

ISSN 2072-0297



МОЛОДОЙ[®] УЧЁНЫЙ

международный научный журнал

СПЕЦВЫПУСК

Омского государственного
технического университета

Является приложением к научному журналу
«Молодой ученый» № 28 (132)



28.2
2016

16+

ISSN 2072-0297

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

Международный научный журнал

Выходит еженедельно

№ 28.2 (132.2) / 2016

Спецвыпуск

Омского государственного технического университета

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор: Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

Члены редакционной коллегии:

Ахметова Мария Николаевна, доктор педагогических наук

Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук

Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук

Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук

Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук

Абдрасилов Турганбай Курманбаевич, доктор философии (PhD) по философским наукам

Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук

Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук

Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук

Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук

Брезгин Вячеслав Сергеевич, кандидат экономических наук

Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук

Дёмин Александр Викторович, кандидат биологических наук

Дядюн Кристина Владимировна, кандидат юридических наук

Желнова Кристина Владимировна, кандидат экономических наук

Жуйкова Тамара Павловна, кандидат педагогических наук

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, кандидат педагогических наук

Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения

Калдыбай Кайнар Калдыбайулы, доктор философии (PhD) по философским наукам

Кенесов Асхат Алмасович, кандидат политических наук

Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук

Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук

Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук

Кузьмина Виолетта Михайловна, кандидат исторических наук, кандидат психологических наук

Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам

Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук

Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук

Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук

Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук

Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук

Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук

Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук

Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук

Паридинова Ботагоз Жаппаровна, магистр философии

Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук

Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук

Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук

Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук

Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук

Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук

Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук

Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук

Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г.

Журнал входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе eLibrary.ru.

Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory».

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Международный редакционный совет:

Айрян Заруи Геворковна, *кандидат филологических наук, доцент (Армения)*

Арошидзе Паата Леонидович, *доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)*

Атаев Загир Вагитович, *кандидат географических наук, профессор (Россия)*

Ахмеденов Кажмурат Максutowич, *кандидат географических наук, ассоциированный профессор (Казахстан)*

Бидова Бэла Бертовна, *доктор юридических наук, доцент (Россия)*

Борисов Вячеслав Викторович, *доктор педагогических наук, профессор (Украина)*

Велковска Гена Цветкова, *доктор экономических наук, доцент (Болгария)*

Гайич Тамара, *доктор экономических наук (Сербия)*

Данатаров Агахан, *кандидат технических наук (Туркменистан)*

Данилов Александр Максимович, *доктор технических наук, профессор (Россия)*

Демидов Алексей Александрович, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*

Досманбетова Зейнегуль Рамазановна, *доктор философии (PhD) по филологическим наукам (Казахстан)*

Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, *доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)*

Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, *доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)*

Игисинов Нурбек Сагинбекович, *доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)*

Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, *кандидат педагогических наук, заместитель директора (Узбекистан)*

Кайгородов Иван Борисович, *кандидат физико-математических наук (Бразилия)*

Каленский Александр Васильевич, *доктор физико-математических наук, профессор (Россия)*

Козырева Ольга Анатольевна, *кандидат педагогических наук, доцент (Россия)*

Колпак Евгений Петрович, *доктор физико-математических наук, профессор (Россия)*

Курпаяниди Константин Иванович, *доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)*

Куташов Вячеслав Анатольевич, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*

Лю Цзюань, *доктор филологических наук, профессор (Китай)*

Малес Людмила Владимировна, *доктор социологических наук, доцент (Украина)*

Нагервадзе Марина Алиевна, *доктор биологических наук, профессор (Грузия)*

Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, *кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)*

Прокопьев Николай Яковлевич, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*

Прокофьева Марина Анатольевна, *кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)*

Рахматуллин Рафаэль Юсупович, *доктор философских наук, профессор (Россия)*

Ребезов Максим Борисович, *доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)*

Сорока Юлия Георгиевна, *доктор социологических наук, доцент (Украина)*

Узаков Гулом Норбоевич, *доктор технических наук, доцент (Узбекистан)*

Хоналиев Назарали Хоналиевич, *доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)*

Хоссейни Амир, *доктор филологических наук (Иран)*

Шарипов Аскар Калиевич, *доктор экономических наук, доцент (Казахстан)*

Руководитель редакционного отдела: Кайнова Галина Анатольевна

Ответственный редактор спецвыпуска: Шульга Олеся Анатольевна

Художник: Шишков Евгений Анатольевич

Верстка: Голубцов Максим Владимирович

Почтовый адрес редакции: 420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

Фактический адрес редакции: 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

E-mail: info@moluch.ru; http://www.moluch.ru/.

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый».

Основной тираж номера: 500 экз., фактический тираж спецвыпуска: 16 экз.

Дата выхода в свет: 28.12.2016. Цена свободная.

Материалы публикуются в авторской редакции. Все права защищены.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

На обложке изображен *Филип Джордж Зимбардо*, известный американский социальный психолог, известный как автор Стэнфордского эксперимента.

Зимбардо родился в 1933 году в Южном Бронксе (США). По окончании Монгое High School он поступил в Бруклинский колледж и получил в нем степень бакалавра, затем защитил магистерскую и докторскую диссертации и получил степень доктора философии в Йельском университете.

В 1971 году в Стэнфордском университете в должности профессора Филип Зимбардо провел психологический эксперимент, в ходе которого 24 студента были разделены на группу «тюремных заключенных» и группу «тюремных надзирателей». В подвале факультета была оборудована «тюрьма», где и проводился эксперимент, который должен был продлиться две недели. Однако по этическим соображениям через шесть дней после начала эксперимент был прерван.

Стэнфордский тюремный эксперимент показал, что у людей, помещенных в определенные условия, не только

происходит «вживание» в роль, но и меняются психологические характеристики. Например, в группе «надзирателей» студенты начали испытывать, а затем и проявлять садистские эмоции. В психологическом состоянии участников группы «заключенных» преобладали депрессия и отчаяние. Результаты этого эксперимента привели к возникновению теории значимости социума в индивидуальной психологии. Подробное описание этого эксперимента вышло в свет только 35 лет спустя.

Используя полученные результаты, Филип Зимбардо начал разрабатывать новые приемы и методы, чтобы помочь людям преодолевать психологические барьеры и лечить различные расстройства. К примеру, успешными были работы Зимбардо по преодолению застенчивости как у детей, так и у взрослых, которые привели к основанию «Стэнфордской клиники застенчивости».

Людмила Вейса, ответственный редактор

СОДЕРЖАНИЕ

Аубакиров Р. Д., Вирайло А. О., Гаврилович Е. В. Пример расчета параметров ветроэнергетической установки для потребителя малой мощности.....	1	Бубенчиков А. А., Ковалев Г. А., Нурахмет Е. Е., Гафаров А. А., Бенке М. С. Анализ тепловых процессов в электрических сетях	38
Бенке М. С., Нурахмет Е. Е., Гафаров А. А., Ковалев Г. А. Целесообразность применения ветроэнергетических установок малой мощности с вертикальной осью вращения в Омском регионе	7	Бубенчиков А. А., Марчинский И. Ю., Овсянников А. Ю., Николаев М. В. Системы управления для системы автономного питания	44
Бубенчиков А. А., Горлинский Н. А., Щербинов В. В., Сикорский С. П., Кулак К. С. Концентраторы потоков для ветроэнергетических установок	10	Бубенчиков А. А., Овсянников А. Ю., Николаев М. В., Марчинский И. Ю., Шепелев А. О. Эффективность преобразования солнечной энергии	46
Бубенчиков А. А., Горлинский Н. А., Щербинов В. В., Сикорский С. П., Кулак К. С. Умные сети, Smartgrid. Автоматизация производства преобразования и распределения энергии	14	Бубенчиков А. А., Сикорский С. П., Кулак К. С., Горлинский Н. А., Щербинов В. В., Артамонова Е. Ю. Обзор подключения ветроустановок к системам электроснабжения для их эффективной работы.....	50
Бубенчиков А. А., Данилов Д. И., Шевченко Д. Ю., Вирайло А. О., Шепелев А. О. Обзор методов повышения пропускной способности линий электроэнергетических систем	18	Гаврилович Е. В., Данилов Д. И., Шевченко Д. Ю. «Умные сети» Smart Grid — перспективное будущее энергетической отрасли России	55
Бубенчиков А. А., Демидова Н. Г., Горянов В. И. Перспективы применения системы «Умный дом»	23	Данилов Д. И., Шевченко Д. Ю., Аубакиров Р. Д., Жиленко Д. М. Окупаемость мероприятий направленных на уменьшение потерь электрической энергии и повышения пропускной способности сети с применением проводов повышенной пропускной способности и устройств компенсации реактивной энергии	59
Бубенчиков А. А., Демидова Н. Г., Мальков Н. Г., Горянов В. И., Артамонова Е. Ю. Определение энергетических и аэродинамических характеристик ротора Савониуса	27	Николаев М. В., Овсянников А. Ю., Марчинский И. Ю. Опыт применения «умных сетей» в России. Технология Smartgrid	63
Бубенчиков А. А., Демидова Н. Г., Мальков Н. Г. Экологическая экспертиза ветроэнергетической установки	31	Нурахмет Е. Е., Гафаров А. А., Бенке М. С., Ковалев Г. А., Макаренко В. А. Выбор электрогенераторов для ветроэнергетических установок	68
Бубенчиков А. А., Киселёв Г. Ю., Скороходов В. И., Боева Л. В., Киселёв Б. Ю., Шкандюк Д. О. Ветроэнергетика как источник электрической энергии	35	Скороходов В. И., Шкандюк Д. О., Киселёв Г. Ю., Жиленко Д. М. Использование магнитных подвесов в ветроэнергетических установках	79

Скороходов В. И., Шкандюк Д. О., Киселёв Г. Ю. Разработка электрического термопреобразователя от солнечного коллектора.....81	Манакова Е. А., Гаилов И. А., Бычков И. А., Черкасова Т. А., Бубенчиков А. А. Применение редукторов в ветроэнергетических установках86
Бычков И. А., Черкасова Т. А., Манакова Е. А., Гаилов И. А. Анализ эффективности съёма энергии солнца в системе солнечный коллектор — солнечная панель.....84	Манакова Е. А., Гаилов И. А., Бычков И. А., Черкасова Т. А. Целесообразность внедрения технологий Smart Grid в сети с альтернативными источниками энергии87

Пример расчета параметров ветроэнергетической установки для потребителя малой мощности

Аубакиров Руслан Джамбулович, магистрант;
 Вирайло Александр Олегович, магистрант;
 Гаврилович Евгений Владимирович, магистрант
 Омский государственный технический университет

Определить пик промышленного потребителя энергии не представляет сложности, т.к. изначально известны мощность и график работы каждой единицы оборудования. Вычисление графика потребления и пика мощности частного потребителя энергии может быть проведено с той или иной вероятностью или прогнозированием в связи с непредсказуемостью графика энергозатрат. В связи с этим задача решается всегда индивидуально с соответствующими допущениями и приближениями.

Методика расчета

1. Расчет пиковой мощности. Определить в соответствии с руководством по эксплуатации мощность каждого прибора P_i (Вт), который может быть использован на исследуемом объекте и занести в таблицу. Определить с соответствующими допущениями простую вероятность включения прибора в различное время суток и отметить это в таблице, проставляя мгновенную потребляемую мощность утром, днем, вечером и ночью. Сложить данные столбцов мгновенной мощности P_i и получить пиковую мощность энергопотребления РП в конкретное время суток — утром, днем, вечером, ночью (P_y, P_d, P_v, P_n). Пример показан в таблице 1.1. Эти данные используются впоследствии для расчета номинальной мощности инвертора РИ.

$$P_i > \text{MAX}(P_y, P_d, P_v, P_n) \text{ Вт.} \quad (1.1)$$

Из практики известно, что реальная пиковая мощность подавляющего большинства объектов в конкретное время суток меньше суммы всех мощностей находящихся на объекте приборов, поскольку все электроприборы, как правило, не включаются одновременно. Тем не менее, могут быть исключения, которые должны приниматься во внимание разработчиком. При проведении расчетов допускается формальное увеличение пиковой мощности в конкретное время суток с целью создания «запаса» по мощности и прогнозирования увеличения энергопотребления в будущем.

