого множества составляют абстрактные единицы прогнозирования (abstract forecasting units)  $f_a$  – "задание на выпуск продукции данного вида" или технологическая цепь, и электропотребляющие единицы прогнозирования (consuming forecasting units)  $f_c$  – основное и вспомогательное оборудование предприятия. Под технологической цепью здесь понимается конвейерное производство однотипного изделия без перерывов в работе оборудования.

Алгоритм получения  $\mu_C(f)$  основан на использовании в модели электропотребления нечеткого отношения (relationship)  $R$ , заданного на множестве  $F$  (нечеткое подмножество декартова произведения  $F \times F$ ). При этом используются операции  $t$ -нормы и  $s$ -нормы ( $t$ -конормы), определенные в [2], над степенями принадлежности элементов множества  $F$  множеству  $C$  и элементов декартова произведения  $F \times F$  отношению  $R$ .

анализа технологических процессов предприятия, а также при помощи анкетирования персонала, непосредственно задействованного при работе с оборудованием.

Нечеткое отношение  $R$  представляется в виде ориентированного графа (рис.3), где вершинами являются элементы множества единиц прогнозирования, а направленными ребрами – степень влияния активности начальной вершины на активность конечной. Граф построен ациклическим и разбит на подмножества (уровни, слои, ярусы), такие, что ребро графа может иметь направление только от верхнего яруса к нижнему [3]. Этим обеспечивается устойчивость работы алгоритма прогнозирования и прозрачность модели электропотребления.

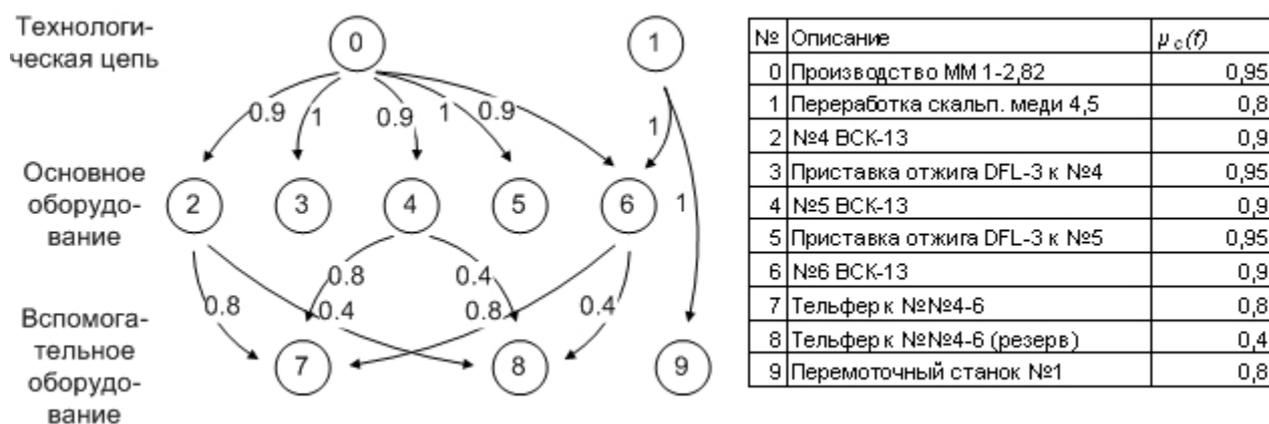


Рис.3. Нечеткое отношение  $R$  в виде ориентированного графа.

Приведенный на рис.3 фрагмент отношения  $R$  был использован при получении функции принадлежности  $\mu_c(f)$ , показанной на рис.1. В масштабе цеха необходимо выделить только трех уровней графа нечеткого отношения  $R$ : технологические цепи, основное производственное оборудование, вспомогательное оборудование. При этом исходными данными при получении всей функции принадлежности  $\mu_c(f)$  являются степени принадлежности элементов множества  $F$ , составляющих верхний уровень графа нечеткого отношения  $R$ , множеству  $C$  (позиции 0, 1 в таблице на рис.2). Определение достоверности активности электроприемников (то есть определение  $\mu_c(f)$ ) производится на каждом из элементарных интервалах времени.

Предлагаемый авторами подход к прогнозированию суточных графиков нагрузки многономенклатурных промышленных предприятий основан на моделировании технологических процессов предприятия. Модель технологических процессов позволяет прогнозировать активность электроприемников, количественно выраженную в терминах математического аппарата теории нечетких множеств. Исходными данными при осуществлении прогноза являются актуальные данные о планируемом выпуске продукции, что позволяет применять данный подход к предприятиям с нестационарными суточными графиками нагрузки.

Полученные результаты позволяют утвердительно оценивать осуществимость построения методики прогнозирования на основе принятого подхода и с достаточной уверенностью продолжать исследовательские работы в этом направлении.

Цитированная литература:

1. Материалы сайта РАО "ЕЭС России" <http://www.rao-ees.ru>
2. Блюмин С.Л. Нечеткая логика: алгебраические основы и приложения: Монография / С.Л. Блюмин, И.А. Шуйкова, П.В. Сараев, И.В. Черпаков. – Липецк: ЛЭГИ, 2002. – 113 с.
3. Домнин Л.Н. Элементы теории графов. – Пенза, 2004. – 139 с.

## **Система частотного управления (СЧУ) асинхронным двигателем на базе персонального компьютера.**

Разумов А.И. - аспирант, Куликова Л.В. - д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В течение последних нескольких лет широкого распространения и использования частотно – регулируемого привода (ЧРП) накоплен достаточный опыт, чтобы сделать определенные выводы по использованию данных устройств в различных отраслях народного хозяйства.