2. Расчет потребляемой энергии. Определить с соответствующими допущениями время работы каждого прибора в конкретное время суток и занести данные в таблицу. Сложить данные столбцов «утро-день-вечер-ночь» для каждого электроприбора и умножить полученное значение на мощность прибора, получив энергопотребление

каждого прибора за сутки. Сумма энергопотребления всех приборов $E_{\text{сут}}$ будет являться количеством энергии, потребляемой объектом в сутки:

$$E_{\text{сут}} = P_i \sum_i \text{Вт ч.} \quad (1.2)$$

Эти данные используются впоследствии для расчета номинальной мощности ветроэнергетической установки и аккумуляторных батарей.

Рассмотрим задачу со следующими исходными данными:

Мощность приборов согласно руководствам по эксплуатации.

Найти:

Пиковую мощность и среднесуточное энергопотребление объекта.

Решение:

1. Расчет пиковой мощности конкретного объекта. Определим статус работы каждого электроприбора в соответствующем периоде суток (утро, день, вечер, ночь). Для этого составим таблицу присутствующих на объекте приборов аналогично Таблице 1.1 с указанием мощности электроприборов и мгновенной потребляемой мощности в каждый период суток. Найдем пик потребления электроэнергии соответственно в утренние, дневные, вечерние и ночные часы, как сумму мощностей всех используемых приборов. Определим наиболее высокий пик мощности P_n для каждого периода суток (пример показан в таблице 1.1):

- Утро: $P_y = 9520$ Вт;
- День: $P_d = 3170$ Вт;
- Вечер: $P_v = 14570$ Вт;
- Ночь: $P_n = 3240$ Вт;

Максимальная пиковая мощность за сутки $P_v = 14570$ Вт. Тогда мощность инвертора P должна быть $P_{\text{И}} > 14570$ Вт

Принимаем $P_{\text{И}} = 15000$ Вт = 15 кВт.

2. Вычислим потребляемую энергию всех периодов энергопотребления в течение суток, т.е. 24 часов. Для этого сложим данные столбцов «утро-день-вечер-ночь» для каждого электроприбора и умножим полученное значение на мощность прибора, получив энергопотребление каждого прибора за сутки в правом столбце таблицы. Найдем сумму полученных значений. Пример показан в таблице 1.2. Количество энергии, потребляемой объектом в сутки, показано в правой нижней ячейке таблицы:

$$E_{\text{СУТ}} = 20217 \text{ Вт} \cdot \text{ч.}$$

Таблица 1.1. Мощность электроприборов и мгновенная потребляемая мощность

Электроприбор	Установленная мощность P_i , Вт	Мгновенная потребляемая мощность P_i , Вт			
		Утро	День	Вечер	Ночь
Телевизор	400	400	0	400	0
Видеомагнитофон	140	0	0	140	0
Компьютер	300	0	0	300	0
DVD-плеер	100	0	0	100	0
Аудио-плеер	80	80	0	80	0
Посудомойка	2000	0	0	2000	0
Стиральная машина	700	0	0	700	0
Электроплита	1600	1600	0	1600	0
Микроволновая печь	1400	1400	0	0	0
Пылесос	1500	0	0	1500	0
Факс-аппарат	110	110	0	0	110
Лампы накаливания	1200	1200	1200	1200	1200
Люстра	400	400	0	400	0
Синтезатор	100	0	0	100	0
Электрочайник	1800	1800	0	1800	0
Утюг	1600	0	0	1600	0
Кофеварка	400	400	0	400	0
Миксер	250	0	0	250	0
Тостер	200	200	0	0	0
Фен	300	0	0	300	0
Телефонный аппарат	30	30	30	30	30
Сигнализация	40	0	40	0	0
Другие приборы	1500	1500	1500	1500	1500
Система обогрева	400	400	400	400	400
ИТОГО в пике P_n :	16550	9520	3170	14570	3240
		P_y	P_d	P_v	P_n

На это значение необходимо ориентироваться при дальнейшем расчете номинальной (установленной) мощности ВЭУ и емкости аккумуляторной батареи.

2. Определение мощности и занимаемой площади ВЭУ

Задача 2.1. Определение номинальной мощности ВЭУ
 Определить номинальную мощность ветроэнергетической установки для автономного энергоснабжения объекта с учетом средней скорости ветра в регионе и энергопотребления объекта.

Методика расчета

1. Определить среднюю скорость ветра в расчетном регионе на основании данных метеорологических служб. При этом необходимо иметь в виду, что данные метеостанций являются усредненными. В связи с этим в дополнение к этим данным можно руководствоваться привязкой к местному ландшафту (аэродинамические коридоры лесных массивов и горных цепей, поймы рек, продувные урбанизированные районы), соответствующим изменением климата в регионе (изменение направления и силы ветра, колебания температуры) и т.д. Средняя

скорость ветра v_{cp} выбирается на основе карты ветров. Более точные данные можно получить в соответствующих местных организациях. Кроме этого, существует методика расчета скоростей ветра по вероятному их появлению. Это более сложный путь, но результат, как правило, отличается от предыдущего на 10–15%.

2. Определить среднечасовое энергопотребление объекта на основе данных, полученных в Задаче 1.1 (формула (2.1)).

Потребление энергии в час составляет $E_{сут}$, деленное на 24 часа:

$$E_{час} = \frac{E_{сут}}{24} \text{ Вт}\cdot\text{ч}. \quad (2.1)$$

3. Определить номинальную мощность ВЭУ, которая может быть применена для энергоснабжения данного объекта. Мощность $P_{снец}$, развиваемая ВЭУ, составляет $E_{час}$, деленное на время потребления, т.е. на 1 час:

$$P_{снец} = \frac{E_{час}}{1} \text{ Вт} \quad (2.2)$$

Но это — мгновенная мощность, развиваемая ВЭУ на расчетной средней скорости ветра. Определив расчетную

Таблица 1.2. Энергопотребление приборов

Электроприбор	Установленная мощность P_r , Вт	Время использования T_r , час				Потребление электрической энергии Вт-час
		Утро 1 час	День 10 часов	Вечер 4 часа	Ночь 8 часов	
Телевизор	400	0,5	0	2	0	1000
Видеомагнитофон	140	0	0	2	0	280
Компьютер	300	0	0	1	0	300
DVD-плеер	100	0	0	1	0	100
Аудио-плеер	80	1	0	1	0	160
Посудомойка	2000	0	0	0,5	0	1000
Стиральная машина	700	0	0	1	0	700
Электроплита	1600	0,3	0	0,5	0	1280
Микроволновая печь	1400	0,2	0	0	0	280
Пылесос	1500	0	0	1	0	1500
Факс-аппарат	110	0,1	0	0	0,1	22
Лампы накаливания	1200	1	0,5	3	1	6600
Люстра	400	0,3	0	2	0	920
Синтезатор	100	0	0	1	0	100
Электрочайник	1800	0,1	0	0,2	0	540
Утюг	1600	0	0	0,5	0	800
Кофеварка	400	0,1	0	0,1	0	80
Миксер	250	0	0	0,1	0	25
Тостер	200	0,2	0	0	0	40
Фен	300	0	0	0,1	0	30
Телефонный аппарат	30	6	6	6	6	720
Сигнализация	40	0	6	0	0	240
Другие приборы	1500	0,5	0,5	0,5	0,5	3000
Система обогрева	400	2	2	2	2	3200
ИТОГО:	16550	13,3	16	26,5	10,6	20217

скорость ветра по данным локальной метеостанции или проведя собственные вычисления, по таблице 2.2 по средней скорости ветра найти мгновенную мощность ВЭУ $P_{\text{мгнВЭУ}}$, развиваемую на этой скорости ветра конкретной ВЭУ. Поиск осуществляется по столбцам средней скорости ветра с определением данных, удовлетворяющих условию

$$P_{\text{мгнВЭУ}} \geq P_{\text{спец}} \text{ Вт} \quad (2.3)$$

В ряде случаев можно поставить не одну, а несколько ветроэнергетических установок (ветропарк). Такое решение обуславливается тем, что чем меньше установка, тем на меньших ветрах она стартует и, соответственно, на меньших ветрах начинается выработка электроэнергии. После этого принять номинальную мощность выбранной ВЭУ за основу для дальнейших расчетов.

Пример расчета 1.

Исходные данные:

Расчетный регион — Омская область;

Данные решения Задачи 1.1.

Найти:

Номинальную мощность ветроэнергетической установки для автономного энергоснабжения объекта.

Решение:

1. Определим среднюю скорость ветра в регионе на основе данных метеослужб:

$$v = 3 \text{ м/с}$$

Аналогичный расчет может быть проведен с использованием других методик.

2. Среднесуточное энергопотребление объекта из Задачи 1.1

$$E_{\text{сут}} = 20217 \text{ Вт} \cdot \text{ч.}$$

Таблица 2.1. Мощность и выработка энергии ВЭУ-3 (Номинальная мощность $P_{\text{ВЭУ-3}} = 3 \text{ кВт}$)

Скорость ветра v , м/сек	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Мгновенная мощность $P_{\text{мгнВЭУ}}$, Вт	60	200	400	700	1100	1700	2500	2900	3300	3400
Суточная выработка $E_{\text{сутВЭУ}}$, кВтчас	1,4	4,8	9,6	16,8	26,4	40,8	60,0	69,6	79,2	81,6

Соответственно, $E_{\text{час}}$:

$$E_{\text{час}} = \frac{E_{\text{сут}}}{24} = \frac{20217}{24} = 842 \text{ Вт}\cdot\text{ч.}$$

$$P_{\text{снег}} = \frac{E_{\text{час}}}{1} = \frac{0,842}{1} = 842 \text{ Вт.}$$

Найдем подходящую ветроэнергетическую установку из таблицы 2.1. Имея в виду, что в континентальном климате лучше выбрать малые ветроустановки в связи с более продуктивной работой на слабых ветрах, выбираем ВЭУ-3 в количестве 15 шт.

$$15 \cdot P_{\text{мгнВЭУ}} \geq P_{\text{снег}} \text{ или}$$

$$15 \cdot 60 \geq 842$$

Проведем проверку. Общая суточная выработка каждой ВЭУ-3 будет

$$E_{\text{сутВЭУ}} = 1,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Суммарная выработка пятнадцати ВЭУ-3:

$$E_{\text{сут2ВЭУ}} = 1,4 \cdot 15 = 21 \text{ кВт}\cdot\text{ч.} = 21000 \text{ Вт}\cdot\text{ч.}$$

Это удовлетворяет условиям выражения (2.1), поскольку

$$E_{\text{сутВЭУ}} \geq E_{\text{сут}} \text{ или}$$

$$21000 \text{ Вт}\cdot\text{ч.} \geq 20217 \text{ Вт}\cdot\text{ч.}$$

4. Таким образом, в процессе расчетов в качестве энергогенерирующего оборудования выбрана ветроэнергетическая установка ВЭУ-3 в количестве 15 шт. Номинальная (установленная) мощность каждой установки составляет 3 кВт.

Задача 2.2. Определение площади, занимаемой ВЭУ

Определить площадь поверхности земли, занимаемой ВЭУ.

Методика расчета

1. Определить площадь, занимаемую непосредственно самой ветроэнергетической установкой. Она складывается из площади сечения мачты S_M и площади, занимаемой растяжками S_p .

Площадь сечения мачты S_M :

$$S_M = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (2.2)$$

где S_M — площадь сечения нижнего основания мачты; d — диаметр трубы мачты

2. Определить площадь S_p , занимаемую растяжками. Такие расчеты ведутся только для мачт с растяжками. Для мачт без растяжки эта площадь равна нулю.

Растяжка мачты натягивается под углом Ω к оси мачты (рис. 2.1).

Диаметр, на котором расположены фундаменты растяжек (диаметр растяжек) D_p находится через длину мачты h (рис. 2.1):

$$D_p = 2 \cdot h \cdot \sin(\Omega) \quad (2.3)$$

Площадь, занимаемая растяжками, представляет собой треугольник (в случае когда растяжки три) или квадрат (когда растяжки четыре) согласно схеме расположения фундамента мачты и растяжек, рис. 2.2.

Площадь, занимаемая растяжками, вычисляется как площадь вписанного в окружность $S_{окр}$ квадрата $S_{кв}$ со сторонами $L_{кв}$:

$$S_p = S_{кв} = L_{кв}^2 = \frac{S_{окр}}{\pi \cdot 0,5} = \frac{\pi \cdot D_p^2}{\pi \cdot 4 \cdot 0,5} = \frac{D_p^2}{2} \quad (2.4)$$

Пример расчета 1

Исходные данные:

Диаметр трубы мачты $d = 180$ мм;

Высота мачты $h = 12$ м;

Угол растяжки $\Omega = 300$.

Найти: Площадь поверхности земли (территории), занимаемой ВЭУ.

Решение:

1. Определим площадь S_M , занимаемую мачтой:

$$S_M = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,18^2}{4} = 0,02 \text{ м}^2$$

2. Определим площадь S_p , занимаемую растяжками.

Диаметр растяжек по (2.3):

$$D_p = 2 \cdot h \cdot \sin(\Omega) = 2 \cdot 12 \cdot 0,5 = 12 \text{ м}$$

Площадь, занимаемая растяжками, вычисляется как площадь

вписанного в окружность квадрата со сторонами $L_{кв}$:

H_p

h

$2 \cdot R = D_p$

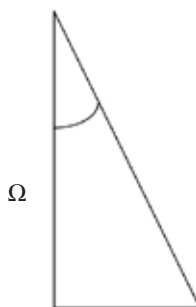


Рис. 2.1. Растяжка натянута под углом Ω к оси мачты

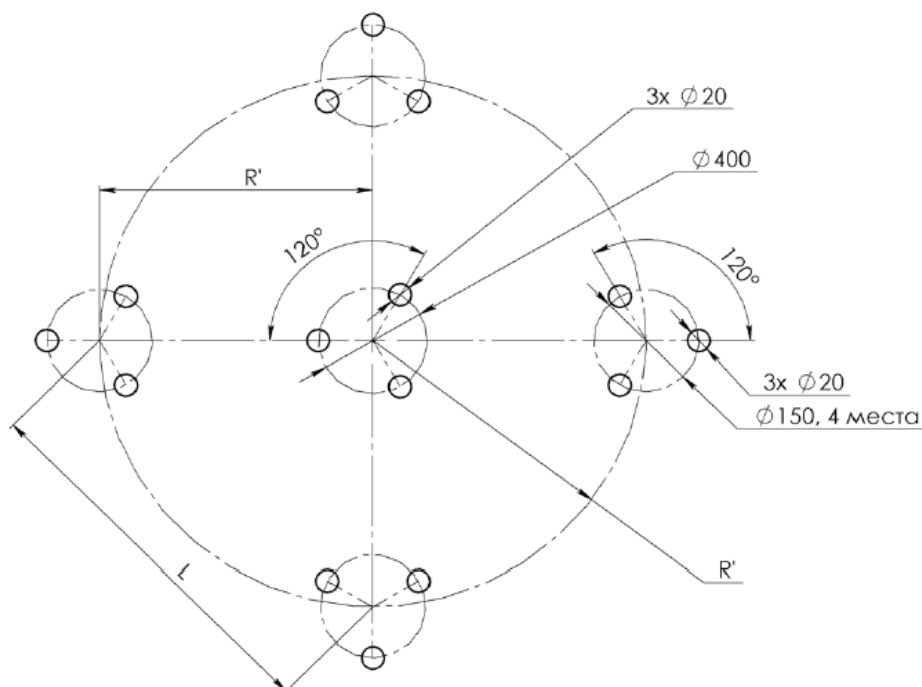


Рис. 2.2. Схема расположения фундаментов под мачту (в центре) и растяжки

$$S_p = \frac{D^2}{2} = \frac{12^2}{2} = 72 \text{ м}^2$$

3. Аэродинамические параметры ВЭУ

3.1. Расчет параметров ротора ВЭУ

Ротор (или ветроколесо) ветроэнергетической установки состоит из ступицы (гондолы) и лопастей. В горизонтально-осевых конструкциях, как правило, устанавливается мультипликатор. Однако в задаче он во внимание не принимается.

Методика расчета

1. Вычислить аэродинамическую мощность с помощью электрической мощности. Электрическая мощность ВЭУ РЭ вычисляется через аэродинамическую мощность Р_А через коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ) ζ:

$$P_э = \xi \cdot P_A, \text{ Вт} \tag{3.1}$$

Реальный ζ горизонтально-осевых установок изменяется в пределах 0,25...0,47. Реальный ζ вертикально-осевых установок изменяется в пределах 0,09...0,48.

Теоретический максимальный КИЭВ является идеальным и на практике недостижимым в связи с неизбежным наличием потерь:

ξ_ж = 0,593 по Жуковскому-Бетцу (наиболее употребим в вычислениях);

ξ_с = 0,687 по Сабину.

2. Определить ометаемую площадь ротора S при постоянной скорости ветра v в ламинарном потоке.

Аэродинамическая мощность является энергией набегающего потока ветра, передаваемой ротору (ветроколесу) ВЭУ за 1 секунду:

$$P_A = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot v \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot S \cdot v \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot S \cdot v^3}{2}, \text{ Вт} \tag{3.2}$$

где P_А — аэродинамическая мощность, Вт;
ρ — плотность воздуха, проходящего через ротор (принимается 1,2041 кг/м³ в сухом воздухе при температуре 20°С и давлении 101,325 КПа), кг/м³;

v — скорость ветрового потока до встречи с ротором, м/с;
m — масса воздуха, проходящего через ротор за 1 секунду, кг;

V — объем воздуха, проходящий через ротор за 1 секунду, м³;

S — ометаемая площадь ротора (у горизонтально-осевых установок это площадь проекции ротора на плоскость, перпендикулярную оси вращения, у горизонтально-осевых установок это площадь проекции ротора на плоскость, перпендикулярную оси вращения, у вертикально-осевых установок это площадь проекции ротора на плоскость, параллельную оси вращения), м².

Таким образом, ометаемая площадь ротора S определяется однозначно из (3.2).

3. Определить диаметр ротора для горизонтально-осевых установок (диаметр и высоту ротора для вертикально-осевых установок).

Для горизонтально-осевых роторов:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \text{ м}^2, \tag{3.3}$$

где π — безразмерная константа, равная 3,14;

D — диаметр ротора.

Для вертикально-осевых роторов:

$$S = D \cdot H, \text{ м}^2, \tag{3.4}$$

где: D — диаметр ротора;
 H — высота ротора.

На основе выражений (3.3) и (3.4) можно найти диаметр ВЭУ. Необходимо отметить, что параметры ротора вертикально-осевой ветроэнергетической установки определяются неоднозначно, поэтому для определения соотношения диаметра D и высоты H необходимы дальнейшие вычисления.

Замечание: На практике необходимо увеличить ометаемую площадь на 33–35% с учетом поправки на реальный КИЭВ, составляющий 65–67% от идеального:

$$S_{\text{реал}} = S \cdot 1,33 \text{ м}^2, \quad (3.5)$$

4. Делается вывод о технической и экономической целесообразности изготовления ротора и его применимости в конкретных условиях на основе габаритных размеров.

Пример расчета 1

Исходные данные:

Тип ВЭУ — вертикально-осевая;

Номинальная мощность ВЭУ $P_{\text{Э}} = 3$ кВт;

Номинальная скорость вращения $v = 11$ м/с;

Найти: Размеры ветроколеса: диаметр D и высоту H .

Решение:

1. Из формулы 3.1 находим идеальную аэродинамическую мощность P_A при идеальном КИЭВ по Жуковскому:

$$P_A = \frac{P_{\text{Э}}}{\xi} = \frac{3000}{0,593} = 5059 \text{ Вт} \quad (\text{идеальный вариант})$$

$$P_A = \frac{P_{\text{Э}}}{\xi} = \frac{3000}{0,4} = 7500 \text{ Вт} \quad (\text{идеальный вариант})$$

2. Из формулы 3.2 находим ометаемую площадь ротора S :

$$S = \frac{2 \cdot P_A}{\rho \cdot v^3} = \frac{2 \cdot 5059}{1,204 \cdot 11^3} = 6,3 \text{ м}^2$$

На практике необходимо увеличить ометаемую площадь на 33–35% с учетом поправки на реальный КИЭВ, составляющий 65–67% от идеального:

$$S_{\text{реал}} = S \cdot 1,33 = 8,4 \text{ м}^2$$

3. Из формулы 3.3 находим диаметр ротора D :

$$D = \sqrt{4 \cdot \frac{S}{\pi}} = \sqrt{4 \cdot \frac{8,4}{3,14}} = 3,2 \text{ м}.$$

Вывод: приведенная модель расчёта позволяет определить следующие параметры ВЭУ: Расчет пиковой мощности и потребляемой энергии, Определение номинальной мощности ВЭУ, Определение площади, занимаемой ВЭУ Расчет параметров ротора ВЭУ. Благодаря этим расчётам мы можем выбрать какой по мощности ветрогенератор нам стоит выбрать, а также его размеры. Изготовление ВЭУ реально, применение целесообразно.

Расчёты приведены теоретические и возможна погрешность 5%.

Литература:

1. Твайделл, Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уэйр; [пер. с англ. под ред. В. А. Коробова]. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 391 с.
2. Да Роза, Альдо. Возобновляемые источники энергии / А. да Роза; [пер. с англ. под ред. С. П. Малышенко и О. С. Попеля]. — М.: Интеллект, 2010. — 703 с.
3. Безруких, П. П. Использование энергии ветра / П. П. Безруких. — М.: Колос, 2008. — 196 с.
4. Безруких, П. П. Ветроэнергетика: справ. пособие / П. П. Безруких. — М.: ИД Энергия, 2010. — 320 с.
5. Беспалов, В. Я. Электрические машины: учеб. пособие / В. Я. Беспалов, Н. Ф. Котеленец. — М.: Академия, 2011. — 320 с.
6. Фортов, В. Е. Энергетика в современном мире / В. Е. Фортов, О. С. Попель. — М.: Интеллект, 2011. — 168 с.
7. Соломин, Е. В. Итерационная оптимизация параметров и режимов работы вертикально-осевых ветроэнергетических установок / Е. В. Соломин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2011. — Вып. 15(232). С. 73–81.
8. Соломин, Е. В. Информация / Е. В. Соломин // ГРЦ-Вертикаль. — www.src-vertical.com. — С. 1.
9. Скорости ветра в России и строительство ветряных электростанций / Интернет-ресурс. — <http://www.manbw.ru/analytics/windrus.html>. — С. 1.
10. Wind Energy Integration in the Urban Environment / Интернет-ресурс. — <http://www.urbanwind.net/wineur.html>. — С. 1.
11. Prices on solar panels / Интернет-ресурс. — http://www.alibaba.com/product-gs/202294126/solar_module_price.html. — С. 1.
12. Solar Cells, Solar Panels / Интернет-ресурс. — http://www.alibaba.com/Solar-Cells-Solar-Panel_pid52806. — С. 1.
13. Ветрогеография РФ / Интернет-ресурс. — http://www.srcvertical.com/wind_geography/wind_russia/. — С. 4.
14. Солнечные модули / Интернет-ресурс. — <http://www.solwind.ru/?p=sm&lang=1>. — С. 2.