Так, например, в промышленности использование ЧРП весьма эффективно окупаемость установки данного оборудования составляет от нескольких недель до нескольких месяцев.

Использование ЧРП на объектах агропромышленного комплекса хотя пока мало изучено, но даже те немногие результаты, которые существуют на сегодняшний день в пользу применения регулируемого привода.

Учитывая обобщённый опыт внедрения и эксплуатации устройств частотного регулирования электроприводов, следует отметить, что зарекомендовали они себя как весьма надёжные устройства и проблем с ними немного.

И все таки преобразователи частоты (или как их еще называют инверторы) и автоматизированные системы управления на их основе имеют ряд существенных недостатков

1. Невозможность внесения изменений в программу управления инвертора;
2. Отдельный инвертор не позволяет сохранять параметры режимов работы (такие как частота, токи, напряжения работы двигателя в определенный момент времени и на всем промежутке работы);
3. Невозможность использовать один и тот же инвертор на двигателях различной мощности;
4. Невозможно создать автоматизированную систему управления группой двигателей, используя только лишь преобразователи, этих двигателей;

Хотелось бы остановиться на пунктах 2 и 4. Сохранять параметры работы двигателя возможно с применением персонального компьютера (ПК) и связи между ПК и инвертором посредством использования RS – 485 интерфейса. Также возможно построение системы управления группой двигателей с использованием ПК и настроенной связи посредством использования вышеупомянутого интерфейса. Принимая во внимание описанное выше актуально разработать систему отвечающую требованиям автоматизированной системы управления и не имеющей недостатков стандартных ПЧ.

### **Анализ устройства преобразователей частоты.**

Проведя краткий анализ устройства преобразователей частоты, удалось выяснить, что мощность инвертора напрямую зависит от мощности и типа применяемых полупроводниковых приборов. Система управления влияет на вид регулирования векторное, скалярное, частоту переключений силовых приборов (0,5 – 20 кГц), обрабатывает данные от термодатчиков, которые установлены в выпрямительном блоке и блоке полупроводниковых силовых приборов. Как правило СУ ПЧ обеспечивает следующие режимы управления:

- Бессенсорное векторное управление;
- Управление по вольт - частотной характеристике (V/F);
- ПИД - регулятор (PID);

Как упоминалось ранее для построения автоматизированной системы управления группой двигателей или технологическим процессом в целом, необходима установка преобразователя частоты на каждый двигатель, а затем посредством сетевого шнура и RS – 485 интерфейса инверторы присоединяют к ПК. Установка такой автоматизированной системы обходится «в копейчку». Возможность создания более приемлемой по цене и лишенной недостатков свойственных СУ ПЧ автоматизированной системы управления дала толчок для разработки системы управления асинхронными двигателями на базе ПК без применения ПЧ.

Для этого необходимо провести исследования адаптеров ПК, проанализировать работу операционной системы, на пригодность ее работы в режиме реального времени, провести анализ быстродействия процессора ПК,

### **Структура и параметры предлагаемой системы частотного управления (СЧУ).**

Особенность СЧУ заключается в системе управления, которая построена на базе персонального компьютера (ПК). Для системы управления разработано специальное программное обеспечение (ПО). Оно генерирует необходимый управляющий ШИМ - сигнал с заданной частотой дискретизации по нелинейному трехпозиционному закону. Сигнал транслируется на выходы (1, 2, 3) управляющего адаптера (УА).

Сигналы регулирования посредством цифро - аналогового и аналогово - цифрового преобразователей, входящих в архитектуру звукового адаптера, передавать посредством экранированного кабеля на вход блока гальванической развязки (БГР), обеспечивающего разделение низкочастотных и высокочастотных цепей. В качестве элементов БГР предполагается использовать оптические полупроводниковые приборы, так называемые оптопары.

При скалярном управлении приводом применяются датчики обратной связи (ДОС) откуда сигнал подается на вход управляющего адаптера

Система частотного управления может быть запрограммирована на различные режимы работы, предусмотрен также режим ручного управления т.е. изменение частоты происходит с помощью нажатия определенных клавиш.

Система частотного управления и объект управления должны быть соединены экранированным кабелем длиной не более 100 метров.

На рисунке 3 приведен алгоритм программы формирования ШИМ – сигнала в виде блок схемы.

При разработке программы были использованы один из самых современных языков программирования C++. Это один из фундаментальных языков программирования на котором пишутся большинство программ. Преимущества данного языка во – первых обширная библиотека различных команд и функций, во – вторых поддерживает возможности объектно - ориентированного программирования (ООП). Успех объектно-ориентированного программирования (ООП) объясняется предоставляемой им возможностью естественно имитировать реалии нашего мира, решать сложные проблемы, выдвигаемые жизнью.

При использовании данной СЧУ необходимо внести одно важное изменение в конструкцию преобразователей частоты. Инверторы совместимые с данной СЧУ предлагается выполнять модульно, т.е. каждый блок приведенный на рисунке 1 предлагается выполнять в виде отдельного самостоятельного узла (выпрямительный узел, узел фильтров, узел полупроводниковых силовых приборов и т.д.). Данное нововведение позволит более гибко подходить к вопросам комплектации технологических линий преобразователями частоты с позиций возможности дальнейшего наращивания производственных мощностей.

Так к примеру на определенной технологической линии установлены двигатели заданной мощности необходимо автоматизировать производство, установить преобразователи частоты. Проблема заключается в следующем в связи с ростом производства оборудование на данной технологической линии планируется заменить в течение ближайших трех лет на более мощное.