Целесообразность применения ветроэнергетических установок малой мощности с вертикальной осью вращения в Омском регионе

Бенке Майга Сергеевна, магистр;
Нурахмет Ералы Ертаулы, магистрант;
Гафаров Артур Айратович, магистрант;
Ковалев Глеб Александрович, студент
Омский государственный технический университет

В статье рассматривается проблема рационального использования энергетических ресурсов Омского региона. Представлены виды ветроэнергетических установок с их достоинствами и недостатками. Описывается средняя скорость ветра в Омске. Сформулированы выводы о положительности применения ветроэнергетических установок малой мощности в Омском регионе.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, средняя скорость ветра, энергия ветра, малая мощность, подъемная сила.

Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) — совокупность взаимосвязанных установок и сооружений, применяется, чтобы трансформировать энергию ветра в другие виды энергии. Оборудования малой мощности используются для самостоятельного и дополнительного электроснабжения [1].

Существует достаточно видов ветроэнергетических установок (ВЭУ), но чаще всего их делят на два: с горизонтальной и вертикальной осью вращения [2].

Горизонтально-осевые (пропеллерные) ВЭУ считаются наиболее распространёнными. Из них более развитыми являются двух- и трехполосные ветроколеса, это говорит о том, что скорость вращения увеличивается при меньшем количестве крыльев. Достоинство данных ветроустановок: условия обтекания крыльев воздушным потоком не меняются, регулярны при циркуляции лопасти, а измеряется лишь скоростью ветра. Кроме этого, у них довольно значительный показатель использования энергии ветра, их быстроходность возможна больше пяти [3].

Вертикально-осевые (роторные) ВЭУ: ротор Савониуса (1929), ротор Масгроува (1975), ротор Дарье (1931). Замедление прогресса данных ветрогенераторов обусловлено следующими причинами: все они появились позднее горизонтально-осевых ветроустановок; совсем недавно, предполагалось невыполнимым получение быстроходности выше единицы; нарушение периодичности крутящего момента; изменение частоты вращения ветротурбины в зависимости от скорости ветра; высокая стартовая скорость ветра (15 м/с) [4].

Исходные данные, применимы лишь к тихоходным роторам, которые используют разные сопротивления крыльев, движущихся по ветру и против ветра. Это способствовало неверным теоретическим результатам — предельное число, показывающее, какая часть воздушного потока используется ветроколесом у вертикально-осевых ветроэнергетических установок меньше горизонтально-осевых пропеллерных. Это стало причиной того что, ветроэнергетические установки долгое время не разрабатывались [4].

Достоинства вертикальных ВЭУ: функционирование при низких скоростях и при любой ориентации ветра. Поэтому, необходимости в дополнительном оборудовании нет, т.е. их механизм более прост. Некоторые из вертикально-осевых ВЭУ тихоходны, поэтому к ним применимы простые электросхемы для съема энергии, среди которых и асинхронные генераторы. Но тихоходность сужает использование вертикальных ВЭУ, поэтому приходится использовать повышающие редукторы — мультипликаторы, у которых достаточно низкий КПД. Использовать данное устройство без мультипликаторов проблематично [5].

В теории обосновано, что коэффициент использования энергии ветра совершенного лопастного устройства горизонтальных пропеллерных и вертикально-осевых установок равен 0.593. К настоящему времени на горизонтальных пропеллерных ветроэнергетических установках этот коэффициент составляет 0.48. Изучение экспериментов показывают, что на российских вертикально-осевых установках достижение значений 0.4–0.45 возможно. Отсюда видно, что коэффициенты использования энергии ветра на приведенных ВЭУ схожи [6].

Вертикально-осевые ветроэнергетические установки продуктивнее при малой (до 10 кВт) мощности [6].

Приведем пример наиболее совершенных моделей вертикально-осевых ветродвигателей.

Ротор Савониуса (рисунок 1). По типу, самой популярной конструкцией, является напорная установка. Момент вращения появляется при обтекании ротора Савониуса воздушным потоком, благодаря различному сопротивлению выпуклой и вогнутой частей ротора [7].

Преимущества данной ВЭУ: низкая степень звука, компактность, хорошо работает при незначительных ветрах (3–5 м/с.). Ротору с вертикальной осью вращения не нужно устройство ориентации на ветер, что способствует упрощению конструкции — лопастная система отличается своей простотой. К недостаткам конструкции можно отнести низкую частоту вращения, это со временем может привести к усталости металла, а в дальнейшем и к ее уничтожению. Кроме того, эта турбоустановка самая ти-

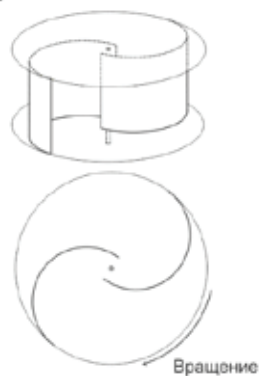


Рис. 1. Ротор Савониуса

ходная, и, следовательно, обладает крайне низким коэффициентом использования энергии ветра — около 0,18–0,24 и КПД 17–18%.

Ротор Дарье (рисунок 2). Ротор имеет вид совершенного ветроколеса, которое содержит в себе два и более аэродинамических крыла, зафиксированных на радиальных балках. Работает за счет влияния подъемной силы на любую из рабочих плоскостей [8].

Показатель подъемной силы возрастает, если увеличивается угол между направлением скорости ветра и плоскости лопасти. Предельный максимум силы можно увидеть, когда вектора этих скоростей ортогональны. Вектор мгновенной скорости лопасти периодически меняется в ходе циркуляции ротора, момент силы, вырабатываемый ротором, тоже изменчивый. Для образования подъемной силы, действующей на крылья, требуется постоянная работа лопастей, поэтому ротор Дарье имеет плохой самозапуск. Он становится исправнее, если использовать три и больше крыла, но все равно нужен первоначальный запуск ротора.

Ротор обладает большой быстроходностью, значит, и условно большим отношением потребляемой мощности к его массе.

Турбина, в основе которой ротор Дарье, не требует определенного направления, так как его работа не подчиняется ориентации потока. Ротор имеет высокий показатель быстроходности при невысокой скорости потока и высокий показатель применения энергии потока: участок поверхности, описываемый плоскостями ротора, довольно большой [9].

Минусы ротора: слабый автозапуск; низкая механическая устойчивость; отсутствует наглядная математическая модель, это затрудняет проектирование ротора; высокая шумность, образуемая при работе [9].

Сравнивая ВЭС видно, что вертикально-осевые ВЭУ детально проще и владеют еще множеством достоинств над горизонтально-осевыми ветросистемами. Но все-таки, компонент употребления мощности ветра и КПД у них немного ниже, это способствует возрастанию габаритов, а в некоторых обстоятельствах и к увеличению

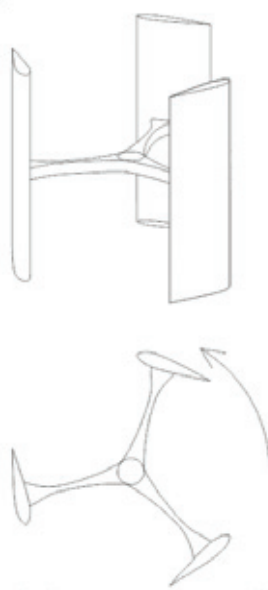


Рис. 2. Ротор Дарье

расхода материала. Однако при применении вертикально-осевых ветроустановок с автономной работой или в качестве дополнительных источников электроэнергии этот недостаток сглаживается. Это происходит, потому что в автономном или резервном вариантах, ветроэлектростанции работают на нагрузку через аккумулятор, который работает в буферном режиме [10].

На сегодняшний день, вопрос эффективной эксплуатации энергоресурсов является одним из наиболее важных для экономики России. Именно поэтому данная проблема не обошла стороной и Омский регион.

Для построения ВЭУ нужно учитывать достаточно много природных факторов [11]. Одним из таких факторов является рельеф. Омская область расположена на юге Западно-Сибирской равнины в среднем течении Иртыша. Отсюда следует, что местность относительно плоская, с преобладающими абсолютными отметками 100–140 м.

Учитывая то, в Сибирских регионах средне годовые скорости ветра редко переступают пределы 4.5–5 м/с, можно прийти к выводу, что для Омского региона больше всего подходят Ветроэнергетические установки малой мощности. Вместе с тем, ВЭУ с вертикальной осью вращения (на основе роторов Дарье, Савониуса и их модификаций) работают на меньших скоростях ветра (5 м/с), чем ветроустановки с горизонтальной осью (8 м/с). Главная задача этих конструкций — небольшая и непостоянная скорость вращения ротора, решением которой является, использование мультипликаторов, многополюсных генераторов и аккумуляторов энергии.

Основную часть года, с сентября по апрель, в Омске преимущественно ветер юго-западного направления, его периодичность 25–35% за месяц. Летом чаще преобладает северо-западный ветер 20–23% за месяц, менее северный 16–19% и западный 15%.

Таблица 1. Скорость ветра в Омске

	Средняя скорость ветра м/с	
	За отопительный период	За три наиболее холодных месяца
Омск	5	4.9

Средняя скорость ветра (таблица 1) обладает очевидным годовым ходом. Во все времена года, помимо лета, отслеживаются пиковые средние месячные скорости ветра 4–5 м/с. Летом скорости ветра минимальные в году, менее 4 м/с.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что использование ветроэнергетических установок малой мощности с вертикальной осью вращения, вполне применимо к Омскому региону.

Литература:

1. Wagner H.—J. Introduction to wind energy systems. Basics, technology and operation / H.—J. Wagner, JyotirmanyMathur. // Springer. — 2013.
2. Introduction wind turbine technology // Green Energy and Technology. Т.38. — 2011.
3. Воронин С. М. Работа ветроустановки при изменении направления ветра / С. М. Воронин, Л. В. Бабина. // Альтернативная энергетика и экология. — 2010. — № 1. — С. 98–100.
4. Бубенчиков А. А., Артамонова Е. Ю., Дайчман Р. А., Файфер Л. А., Катеров Ф. В., Бубенчикова Т. В. Применение ветроколес и генераторов для ветроэнергетических установок малой мощности // Международный научно-исследовательский журнал. — 2015. — № 5–2 (36). — С. 35–39.
5. Морозов Д. А. Синтез ветроустановки малой мощности с вертикальной осью вращения / Д. А. Морозов. // Ижевск. — 2011.
6. Вертикальный ветрогенератор, вертикальная ось вращения [Электронный ресурс] // ВЕТРОДВИГ.RUURL: <http://vetrodvig.ru/vertikalnyj-vetrogenerator>. (дата обращения 30.10.2016).
7. Горелов Д. Н. Аэродинамика ветроколес с вертикальной осью вращения / Д. Н. Горелов. // Омск: Полиграфический центр КАН. — 2012. — 68 с.
8. Горелов Д. Н. Энергетические характеристики ротора Дарье / Д. Н. Горелов. // Теплофизикаиаэромеханика. Т. 17. — 2010. — № 3. — С. 325–333.
9. Lee Y.—T. Numerical study of the aerodynamic performance of a 500w Darrieus-type vertical-axis wind turbine / Y.—T. Lee, H.—C. Lim. // Renewable Energy. Т.83. — 2015.
10. Морозов Д. А. Ветроэнергетическая установка малой мощности / Д. А. Морозов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 2010. — № 6.
11. Wiley J. Understanding wind power technology / J. Wiley. — 2014.
12. Gasch R. Wind power plants. Fundamentals, design, construction and operation / R. Gasch, J. Twele. //Springer. — 2012.
13. Wind in power. // European statistics. — 2014.
14. Gash R. Wind Power Plants: Fundamentals, Desing, Counstruation and Operation. / R. Gash, J. Twele.