Для того чтобы автоматизировать такую линию предлагается выполнить следующие действия:

- Установить выпрямительный узел, рассчитанный на более мощное оборудование;
- Установить узлы фильтров, рассчитанные на более мощное оборудование;
- Установить узел полупроводниковых силовых приборов, рассчитанный на текущее оборудование;
- Установить и настроить систему управления, основанную на применении ПК.

- С установкой более мощного оборудования необходимо будет только приобрести новые узлы полупроводниковых силовых приборов, рассчитанные на новые мощности.

Вернемся к системе управления пожалуй стоит перечислить достоинства и недостатки данной СЧУ.

К достоинствам следует отнести следующее:

1. СЧУ позволяет легко вносить корректировки в рабочую программу для задания нового или изменения параметров существующего режима работы.
2. Существует возможность записи на жесткий диск всех контролируемых СЧУ величин для последующего воспроизведения или анализа.
3. Возможно управление двигателями различной мощности при исполнении преобразователя частоты в модульном варианте и задания необходимых параметров в управляющей программе СЧУ.
4. СЧУ позволяет управлять группой двигателей до 8 единиц включительно, используя при этом один лишь только ПК.
5. СЧУ является универсальной системой управления, которая позволяет управлять любым стандартным инвертором.

Как и любое технически сложное устройство предложенная система управления имеет ряд своих недостатков:

1. Работа с СЧУ не имеет достаточно накопленного опыта и не опробована на различных объектах и технологических процессах.
2. Основным недостатком СЧУ является операционная система, которая установлена на ПК. Для стабильной работы СЧУ необходима операционная система реального времени такая как Linux (которая сама по себе является малоизученной областью) и полная синхронизация СЧУ с операционной системой.
3. Невозможность построения СЧУ двигателей различной мощности без перехода на новый модульный тип преобразователей частоты.

Предложенная система управления имеет как положительные так и отрицательные стороны по сравнению со стандартным преобразователем частоты. Слабые стороны СЧУ как видно из контекста основываются на не совершенстве операционной системы «Windows», которая используется повсеместно, но для работы какого либо программного обеспечения в режиме «реального времени» данная ОС совершенно не приспособлена. Также возникают проблемы с проверкой работоспособности системы на конкретном примере, так как идея модульного исполнения преобразователя частоты находится только на стадии разработки, а промышленные преобразователи частоты слишком дороги для приобретения и постановки необходимых экспериментов, также не каждый преобразователь поддерживает возможность управления из вне.

СЧУ является сложной программной разработкой, она достаточно легко может быть изменена программно и достаточно точно подстроена под особенности любого технологического процесса. Но как любой программный продукт требует особых научных знаний в области программирования, знания языков программирования, знания устройства персонального компьютера, а также необходимых знаний в области высшей математики. Соответственно стоимость программных продуктов складывается из вышеперечисленных критериев.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКЛОУЗЕРОВ

Сергеева А.О. – студентка, Маркова Т. А. – к.т.н., доцент  
Тульский государственный университет

Исследования специалистов, как в России, так и за рубежом, свидетельствуют о том, что одним из наиболее эффективных способов повышения надежности электроснабжения в воздушных распределительных сетях является реализация автоматического подхода к управлению аварийными режимами, при котором обеспечивается полная независимость работы пунктов секционирования от внешнего управления. Этот подход также получил название децентрализованного. Каждый отдельный аппарат, являясь интеллектуальным устройством, анализирует режимы работы электрической сети и автоматически производит локализацию места повреждения и восстановление электроснабжения потребителей неповрежденных участков сети.

Наличие телемеханики в этом случае не влияет на выполнение основных функций пунктов секционирования в аварийных режимах и носит вспомогательный характер (оперативное управление, контроль параметров сети и т.д.), а, следовательно, требования к надежности каналов связи снижаются. Диспетчер видит конечное состояние на мнемосхеме – локализованный участок сети, все переключения и реконфигурации выполнены автоматически, без его участия. Всё, что необходимо сделать, – это направить на поврежденный участок ремонтную бригаду. Отсутствие человеческого фактора также является большим преимуществом. Время восстановления питания на неповрежденных участках сети сокращается до секунд, как следствие, снижается риск ущерба потребителям электрической энергии.

Аппаратом, отвечающим всем требованиям децентрализованного подхода, является реклоузер, представляющий собой совокупность вакуумного коммутационного модуля со встроенной системой измерения токов и напряжения и шкафа управления с микропроцессорной системой релейной защиты и автоматики (рис. 1).

Реклоузер выполняет:

- оперативные переключения в распределительной сети (местная и дистанционная реконфигурация);
- автоматическое отключение поврежденного участка;
- автоматическое повторное включение линии (АПВ);
- автоматическое выделение поврежденного участка;
- автоматическое восстановление питания на неповрежденных участках сети (АВР);
- автоматический сбор, обработку и передачу информации о параметрах режимов работы сети и состоянии собственных элементов.



Рисунок 1. Вакуумный реклоузер.

В реклоузере предусмотрена система фиксирования событий и диагностики состояния, которая предусматривает регистрацию всех событий, происходящих в реклоузере для последующего отображения этой информации, формирования журналов оперативных и аварийных событий и передачи по системе телемеханики.

Система осуществляет диагностику функционирования основных модулей и элементов шкафа управления, внутренних коммуникаций, проверяет состояние включения и отключения коммутационного модуля. При обнаружении неисправности формируется соответствующий сигнал (все сигналы разбиты на группы в соответствии с их смысловым значением).

Алгоритмы работы реклоузеров находят применение в самых различных схемах построения воздушных распределительных сетей. В каждом случае они позволяют решать конкретные задачи повышения надежности электроснабжения потребителей.

В большинстве случаев для автоматизации линии можно ограничиться 3–5 аппаратами. При проектировании могут использоваться классические подходы к выбору уставок РЗА. При двухстороннем питании необходимо использовать направленные защиты реклоузера с разными уставками в зависимости от направления потока мощности. Малая ступень селективности реклоузеров (0,1–0,2 с) позволяет в большинстве случаев использовать традиционный ступенчатый принцип согласования защит по времени. В сложных случаях, например при малой выдержке времени защиты на головном участке, для селективной работы реклоузеров могут быть использованы специальные алгоритмы работы защит и автоматики (координация зон, АПВ разной кратности).

Основным эффектом от применения реклоузеров является снижение недоотпуска электрической энергии потребителям и, как следствие, снижение возможного искового требования потребителей за невыполнение обязательств сетевой компании. Кроме этого, способность с применением реклоузеров обеспечить согласованный с потребителем уровень надежности электроснабжения в перспективе дает сетевой компании возможность получения дополнительной прибыли за счет повышения тарифа на электрическую энергию. Значительное сокращение времени поиска и локализации повреждения, а также выделение участка меньшей длины позволяет оптимизировать работу оперативного персонала.

Наиболее актуальны сочетания алгоритмов секционирования в сетях с односторонним и двухсторонним питанием и алгоритма разборки и сборки сети:

- **Заданный уровень надежности фидера.** При отсутствии на линии потребителей, требующих высокой надежности электроснабжения, реклоузеры могут быть установлены в качестве пунктов секционирования, обеспечивающих деление воздушной линии на несколько участков (рис.2). Такая расстановка аппаратов позволяет обеспечить заданный уровень надежности по фидеру в целом, облегчить поиск места повреждения и ускорить восстановление питания.

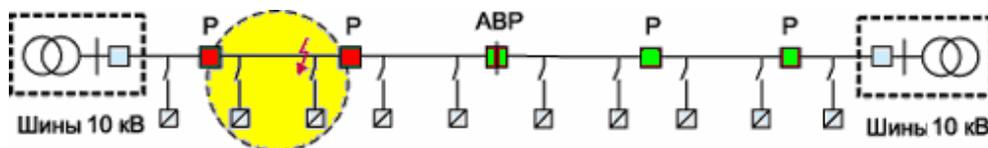


Рисунок 2. Алгоритм децентрализованной автоматизации "заданный уровень надежности"

- **Максимальная защита конкретного потребителя.** В случае наличия потребителей, требующих высокой надежности электроснабжения (например, береговые задвижки), предлагается установка реклоузеров, приведенная на рис.3. В этой схеме при наличии двух источников питания, при КЗ на любом участке вдольтрассовой линии электроснабжение потребителей сохраняется. В данном варианте можно обеспечить максимально высокую надежность каждого потребителя. Учитывая, что средняя протяженность отпайки на вдольтрассовой линии в основном не превышает

нескольких десятков или сотен метров, вероятность ее повреждения крайне незначительна, а следовательно, и надежность ее потребителя максимальна.

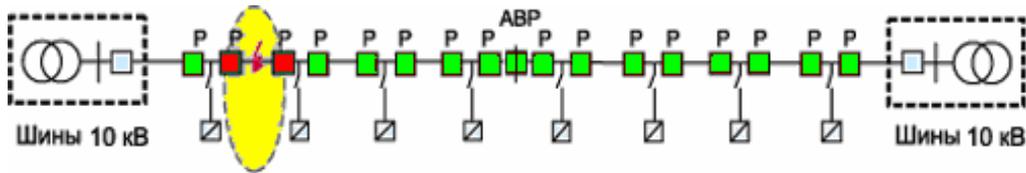


Рисунок 3. Алгоритм децентрализованной автоматизации "максимальная защита"

- **Комбинированный вариант.** Комбинируя первые два варианта установки реклоузеров на линии, можно добиться требуемой надежности электроснабжения потребителей (рис. 4). При таком расположении реклоузеров в линии можно обеспечить согласованный уровень надежности фидера в целом, а также максимально высокую надежность электроснабжения любого потребителя на линии.

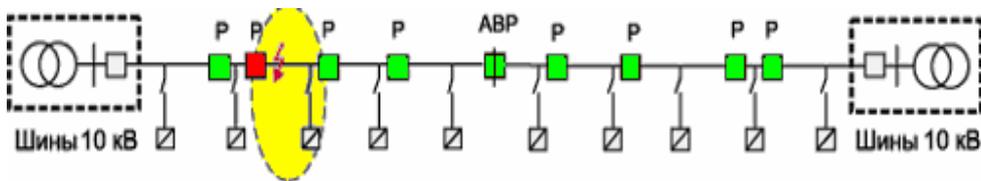


Рисунок 4. Алгоритм децентрализованной автоматизации "комбинированный вариант"

Также большой интерес представляют алгоритмы секционирования в сетях с двухсторонним питанием. В рассмотренных выше схемах реклоузеры могут быть установлены вместо управляемых разъединителей (рис. 5). Дополнительно участки между смежными секциями шин могут быть разделены на отдельные сегменты.