Концентраторы потоков для ветроэнергетических установок

Бубенчиков Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент;
Горлинский Никита Александрович, магистрант;
Щербинов Виталий Владимирович, студент;
Сикорский Сергей Петрович, студент;
Кулак Кристина Сергеевна, магистрант
Омский государственный технический университет

Энергетика является ключевым фактором экономического процветания той или иной страны, каждая из которых нуждается в устойчивой и экологически чистой системе производства электроэнергии. Природными источниками энергии для человека являются солнце, ветер, вода и ископаемые виды топлива [1–3].

Из всех этих природных источников энергии, ветер представляется наиболее перспективным, так как это один из самых доступных и эксплуатируемых видов возобновляемой энергии. Энергия ветра используется на протяжении веков в парусных судах для откачки воды, помолы зерна, и т.д. Во всем мире проявляется интерес к развитию ветряных электростанций из-за стремительно растущего спроса на электроэнергию и сопутствующее истощение запасов ископаемого топлива, как нефть, газ или уголь.

Многие страны и регионы внедряют политику, направленную на снижение воздействия на окружающую среду промышленного сектора и переход на использование возобновляемых источников энергии. В США и Европе этот путь выбран давно и достаточно хорошо осуществляется. Применение ветроэнергетических установок (ВЭУ) на территории России должно быть подтверждено технико-экономическим основанием так как большинство районов страны имеет среднюю скорость ветра ниже необходимой для их оптимальной работы [2–5].

При использовании ВЭУ главным фактором является скорость набегающего воздушного потока, от которой зависит вырабатываемая установкой мощность. Для ускорения потока используют различные ускорители (концентраторы) потока. Для горизонтально-осевых ВЭУ

изобретено множество вариантов концентраторов, которые могут быть диффузорного, конфузорного типа или их комбинацией. Они служат для направления воздушного потока с площади, большей сметаемой площади ротора, на ветровое колесо. Несмотря на большое разнообразие конструкций обширного применения данные конструкции не приобрели. Главной проблемой их применения состоит в том, что увеличить скорость ветра более чем на 20–30% в типичных концентраторах практически невозможно, так как при очень большой скорости ветра в конфузоре возникают воздушные вихри, которые препятствуют набегающему воздушному потоку. Конечно, существуют виды конфузоров, которые увеличивают реальную мощность, но они обладают очень сложной конструкцией и редко применяются фирмами производителями.

Вместо этого целесообразнее использовать трубы Вентури, которые обладают минимальным уровнем потерь давления. Установлено, что при её использовании потеря напора составляют всего 5–20% для длинных труб, а в коротких еще меньше. Это говорит о том, что можно усиливать скорость воздушного потока в 10–20 раз и при этом терять около 25% энергии. Если найти более простые в исполнении конструкции, то возможно повысить эффективность ветроэнергетики. При этом уменьшая затраты на создание электростанций и повышая их надежность [4–7].

Для эффективности концентратора, входящий поток должен получить такое же сопротивление, что и потратил. Благодаря этому исчезнет турбулентность и поток будет концентрироваться, что способствует увеличению его скорости.

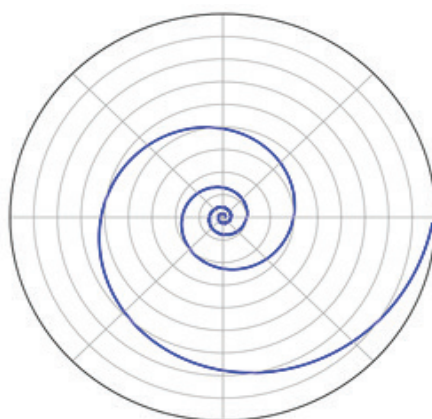


Рис. 1. Логарифмическая спираль

Будем рассматривать концентраторы в виде спиралей. К примеру, логарифмическая спираль, изображенная на рисунке 1.

Улучшение конфузора возможно так же до концентратора. Для этого ему нужно придать форму сопла Вентури с малым диффузором на конце устройства и добавить дополнительную фигуру специальной формы, которая расположена вдоль оси, с диаметром более чем отверстие на выходе и плавно переходящее в острие на горловине сопла. Такая конструкция называется сопла Савельева, рисунок 2. Эта конструкция сопла используется при низком давлении и имеет большой КПД. Существует возможность упрощения конструкции сопла, которая показана на рисунке 3.

По форме концентратора можно определить только его КПД. Для его правильной работы, нужно уменьшить сопротивление или повысить давления потока ветра. Из-за достаточного давления в системе трубы Вентури работают как концентраторы. Изменить давление невозможно — это постоянное давление ветра, при этом уменьшить сопротивление — можно. Необходимо лишь увеличить концентратор. От размера концентратора зависит его конструкция, чем примитивнее его конструкция, тем меньше его сопротивление потоку ветра и тем лучше его работа.

Можно использовать конструкцию кольцевого сегментного конфузора. Эта конструкция имеет вид ветря-

ного генератора с концентратором воздушного потока в виде веера, рисунок 4. Рабочая камера, располагается вдоль оси и имеет 3–4 вертикальных стенок.

Сам поток концентрируется по горизонтали. Также сверху ветроустановки можно установить чашеобразный концентратор, в нем концентрация потока проходит по вертикали, это изображено на рисунке 5.

Этот воздушный поток предназначен для понижения давления в рабочей камере с помощью эжекции воздуха сквозь отверстие в верхней части рабочей камеры. Это повысит скорость выходного потока, а также эффективность концентраторов и ветроустановки в общем. В центре рабочей камеры располагается вытяжная труба, диаметр ее задать нужно таким, чтобы скорость вытяжного потока стала наибольшей. За счет этого, благодаря эжекции, через отверстие в трубе создается намного больше разрежения. Это повысит производительность ветроустановки.

Данная ветроустановка включает в себя концентратор, который состоит из шатра и конуса, также ветроколесо с лопастями, генератор и вытяжную трубу. Предложен ветроагрегат, включающий концентратор, состоящий из шатра и конуса, ветроколесо с лопастями, генератор с вертикальным валом, вытяжную трубу. В самом концентраторе находятся криволинейные направляющие стенки, которые соединяют конус с шатром и образуют криволинейные воздушные каналы. Ветроколесо, в свою очередь сделано наподобие кожуха генератора, снаружи на нем

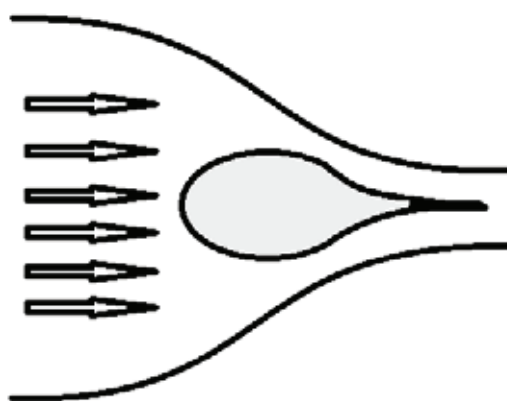


Рис. 2. Сопло Савельева

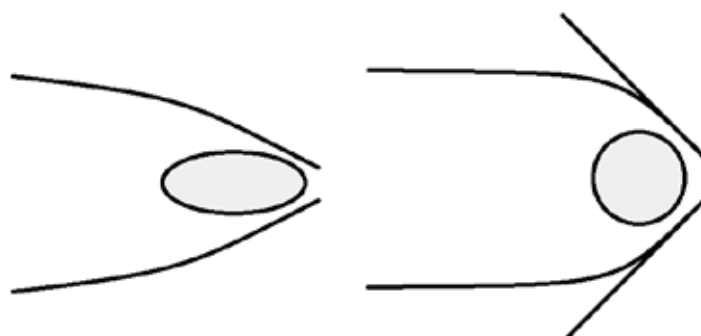


Рис. 3. Упрощенные варианты сопла Савельева



Рис. 4. Ветровые генераторы с веерными концентраторами с тремя (слева) и четырьмя стенами

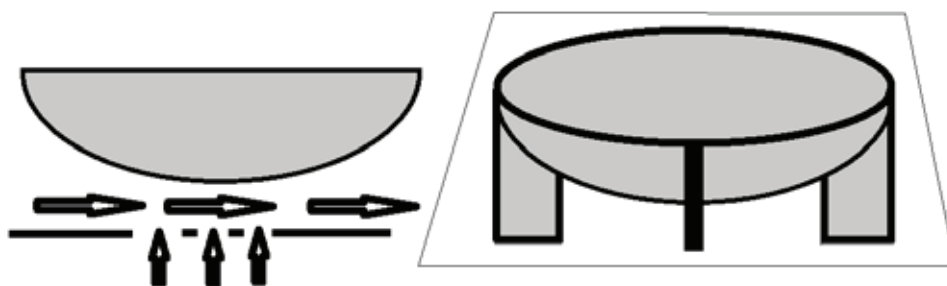


Рис. 5. Чашеобразный концентратор

находятся криволинейные лопасти, а сам вал генератора с одной стороны закреплен к центру конуса, а вторым к вытяжной трубе.

Воздушный поток попадает в концентратор, повышается его температура и начинает движение от криволинейного канала к вытяжной трубе. Из-за уменьшения канала повышается скорость потока. При этом каждый канал действует на одну криволинейную лопасть.

Главным отличием от ранее известных устройств является то, что внутри концентратора расположены криволинейные направляющие стенки, которые образуют воздушные каналы, сам генератор находится внутри по

самому центру ветроколеса. Криволинейность направляющих стенок и лопастей ветрового колеса задана логарифмической зависимостью.

Суть ветроустановки показана чертежами на рисунке 6, на них видно схематически приведенную конструкцию ветроагрегата.

В центре шатра сделана вытяжная труба. В трубе располагается ветряное колесо — генератор, снаружи зафиксированы кривообразные лопасти. Вал генератора зафиксирован в центре конуса и сверху трубы. В концентраторе располагаются кривообразные направляющие стенки. Они создают криволинейные сужающиеся воздушные ка-

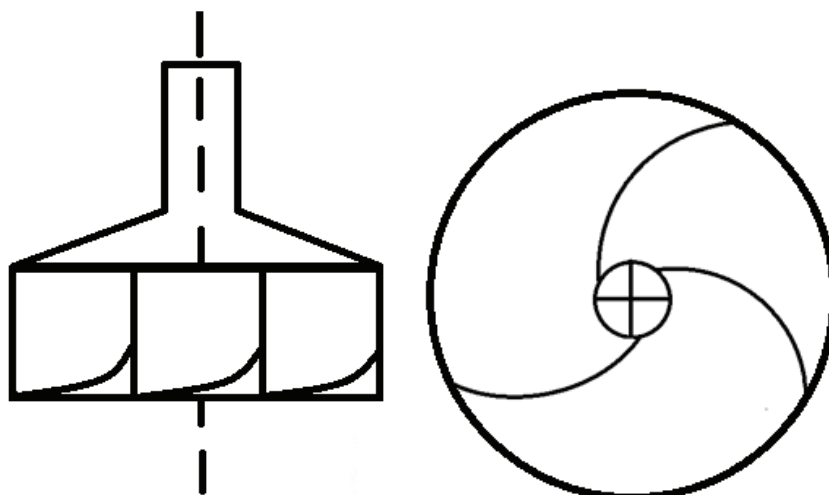


Рис. 6. Вихревая ветростанция

налы, которые обеспечивают подвод, под углом, воздушного потока в вытяжную трубу. Внешние поверхности шатра и вытяжной трубы покрашены в темный цвет.