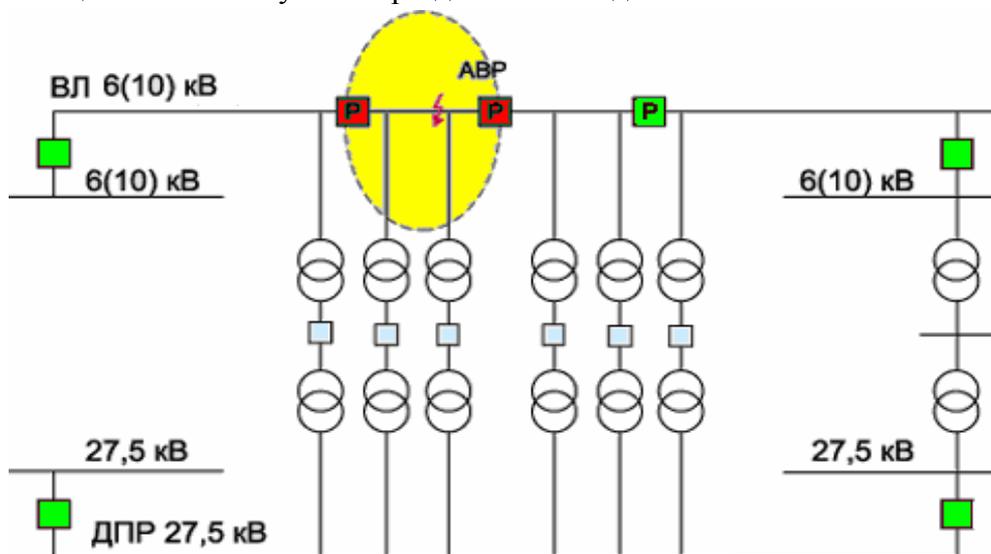


Рисунок 5. Вариант применения алгоритма секционирования в сети с двухсторонним питанием при встречно-консольном питании ВЛ

В заключение следует отметить, что это далеко не все возможные варианты применения реклоузеров в воздушных распределительных сетях среднего напряжения. Реклоузер может также использоваться в качестве головного выключателя на открытых распределительных устройствах и распределительных пунктах. С его помощью можно подключать новых потребителей и решать проблемы с субабонентами. Исключительная функциональность релейной защиты и автоматики, широкие возможности по диагностике параметров режимов работы сети, способность интегрироваться в любые системы телемеханики позволяют применять реклоузер для решения самых различных задач автоматизации аварийных режимов и управления распределительными сетями.

ВОЗРОЖДЕНИЕ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВОДЯНЫХ КОЛЕС ДЛЯ  
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В СИБИРСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ РФ  
Соколов А.В. – студент, Иванов В.М. – д.т.н., профессор  
ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им.И.И. Ползунова» (г.Барнаул)

Малая гидроэнергетика будет играть ключевую роль в развитии возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в Европе; еще большая роль может быть у малой гидроэнергетики в России, обладающей значительным гидроэнергетическим потенциалом. В условиях возрастающего потребления электроэнергии, принятия международных соглашений по сокращению выбросов парниковых газов (таких как Киотский протокол), роста ущерба окружающей среде от потребления ископаемого топлива, а также учитывая тот факт, что во многих европейских странах почти не осталось мест для строительства больших гидроэлектростанций (ГЭС), особый интерес проявляется к малой гидроэнергетике.

В этом столетии ожидается значительное увеличение потребления энергии. В то же время, нарастает озабоченность в вопросах защиты окружающей среды. В этом контексте малая гидроэнергетика имеет огромный потенциал, за счет которого может быть обеспечена потребность в энергии при минимальном влиянии на окружающую среду. Европа занимает лидирующие позиции в области малой гидроэнергетики и обладает лучшими современными технологиями в этой области энергетики. Европа является мировым лидером по установленной мощности малых ГЭС (МГЭС) и по вырабатываемой от МГЭС электроэнергии.

За пределами Европы существует возможность экспорта технологий, которая создает хорошие перспективы для европейских производителей.

Заглядывая в будущее, можно определить причины для поддержки малой гидроэнергетики:

- истощение ресурсов нефти и газа приведет к увеличению стоимости производства электроэнергии на тепловых электростанциях;

- при замещении тепловых электростанций малая гидроэнергетика является лидирующей технологией, обеспечивающей снижение выбросов парниковых газов; при вводе торговли квотами, тепловые электростанции будут производить все более дорогую энергию;

- высоковольтная передача энергии постоянного тока на большие расстояния становится дешевле и электросети становятся более общими и гармонизированными;

- рост населения мира, особенно в развивающихся странах, потребует соответствующей инфраструктуры для ирригации и водоснабжения; добавление малой гидроэнергетики в такие проекты экономически выгодно и не приводит к существенному влиянию на окружающую среду и социальную обстановку;

В настоящий момент около 20 000 неиспользуемых или разрушенных водяных мельниц в Великобритании и Германии восстанавливаются, как микро гидростанции, с планируемой выработкой электроэнергии до 1000 МВт. И хотя они не так эффективны как современные турбины низкого давления, и верхненаливные, и подливные водяные колеса гораздо дешевле построить, установить и обслуживать, причем они могут работать с разным режимом потока и с гидростатическим напором всего в 0,5 м. Сейчас около 3% всей электроэнергии Великобритании вырабатывается за счет эксплуатации МГЭС, к 2003 году планируется повысить эту цифру до 5%, а к 2008 году – до 10%.

Водяные колеса, эффективно используемые сейчас в Великобритании и Германии, можно условно разделить на два типа:

- верхненаливные колеса, когда вода подается на колесо сверху;

- подливные колеса, когда вода подается ниже оси вращения колеса.