Аппарат работает следующим образом. Воздушный поток попадает в концентратор и проходит через шатер и конус вдоль криволинейных направляющих стенок. Из-за воздействия солнечной энергии шатер и труба греются. Это повышает температуру потока воздуха. Горячий воздух проходит через криволинейный сужающийся канал, поэтому его скорость начинает увеличиваться. Это происходит из-за повышения температуры и сужения живого сечения. Воздушный поток входит по касательной в трубу и создает там вихревое движение. Если расположить в вытяжной трубе генератор, то уменьшится живое сечение потока, за счет чего увеличится скорость. Энергия вихревого движения передается на криволинейные лопасти. Вращаясь, лопасти передают крутящий момент в генератор. Он преобразует механическую энергию в электрическую. Воздушный поток, попав в концентратор, греется и движется по спирали к центру. Спиральное движение воздуха обусловлено направляющими стенками и конфигурацией лопастей. Направление угловой скорости вихря зависит от кривизны стенок. Увеличивая радиус концентратора, можно добиться увеличения мощности аппарата.

Данную конструкцию можно установить на суше в море или океане. Наибольшая эффективность будет проявляться в удаленных местах, где нет возможности подачи электричества обычным способом. Предлагаемое решение позволяет увеличить мощность аппарата за счет устранения воздействия сил сопротивления и установлением лопастей на внешней стороне генератора. Так же повышаются эксплуатационные характеристики и надежность.

Литература:

1. Бубенчиков А. А., Артамонова Е. Ю., Дайчман Р. А., Файфер Л. А., Катеров Ф. В., Бубенчикова Т. В. Применение ветроколес и генераторов для ветроэнергетических установок малой мощности // Международный научно-исследовательский журнал. — 2015. — № 5–2 (36). — С. 35–39.
2. Бальзанников, М. И. Усовершенствованные конструктивные решения гидро- и ветроэнергетических установок и выбор их основных параметров / М. И. Бальзанников, С. В. Евдокимов // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари (Проблемы энерго- и ресурсосбережения). Ташкент, 2013. № 3–4. С. 88–94.
3. Бальзанников, М. И. Эколого-экономическое обоснование эффективности гидроаккумулирующих и ветровых электростанций / М. И. Бальзанников, С. В. Евдокимов, Н. В. Шехова // Экономика и управление собственностью. 2015. № 1. С. 68–72.
4. Евдокимов, С. В. Модель энергетической установки с концентратором потока / С. В. Евдокимов // Исследования в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды. Тез. докл. 58-й научн. — техн. конф. Самара, 2001. — С. 208–211.
5. Бубенчиков А. А., Артамонова Е. Ю., Дайчман Р. А., Файфер Л. А., Катеров Ф. В., Бубенчикова А. А. Применение ветроэнергетических установок с концентраторами ветровой энергии в регионах с малой ветровой нагрузкой // Международный научно-исследовательский журнал. — 2015. — № 5–2 (36). — С. 31–35.
6. Елистратов, В. В. Использование возобновляемых источников энергии — путь к устойчивому развитию и энергоэффективности / В. В. Елистратов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2012. № 3 (154). С. 77–83.
7. Иванов, В. М. Электроснабжение и энергосбережение с использованием возобновляемых источников энергии / В. М. Иванов и [др.] // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. № 2 (19). С. 88–93.

К дополнительным преимуществам данной конструкции можно отнести: лопасти не имеют вибрации, устранено ударное воздействие на них воздушным потоком.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение данного ветроагрегата гарантирует достижение технического результата: воздух, поступая в концентратор, нагревается и за счет криволинейных направляющих стенок начинает вращательное движение. Увеличение температуры и уменьшение живого сечения потока, в свою очередь приводят его к постоянному ускоренному вращательному движению. Вихревое движение воздушного потока способствует вращению лопастей и генератора, причем лопасти на обратном ходе не испытывают сил сопротивления. Криволинейные лопасти плавно обтекаются воздушным потоком, воспринимая его действие, придают вращение генератору. Также не возникает консольной нагрузки на лопасти, и не вызывается рост ударного воздействия воздушного потока, как, например, в случае прототипа и поэтому отсутствует момент напряжения, там, где крепятся лопасти с генератором. Если нет консольного напряжения, тогда и толщину лопастей можно сделать очень малой величины, что снизит затраты на постройку конструкции. Применение данной конструкции модернизирует работу лопастей, понижает усталостное напряжение и увеличивает срок службы. Лопасти крепятся снаружи генератора, поэтому энергия вращения передается ему без использования специальных устройств. Таким образом, все это делает конструкцию проще, обеспечивая быстрый монтаж и демонтаж агрегата или моментальное устранение неполадок.

Умные сети, Smartgrid. Автоматизация производства преобразования и распределения энергии

Бубенчиков Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент;
Горлинский Никита Александрович, магистрант;
Щербинов Виталий Владимирович, студент;
Сикорский Сергей Петрович, студент;
Кулак Кристина Сергеевна, магистрант
Омский государственный технический университет

SMARTGRID (умные сети) — это система передачи электроэнергии от производителя к потребителю, самостоятельно отслеживающая и распределяющая потоки электричества для достижения наибольшей эффективности использования энергии. Применяя современные информационные и коммуникационные технологии, всё оборудование умных сетей взаимодействует, в результате получается единая интеллектуальная система энергоснабжения. Полученная с оборудования информация анализируется, а результаты способствуют оптимизации потребления электроэнергии, уменьшить затраты, повысить надежность и эффективность энергосистем.

Непосредственно слово SMART GRID стали применять Массуд Амини Брюс Волленберг в публикации «К интеллектуальной сети» ещё в 1998 г. Использовали его в маркетинговых наименованиях специализированных контроллеров, какие предназначались с целью управления работой и синхронизацией независимых ветроустановок с электрической сетью.

Технология Smart Grid характеризуется некоторыми инновационными свойствами, а именно:

1) Активная двунаправленная модель взаимодействия в реальном масштабе времени информационного обмена всеми между элементами и участниками сети, от генераторов энергии до конечных устройств электропотребителей.

2) Охват целой технологической цепочки электроэнергетической системы от энергопроизводителей (как основных, так и независимых) и электrorаспределительных сетей до конечных потребителей.

3) Обеспечение почти постоянного контролируемого равновесия между спросом и предложением электрической энергии. Поэтому элементы сети должны постоянно взаимодействовать друг с другом данными о параметрах электрической энергии, режимах потребления и генерации, количестве потребляемой энергии и планируемом потреблении, коммерческой информацией.

4) SmartGrid может эффективно защищаться и самовосстанавливаться от больших перебоев, естественных катастроф, внешних факторов.

5) С экономической точки зрения, SmartGrid способствует возникновению новых рынков, инвесторов и услуг.

Самовосстановление. Получая информацию в режиме реального времени от встроенных датчиков и систем автоматизированного контроля, интеллектуальная сеть непрерывно вычисляет сбои в системе и реагирует на них,

обеспечивая быстрое исправление нарушений. В применении к распределительным сетям нет такого понятия, как «самовосстанавливающаяся» сеть. Если на верхней линии электропередачи возникают неполадки (при условии, что линии по большей части имеют тенденцию работать на радиальной основе), происходит неизбежная потеря мощности. Что касается городских сетей, то они могут быть спроектированы (с помощью специальных топологий) таким образом, что нарушение в одной части сети не приведет к потере энергии для конечных пользователей. Предполагается, что у интеллектуальной сети будет система управления, анализирующая ее производительность с использованием автономных контроллеров.

Потребительское участие. Интеллектуальная сеть по своей сути создана для того, чтобы потребители изменили свое отношение к стоимости электроэнергии или платили по значительно более высоким ценам за гарантию надежного электрического обслуживания даже в условиях перенапряжения. Двухсторонняя связь в режиме реального времени, доступная интеллектуальной сети, позволит пользователям компенсировать усилия по сохранению энергии продавать ее назад в сети. Интеллектуальная сеть совершит революцию в энергетике, разрешая мелким игрокам энергосистемы — домохозяйствам и малым предприятиям — продавать мощность соседям или обратно в сеть. Также смогут поступать и крупные коммерческие предприятия, у которых есть резервные системы мощности.

Противостояние внешним воздействиям. Технологии интеллектуальных сетей лучше идентифицируют искусственную или естественную дестабилизацию и реагируют на нее. Информация в реальном времени помогает операторам изолировать зоны поражения в сети и переадресовывать энергетические потоки мимо областей повреждения. Одна из самых важных проблем сопротивления нападению — «умный» контроль энергетических сетей, который является основанием контроля и управления интеллектуальными сетями, в целях избежания или смягчения разрушения всей системы, например, при перебоех в подаче электроэнергии.

Поставка энергии более высокого качества. Перебои и издержки качества электроэнергии обходятся промышленности любой страны в миллиарды долларов. Очевидно, что внедрение интеллектуальных сетей во много раз сократит время простоя и исключит тем самым столь глобальные финансовые потери.

Использование всех возможностей производства электроэнергии. Поскольку «умные» сети продолжают поддерживать обычные нагрузки, они так же легко связывают топливные элементы, возобновляемые источники энергии, микротурбины и другие технологии распределения выработки электроэнергии на локальных и региональных уровнях. Интеграция небольшого, ограниченного или локального производства позволит домохозяйствам и промышленным потребителям самостоятельно генерировать и продавать ненужную электроэнергию сети с минимальными техническими или регулирующими издержками. Это также улучшает качество электроэнергии, снижает затраты и предоставляет клиенту свободу выбора.

Стимул к развитию рынка электроэнергии. Существенное расширение возможностей передачи электроэнергии потребует усовершенствования управления сетью передач. Такая реорганизация направлена на создание открытого рынка, где альтернативные источники энергии географически отдаленных мест могут легко быть проданы потребителям в любой точке страны. Благодаря информации в распределенных сетях мелкие производители смогут выработать и реализовать электроэнергию на локальном уровне с помощью альтернативных источников, таких как установленный на крыше гальванический фотоэлектрический, небольшие ветровые турбины, микрогидрогенераторы. Без дополнительных сведений, предоставленных датчиками и программным обеспечением, которые мгновенно реагируют на вызванную ненадежными источниками неустойчивость, может ухудшиться качество системы.

Оптимизация инвестиций. Интеллектуальная сеть способна оптимизировать основной капитал, минимизируя издержки на обслуживание и совершение операций. Оптимизированные энергетические потоки сокращают затраты, увеличивается эффективность использования ресурсов для производства более дешевой энергии. Согласование локального распределения с межрегиональными энергетическими потоками улучшает использование существующих сетевых активов и уменьшает потери в сети, что позволяет в конечном счете сформировать дополнительный денежный поток для отрасли и повысить ее капитализацию.

Стимул к развитию неустойчивых альтернативных источников электроэнергии. Изменение климата и экологические проблемы неуклонно ведут к тому, что число возобновляемых источников энергии будет постоянно расти. В основном они неустойчивы в природе. Технологии интеллектуальной сети дадут возможность системам производства электроэнергии работать с большим количеством таких ресурсов.