С учетом эксплуатационного опыта можно сделать вывод о том, что верхненаливные водяные колеса можно рекомендовать для участков с расходом воды до 0,8 м<sup>3</sup>/с и с напором

2-7 м. Подливные водяные колеса могут эффективно использоваться для напора воды от 1 до 2 м с выходной мощностью до 45 кВт. Как результат сейчас по всей Европе растет число установленных преобразователей энергии для участков с небольшим гидроэнергетическим потенциалом.

Учитывая опыт строительства и эксплуатации МГЭС на базе водяного колеса авторы данных тезисов разработали проект по реконструкции и установке верхненаливного водяного колеса на Кольванском камнерезном заводе (рис. 1, 2), которое служило в качестве привода для механических станков в 17-18 в. В настоящий момент водяное колесо эффективно вырабатывает электроэнергию, которая идет на освещение ряда зданий. Технические характеристики разработанного колеса следующие:

- среднегодовой расход около 500 л/с;
- напор 6 м;
- вырабатываемая электрическая мощность 12 кВт при гидравлической мощности 50 кВт с общим КПД 60%.

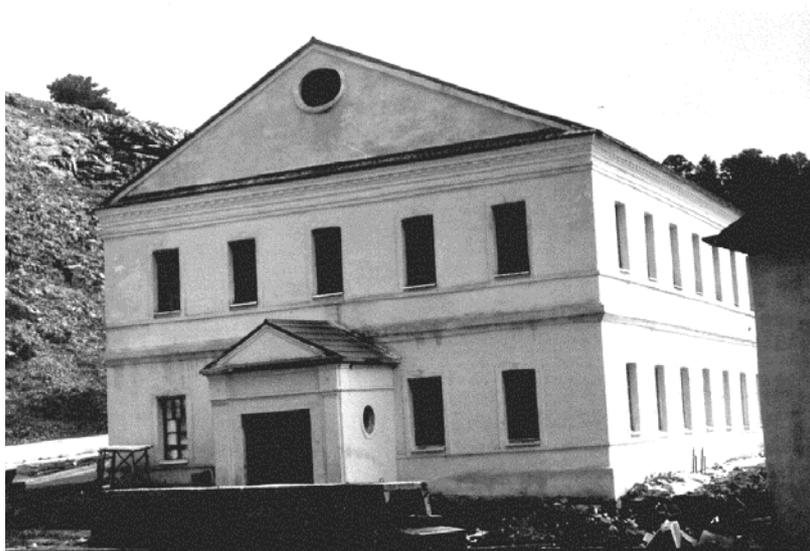


Рис. 1. Историческое здание Кольванского камнерезного завода



Рис. 2. Водоналивное колесо

Сибирский Федеральный округ обладает значительными гидроэнергетическими ресурсами, на пример в Алтайском крае протекает 17085 рек общей протяженностью 51004 км, из них 16309 (95 %) длиной менее 10 км и 776 (5 %) длиной более 10 км, в т.ч. 32 реки протяженностью более 100, из них 3 – более 500 км. Практически возле каждой реки расположены несколько малых населенных пунктов, туристических комплексов, фермерских хозяйств и др., которые испытывают острую потребность в электроэнергии, так как находятся в отдаленных и труднодоступных районах и не имеют централизованного энергоснабжения. Актуальным и наиболее оптимальным решением проблемы энергоснабжения данных объектов является внедрение МГЭС на базе водяных колес.

Привлекательность использования водяных колес как гидрогенератора, заключается еще и в возможности его использования на месте ранее существовавших водяных мельниц или гидротехнических сооружений для МГЭС. Тогда основные затраты на гидроэнергетический генератор будут составлять только стоимость водяного колеса, а так же его механических и электрических компонентов.

Укомплектованная верхненаливным или нижнебойным колесом установка, включая общую, механическую и электротехническую разработку с электрической мощностью 25 кВт стоит приблизительно 30-50% стоимости той же самой электростанции со стандартной турбиной.

Затрата на работу по общему проектированию можно оценить как 30-40% механической и электрической разработки, таким образом, более высокий процент затрат относится к гидравлическому венту и нижнебойному водяному колесу. Эти цифры, тем не менее, применимы только к ситуациям, где уже существуют плотины и достаточные перепады. Если же нужно строить плотины или увеличить напор, например, относительно нижнего уровня воды по течению, то затраты на работы по общей разработке могут достигать 80%.

Сэкономленные средства от установленных водяных колес и гидравлических винтов трудно оценить, поскольку нужно находить конкретные решения для каждого отдельного места. Нижнебойные колеса, с их большими размерами, уловителями мусора,

нуждающимися в автоматизации их очистки, бетонной «пастелью», приблизительно в два раза дороже верхненаливных колес.

Т.о., когда более 20% населения РФ не имеет централизованного электроснабжения, внедрение МГЭС позволит получать электроэнергию за счет использования потенциала малых рек и водотоков, улучшать условия жизни и работы людей, способствовать развитию местной промышленности, решать социальные проблемы, снизить экологический ущерб окружающей среде по сравнению с другими автономными источниками электроэнергии.

# ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

П.В. Тютёва

Томский политехнический университет (г. Томск)

## Введение

Разработка и внедрение регулируемого электропривода на основе асинхронных двигателей (АД) является одним из самых перспективных и экономически оправданных направлений из всех энергосберегающих технологий, емкость рынка преобразователей частоты для России составляет, по оценкам экспертов десятки млн. штук, в том числе несколько сот тысяч – для систем жилищно-коммунального хозяйства. Эффект будет более значительным в связи с тенденцией повышения цен на энергоносители. При этом если вопросу энергосбережения при внедрении регулируемого электропривода уделяется достаточное внимание, то вопросу создания специальных энергосберегающих АД, работающих в составе электропривода, внимания практически не уделяется. А ведь именно в АД происходят основные потери электрической энергии, возникающие при работе электропривода. При этом экономить энергию можно не только за счет регулировки частоты и напряжения питающей сети при изменении нагрузки, но и за счет снижения потерь в самом АД.

Целью данной работы является решение проблемы обеспечения энергосбережения с помощью асинхронных двигателей для регулируемого электропривода, которые являются основными преобразователями электрической энергии в механическую.

## Постановка задачи исследования

В последнее время появилось новое направление в создании энергосберегающих АД – это проектирование АД с большими, по сравнению с базовыми машинами, массогабаритными показателями. Для создания энергосберегающих АД для работы в системе регулируемого электропривода возможны следующие пути модернизации [1]: проектирование АД без изменения поперечной геометрии при изменении длины сердечников статора и ротора; проектирование АД без изменения поперечной геометрии при изменении длины сердечников статора и ротора, а также изменении обмоточных данных машины.

Для расчетов была разработана математическая модель оценки экономической эффективности при проектировании и изготовлении АД. Разработанная математическая модель охватывает основные этапы проектирования АД, а также включает в себя экономический расчет, позволяющий оценить оптимальность спроектированной машины на стадии изготовления и эксплуатации. Предложенную математическую модель использовать для расчетов любых АД средней мощности общепромышленного исполнения. Любой из этапов расчета может быть выполнен отдельно, на любом из этапов возможна корректировка. В качестве начальных данных была принята поперечная геометрия, а так же обмоточные данные базовых машин. Ограничивающими факторами расчета являлись коэффициент заполнения паза и тепловое состояние машины [2]. В качестве выходных данных математической модели приняты энергетические характеристики: КПД и коэффициент мощности, а также экономические показатели, такие как, приведенные затраты  $Z_m$  на разработку, внедрение, изготовление и эксплуатацию двигателя за нормативный срок окупаемости и годовые затраты на активные потери электроэнергии  $C_a$ . Критерием экономической эффективности при выборе наилучшего варианта служат наименьшие приведенные затраты  $Z_m$  на разработку, внедрение, изготовление и эксплуатацию двигателя за нормативный срок окупаемости [3]. Кроме того, принимается во внимание предварительная стоимость двигателя  $C_{двиг}$ , которая учитывает полную себестоимость двигателя, а также норму прибыльности предприятия производителя.

Задача моделирования заключается в том, чтобы определить его экономическую эффективность и принять решение о целесообразности энергосберегающих мероприятий при

минимальных затратах на совершенствование АД. Это является научной основой проектирования АД в современных условиях для обеспечения энергосберегающих технологий и при эксплуатации этих двигателей.

### Анализ результатов моделирования

Для моделирования был выбран АД с короткозамкнутым ротором АИР112М2, ему было отдано предпочтение, так как он чаще всего используется в жилищно-коммунальном хозяйстве. В качестве путей модернизации для создания энергосберегающих АД, использованных в данной работе, можно выделить следующие: увеличение длины сердечников статора и ротора ( $l$ ) без изменения числа витков обмотки статора ( $w_1$ ); увеличение длины сердечников статора и ротора и уменьшение числа витков обмотки статора. Изменение длины сердечников статора и ротора машины было взято в диапазоне от 100 % до 130 % от базовой длины, а изменение числа витков обмотки статора – от 100 % до 85 % от базового значения. На рис. 1 представлены результаты математического моделирования АИР112М2.