Опыт использования в Российской Федерации и за рубежом

За пределами РФ начинают разрабатываться программы для использования «умных сетей». За рубежом такие программы называются SMARTGRID.

Использование SMARTGRID, должно в конечном итоге привести к взаимосвязанности и взаимодействию близкорасположенных генерирующих объектов, электросетей и потребителей. Благодаря интеллектуальным возможностям, отказоустойчивости и двустороннего обмена данными. Главным преимуществом SMARTGRID считается возможность повсеместного подключения малых генерирующих источников электроэнергии, то есть, имеется ввиду способность адаптироваться к динамике потребления и обеспечение экономии энергии с уменьшением выброса парниковых газов и удовлетворять потребности потребителей. Предлагаемые иностранными корпорациями практические разработки и концепции технического развития благополучно удовлетворяют существующую потребность на локальные интеллектуальные сети в электроэнергетике.

В России электроэнергетическое обеспечение устроено в сложных климатических, технических, экономических условиях, ориентируясь на большие генерирующие объекты, необходим новейший аспект с целью присоединения к существующим сетям различных объектов малой и альтернативной энергетики и соединением с ними локальных сетей электроэнергии. Подобные варианты исполнения в нашем государстве существенно отличаются от используемых в большинстве иностранных государствах, так как отечественная электроэнергетическая система использует другой уровень интегрированности и формируется на основе использования больших систем с существенно высоким уровнем сложности исполнения и, в соответствии с этим, решаемых вопросов принципиального построения и текущего регулирования, что потребует изменения не только присоединяемых объектов, но и всей глобальной электроэнергетической сети на принципах многофункциональной автоматизации. Решение проблемы затрудняет присутствие слабых, но в то же время длинных связей, из-за чего ограничивается возможность пропускать большие потоки мощности. Из этого следует, что в нашем государстве необходимо технико-организационное обеспечение. Новый уровень интегрированности электроэнергетической системы, в том числе нужно учитывать перспективные задачи плавного восстановления энергетических систем стран ближнего зарубежья, обмениваться опытом и технологиями.

Умные сети и альтернативные источники энергии

Значительное развитие «умных сетей» было обусловлено не только проблемами в сфере энергосбережения и энергоэффективности, но и полностью установленными задачами, которые необходимо было немедленно разрешать. Значительная часть альтернативной энергетики в Европе увеличивалась, и с этим появлялись соответствующие трудности. Возобновляемые источники электроэнергии (ВЭИ), например, такие как ветряная мельница. Она имеет малопривлекательную отличительную черту, такую как неустойчивую выработку мощности в сеть. Это

очевидно, потому что скорость ветра постоянно меняется. Выработку электроэнергии от такого источника энергии тяжело предсказать. Нужно всегда использовать момент с самым мощным ветром, чтобы выработать и передать максимум электроэнергии в сеть. Использование технологии «умных сетей» должно решить данные трудности. Цель усугубляется, если в сети много разных переменных и тяжело предсказуемых источников альтернативной энергии. Однако, «умные сети» призваны упростить данную задачу. Благодаря им возможно использование большего количества малых генерирующих источников электроэнергии в различные периоды времени.

Помимо этого, описанная технология дает возможность группировать в сеть восстанавливаемые источники энергии — к примеру: солнечную и ветровую энергоустановки. Также «умные сети» ведут борьбу с изменением климата, снижая выбросы CO_2 , и сокращают потери электроэнергии. Благодаря этому «умные сети» имеют огромный интерес для российской энергетики. Потери во время распределения электроэнергии в нашей стране гораздо больше, чем в Европе или США.

В государственной энергетике доля ветровой и солнечной энергии невероятно мала, и составляет менее 1% на 2015, по данным компании Enerdata. Для нашего государства, технология «умных сетей» необходима для решения таких проблем, как экономия энергоресурсов и энергосбережение. Имеющаяся система стала неактуальной, на физическом уровне изношена и никак не может эффективно разрешить инновационные задачи. Ведущие производители электроэнергии убеждены в потребности создания новейшей научно-технической платформы национальной единой энергетической системы, непосредственно на основе активно-адаптивных сетей. Потребность ее неоспорима, об этом заявляют на самом высоком уровне.

В настоящее время в Европе и США создается обширная концепция стандартов и условий к устройствам, функциям, элементам и системе взаимодействий SmartGrid. С целью испытания умных сетей начато большое число пилотных проектов, к примеру, использование SMARTGRID на острове, который находится в Балтийском море в 90 км от Швеции. В рамках проекта приблизительно тридцать предприятий и несколько тысяч частных домов будут подключены к умной сети. Кроме традиционных источников в этой сети будут использованы оффшорные и континентальные ветропарки общей мощностью 170 МВт, а кроме того солнечная электростанция мощностью 55 кВт.

Современное положение электроэнергетики Российской Федерации никак не отвечает возрастающей необходимости формирования экономики и общественной структуры государства, и не только большой уровень потерь является аргументом с целью рассмотрения новейших вариантов развития отрасли.

В Российской Федерации концепция SmartGrid в наше время является в качестве идеи интеллектуальной

активно-адаптивной сети, которую можно охарактеризовать следующими свойствами:

1. Система сбора и обработки информации (программно-аппаратные комплексы), а кроме того ресурсы управления активными элементами сети и электроустановками потребителей;

2. Насыщенность сети активными элементами, позволяющими изменять топологические параметры сети;

3. Система автоматической оценки текущей ситуации и построения прогнозов работы сети;

4. Высокое быстродействие управляющей системы и информационного обмена;

5. Огромное количество датчиков, измеряющих показатели в реальном времени для оценки состояния сети в различных режимах работы энергосистемы;

6. Наличие важных безотказных исполнительных органов и механизмов, позволяющих в режиме реального времени изменять топологические характеристики сети, а также взаимодействовать с соседними энергетическими объектами;

Главными проблемами, которые мешают внедрить технологию SmartGrid в РФ и в мире, являются:

1. Огромные финансовые инвестиции в процесс внедрения системы SmartGrid и ее дальнейшего обслуживания;

2. Значительное число потребителей, предъявляющих разные условия к качеству электрической энергии;

3. Отсутствие надежных и безопасных накопителей энергии;

4. Отсутствие стандартов и нормативов;

5. Отсутствие мотивации у монополистов рынка, из-за того что их прибыль зависит от объемов проданной электроэнергии, а при внедрении новейших технологий доходы могут значительно уменьшиться.

В соответствии с исследованиями отдела развития и реформирования электроэнергетики ИНЭИРАН, вплоть до 2030 г., формирование интеллектуальной энергетики с применением ВИЭ (доля около 5% к 2030 г.) в РФ даст возможность уменьшить необходимость в установленной мощности более чем на 10% (приблизительно 30 ГВт) и электропотребление почти на 8–9% (около 140 млрд кВт·ч). Немаловажно, что относительный уровень потерь в сетях уменьшится с 30 до 8% в 2030 г. Экономическая эффективность от развития SmartGrid в РФ в сфере управления спросом, потерями электроэнергии, крупной и распределенной генерацией, надежностью и качеством энергоснабжения выражаются в уменьшении важных расходов на строительство новых генерирующих мощностей, исходя из уменьшенной потребности в мощности; капитальных затрат на строительство электросетевых объектов, исходя из увеличения пропускной способности сети и сниженной пиковой мощности; эксплуатационных затрат в генерации и сетях, прежде всего, топливных затрат, за счет изменения объемов ввода и режимов загрузки ТЭС.

Таблица 1. **Итоговые экономические эффекты при развитии SmartGrid в России в ценах 2010 г.**

Эффект	до 2020 г.	2021–2025 гг.	2026–2030 гг.	Всего
				2015–2030 гг.
Снижение ввода мощности электро-станций,				
Гвт	7,8	15,3	11	34,1
Снижение расхода топлива на ТЭС,				
Млн т.у.т	4,7	44,1	124,8	173,6
Снижение эмиссии парниковых газов,				
Млн т CO ₂	8,4	75,6	213,6	297,6
Экономические эффекты — всего,				
Млрд руб.	716	1172	1560	3448
В том числе снижение капиталовложений				
электростанции	682	744	527	1953
Сетевая инфраструктура	70	73	76	219
Снижение условнопостоянных затрат	17	19	353	389
Снижение топливных затрат	12	192	552	756
Снижение платы за эмиссию парниковых газов	5	46	128	179

Выводы

Использование «умных» сетей позволяет не только значительно сократить потери, но и более эффективно использовать имеющуюся энергию, интегрировать и распределять энергию из альтернативных источников. В автоматическом режиме можно диагностировать и устранять возникающие проблемы, поставлять электроэнергию в необходимом количестве, сократить затраты энергоресурсов, сократить выбросы в атмосферу углекислого газа. С учетом участия нетрадиционных источников энергии централизованные системы превращаются в распределенную систему.

Перспективным направлением развития энергетики является создание интеллектуальных систем управления энергосистемой состоящей из традиционных источников энергии возобновляемых источников энергии. Оптимизация совместной работы различных источников энергии,

повышение энергоэффективности и надёжности работы системы в целом является актуальной проблемой в современной энергетике.

Государству необходимо информировать граждан о новых технологиях и их возможностях, привлекать внимание к энергоэффективности и будущей экономичности данных технологий. На государственном уровне необходимо все больше и больше создавать поселков, городов, имеющих систему, похожую на систему SmartGrid, создавать комфортные условия для установки необходимых модулей, создавать различные льготы. Развитие альтернативной энергетики должно постоянно осуществляться, необходимость в модернизации очевидна, модернизация должна быть нацелена именно для уменьшения стоимости установок и повышении вырабатываемой энергии. Поддержка государства является важным фактором в развитии этой отрасли.

Литература:

1. Гомонов К.Г. Перспективы и экономическая эффективность внедрения интеллектуальных энергосетей в России и в мире // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. — 2015. — № .2.
2. Зайцев А.И. Развитие электроэнергетических систем на базе концепции SmartGrid // Электротехнические комплексы и системы управления. — 2013. — № .1. — С.71–76.
3. Отчет о разработке стратегической программы исследований технологической платформы «Интеллектуальная энергетическая система России». — М.: РЭА, 2012. — 53с.

4. Глушко С., Пикин С. Технологическая концепция SmartGrid — облик электроэнергетики будущего. — 2009.
5. Кобец, Б. Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции SmartGrid /Б. Б. Кобец, И. О. Волкова. — М.: ИАЦЭнергия, 2010. — 208с.
6. Электроэнергетика России 2030: Целевое видение / Под общ. ред. Б. Ф. Вайнзихера. — М.: АльпинаБизнесБук, 2008.
7. Глущенко П. В. Проблемы интеллектуальной энергетики в России // Экономика и управление. — 2013. — № 5. — С.91.
8. Настоящее и будущее «умных сетей» в России / Рекламно-информационный журнал Электротехнический рынок. № 4(58). 2014. URL: <http://market.elec.ru/pomer/53/3>.
9. Комплексный технический и коммерческий учет энергоресурсов. [Официальный сайт]. URL: <http://www.ackye.ru/activities/smart-metering/4>.
10. Ледин С. С. Интеллектуальные сети SmartGrid — будущее российской энергетики / Автоматизация и ИТ в энергетике. 2010. № 11.
11. Глушенко Д. В., Сапцына Е. Ю. Проблема перехода на альтернативные источники энергии // Экономика России в XXI веке: сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции. Экономические науки и прикладные исследования», г. Томск, 17–21 ноября 2015 г. Т. 2. — Томск, 2015. — Изд-во ТПУ, 2015. — Т. 2. — С. 322–326.
12. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart-Grid: моногр. // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. — 2012. — № 25. — С. 163–172.
13. Дорофеев В. «Умные» сети в электроэнергетике // Режим доступа: [http://www.energyland.info/news-show-45305\(30.04.2010г\)](http://www.energyland.info/news-show-45305(30.04.2010г)). — 2011.
14. The global energy [r] evolution 2010. Greenpeace, 2010.
15. Матюшок В. М. Приоритетные направления развития экономики России: формирование и оценка инновационного потенциала/ Национальные интересы: приоритеты и безопасность. Финансы и кредит. — 2013. — № 7(196). — С. 2–11.
16. International Energy Outlook 2009. Energy Information Administration. Office of Integrated Analysis and Forecasting U. S. Department of Energy. Washington, DC, 2009.