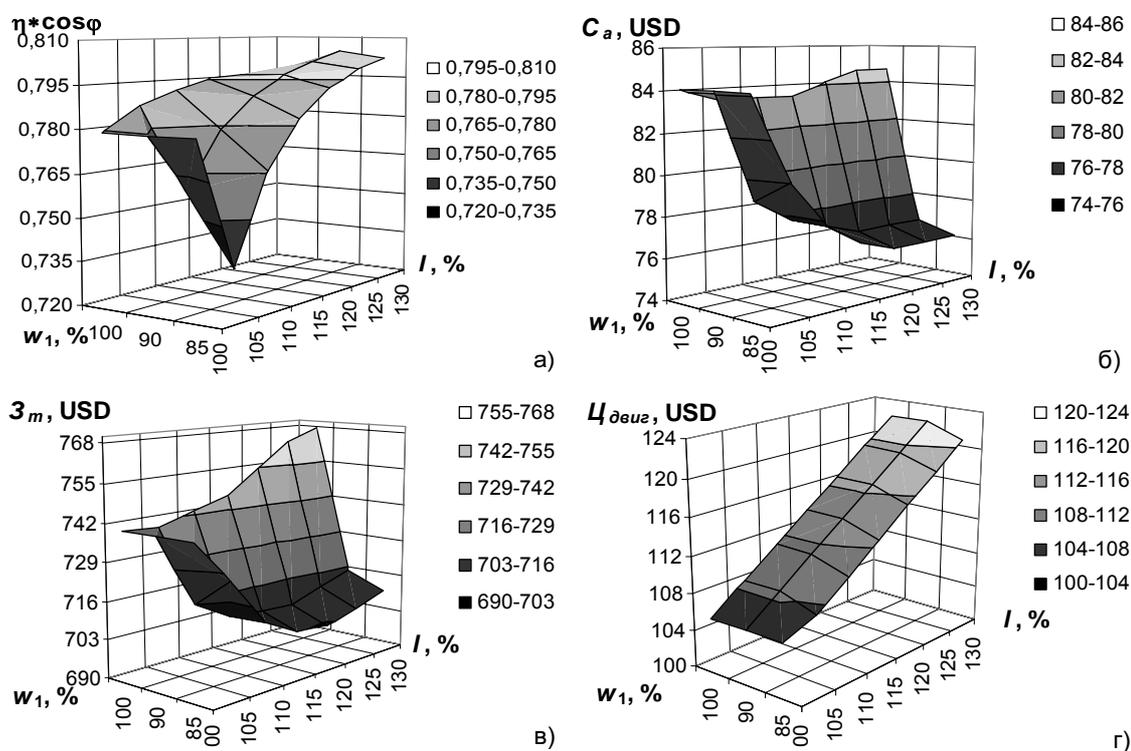


Рис. 1. Результаты математического моделирования для АИР112М2

На рис. 1 представлены следующие зависимости: а) – комплексный показатель эффективности  $\eta \cdot \cos\varphi$  в зависимости от длины сердечников статора и ротора при изменении  $w_1$ ; б) – годовые затраты на активные потери электроэнергии в зависимости от длины сердечников статора и ротора при изменении  $w_1$ ; в) – приведенные затраты на разработку, внедрение, изготовление и эксплуатацию асинхронного двигателя за нормативный срок окупаемости в зависимости от длины сердечников статора и ротора при изменении  $w_1$ ; г) – стоимость короткозамкнутого АД в зависимости от длины сердечников статора и ротора при изменении  $w_1$ .

Как видно из рисунка, с увеличением массогабаритных показателей АД происходит улучшение энергетических показателей за счет уменьшения электрических потерь в обмотках статора и ротора. При этом комплексный показатель эффективности оказываются выше, чем у базового двигателя для вариантов с одновременным изменением  $w_1$  и длины сердечников статора и ротора, наилучший комплексный показатель эффективности получается при уменьшении  $w_1$  на 10 % от базового значения. За счет улучшения

энергетических показателей происходит снижение годовых затрат на активные потери электроэнергии, которые являются основной статьей расходов при эксплуатации АД. Наименьшее значение активных потерь электроэнергии получается при уменьшении  $w_1$  на 15 % от базового значения. Приведенные затраты за нормативный срок окупаемости и годовые затраты на активные потери электроэнергии получаются наименьшие при уменьшении  $w_1$  на 15 %. Снижение приведенных затрат за нормативный срок окупаемости происходит за счет снижения годовых затрат на активные потери электроэнергии. При этом минимальные значения приведенных затрат приходятся на варианты расчета при одновременном изменении длины сердечников и числа витков в обмотке фазы статора. Как и ожидалось АД при всех вариантах расчета получается несколько дороже своего аналога за счет увеличения затрат на материалы, являющихся основными расходами включаемыми в себестоимость, но некоторое увеличение стоимости АД за счет увеличения расхода активных материалов компенсируется за счет уменьшения годовых затрат на активные потери электроэнергии.

### **Выводы**

Таким образом, в представленной работе реализован способ проектирования энергосберегающих АД при увеличении массогабаритным показателей. Разработана концепция совершенствования АД для энергосберегающих технологий. При этом лучшие энергетические показатели получаются не просто при увеличении длины сердечников, но и при одновременном изменении числа витков в фазе обмотки статора. Улучшенные энергетические характеристики позволяют уменьшить затраты приходящиеся на срок эксплуатации, что компенсирует увеличение стоимости асинхронного двигателя. Минимальное значение приведенных затрат на разработку, внедрение, изготовление и эксплуатацию асинхронного двигателя за нормативный срок окупаемости получается при уменьшении числа витков в обмотке фазы статора на 15 %, таким образом, спроектированные двигатели являются более выгодными с экономической точки зрения. Результаты анализа моделирования показывают, что увеличение длины сердечников свыше 115..120 % от базовой длины нецелесообразно. В дальнейшем предполагается реализация направления совершенствования АД, связанного с проектированием энергосберегающих АД при изменении поперечной геометрии статора и ротора. Изменение конструктивной основы базового двигателя позволит перейти на высокий уровень КПД, но модернизация АД в данном направлении будет сопряжено с проведением больших работ по созданию программного комплекса для проектирования и оценки эффективности при эксплуатации асинхронных двигателей, а так же увеличением стоимости их изготовления.

Научная новизна данного проекта заключается в том, что предлагается новая концепция проектирования АД в современных условиях для обеспечения энергосберегающих технологий и при эксплуатации этих двигателей. Это является характеристикой инновационной составляющей проекта. В разработке проекта заинтересовано ОАО «СКБ Сибэлектромотор», которое обеспечивает поддержку и проведение экспериментальных исследований.

### **Список литературы**

1. Муравлев О.П., Муравлева О.О., Тютеева П.В. Асинхронные двигатели как основа энергосберегающих технологий в регулируемом электроприводе// Актуальные проблемы ресурсо- и энергосберегающих технологий: Труды всеросс. НТК с межд. участием. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ – УПИ, 2006. – с. 286–291.
2. Сипайлов Г.А. и др. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах / Г.А. Сипайлов, Д.И. Санников, В.А. Жадан. – М.: Высш. шк., 1989. – 239 с.
3. Асинхронные двигатели общего назначения / Под ред. В.М. Петрова и А.Э. Кравчика. - М.: Энергия, 1980. – 488 с.