Обзор методов повышения пропускной способности линий электроэнергетических систем

Бубенчиков Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент;
Данилов Дмитрий Игоревич, магистрант;
Шевченко Дмитрий Юрьевич, магистрант;
Вирайло Александр Олегович, магистрант;
Шепелев Александр Олегович, магистрант
Омский государственный технический университет

В статье проведён обзор способов повышения пропускной способности линий электропередачи на основе применения высокотемпературных проводов, компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: *потери мощности, высокотемпературные провода, компенсация реактивной мощности.*

Проблема:

В XXI веке в Мире наблюдается рост потребления электрической энергии. В России, как и во всем Мире, с ростом потребления электроэнергии наблюдается проблема ограниченности пропускной способности электроэнергетических сетей. По данным открытого акционерного общества «ФСК ЕЭС» на пропускную способность электроэнергетических систем негативно влияет значительный износ оборудования. Сведения приведены ниже в таблицах (табл. 1, 2) [1].

Для удовлетворения потребности нужд народного хозяйства и населения страны в электрической энергии в работу вводятся дополнительные генерирующие мощности по производству электроэнергии, а также ведется модернизация передающих сетей электроэнергетических систем. Модернизация сетей происходит при помощи классических методов, а также использованием новых технологий в электроэнергетике и электротехнике [2].

Частный случай компенсации реактивной мощности, как увеличение пропускной способности сетей, представ-

Таблица 1. Электроэнергетические системы ОАО «ФСК ЕЭС»

Суммарное расстояние электроэнергетических систем, тыс. км	125
Износ объектов электросетевого хозяйства	57%
В работе не менее 45 лет	27%
Суммарные энергопотери млрд кВтч	24
Суммарные энергопотери	5%

Таблица 2. Электроэнергетические системы ПАО «МРСК Сибири»

Суммарное расстояние электроэнергетических систем, тыс. км	2000
Износ объектов электросетевого хозяйства	67%
В работе не менее 45 лет	7%
Суммарные энергопотери млрд кВтч	57
Суммарные энергопотери	9%

ляет собой решение проблемы уменьшения энергопотерь и недостаточности пропускной способности сетей.

По результатам исследования ведущих специалистов видно, что электрическая энергия входит в состав стоимости продукта в количестве 35–45%. Это сильный довод того, чтобы внимательно относиться к исследованию и экспертизе энергопотребления, а также правильного выбора метода компенсации реактивной энергии.

Актуальность:

27 сентября 2012 г. на заседании Правительства Российской Федерации была представлена Программа модернизации российской электроэнергетики до 2020 г. Одним из ключевых показателей в рамках реализации Программы было определено снижение потерь в сетях единой национальной энергетической сети до 4% и в распределительном комплексе сетей России — с 9 до 6,5%.

А так же согласно генеральному плану роста электропотребления ежегодный уровень потребления электрической энергии будет увеличиваться на 2%.

В такой ситуации, встает вопрос об уменьшении потерь в электрических сетях и увеличении пропускной способности сетей.

Новизна:

Одни из главных мест в электроэнергетике занимают методы по снижению потерь энергии (в частности компенсация реактивной мощности), улучшения пропускной способности энергосистем (применение высокотемпературных проводов — проводов повышенной пропускной способности), в том числе и подъем качества электроэнергии [3].

Одновременное применение вышеперечисленных методов существенно позволяет решить проблему огромных потерь электроэнергии и недостаточности пропускной способности существующих сетей.

Высокотемпературные провода повышенной пропускной способности

На данный момент в мире производят высокотемпературные провода 4 типов базисных конструкций [4]:

- с круглыми жилами (рис. 1);
- с трапециевидными жилами (рис. 2);
- с зазором (рис. 3);
- с Z-образными жилами (рис. 4);

Для производства токопроводящих проволок проводов с повышенной пропускной способностью используются:

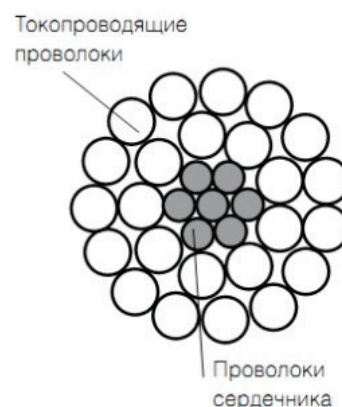


Рис. 1. Высокотемпературный провод с круглыми жилами

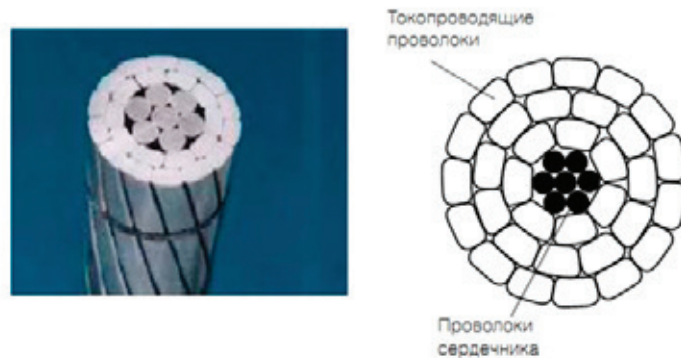


Рис. 2. Высокотемпературный провод с трапециевидными жилами

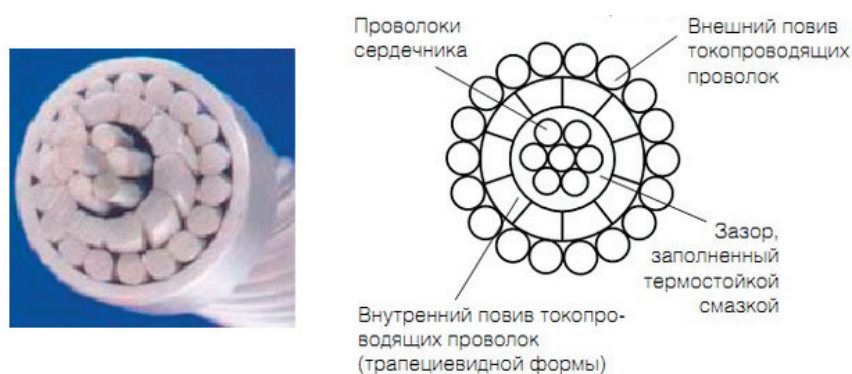


Рис. 3. Высокотемпературный провод с зазором

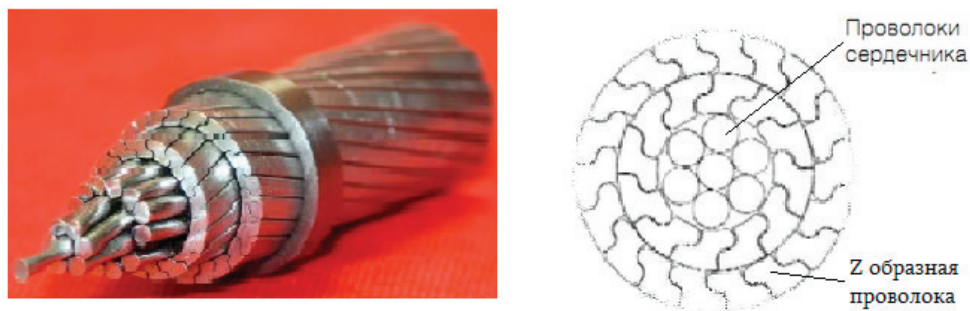


Рис. 4. Высокотемпературный провод с Z-образными жилами

- 100% отожженный Al
 - термобработанные сплавы (Al-Zr).
- Основные предприятия-производители:
- «J-Power System Corporation»;
 - «ЗМ»;
 - «Lumpi-Berndorf провода и Seilwerk GmbH»;
 - «Nexans»;
 - ООО «ЭМ–Кабель».

Продукты (табл. 3) вышеуказанных предприятий занимают главенствующее положение в мировой экономике продажи объектов электроэнергетической отрасли.

Расходы на приобретение данных проводов довольно скоро окупаются при их внедрении (увеличения пропускной способности, сокращаются объёмы аварий-

но-восстановительных работ из-за повреждения провода). Преимущества, которые дает применение проводов с повышенной пропускной способностью по сравнению со стандартными неизолированными линиями:

- повышенная надежность в зонах снегопадов, гололедообразования и тяжёлых ветровых районах;
- мощная крепость жил и, соответственно, меньшая вероятность их обрыва;
- отсутствие разрушения (окисления, ржавления) жил;
- самодемпфирование;
- минимальные провисания (прогибы);
- незатруднительный процесс разрушения обледенения;
- Полтора — двукратное повышение пропускной способности при тех же условиях.

Таблица 3. Приведение продукции и ее производителей

Фирма	Продукция
«J-Power System Corporation»	GTACSRS, GZTACSRS
«ЗМ»	ACCR
«Lumpi-Berndorf провода и Seilwerk GmbH»	TACSRS/ACS, TACSR/HACIN
«Nexans»	AERO-Z, AAAC, ACAR,
ООО «ЭМ-Кабель»	АСПТ АТ1 /20SA

Стоит отметить и недостатки:

- стоимость ВЛ в 1,5–2 раза выше по сравнению с обычным проводом;
 - сложные требования к защитной аппаратуре;
 - трудности при монтаже в условиях низких температур.
- Основные достоинства вышеперечисленных ВЛ и причины, объясняющие достоинства, представлены в таблице (табл. 4).

Компенсация реактивной энергии как способ увеличения пропускной способности сетей и уменьшения энергопотерь в них

Увеличение пропускной способности электроэнергетических систем достигается не только за счет реконструкции сетей, в частности линий, но и за счет подключения различного оборудования, предназначенного для компенсации реактивной мощности.

На предприятиях особое внимание уделяется компенсирующим устройствам, так как главные приемники представляют собой асинхронные электродвигатели, коэффициент мощности которых без применения компенсирующих мероприятий может составлять 0,65–0,75.

Меры по снижению реактивной энергии способствуют:

- снижению загрузки трансформаторов, увеличению продолжительности работоспособности [5],
- снижению нагрузки на токопроводящие жилы проводов, применению их наименьшего сечения,
- повышению качества электрической энергии, снижению искривления вида напряжения) [6],
- снижению нагрузочного явления на коммутационную аппаратуру по причине уменьшения токов,
- минованию нарушений за ухудшение качества электрической энергии низким $\cos\phi$ (коэффициентом мощности),

– уменьшению затрат на электрическую энергию.

Устройства компенсации реактивной энергии необходимы для компенсации реактивных величин системы (пример, ЛЭП) и реактивной мощности, участвующей в нагрузках и составляющих электроэнергетической системы.

Основные моменты процесса

Огромным количеством электрического оборудования любого промышленного объекта являются устройства, сопровождаемые в рабочем режиме магнитным полем, которые в свою очередь и определяют индуктивную нагрузку.

Главное свойство индуктивной нагрузки заключается в том, что ток, проходящий через индуктивность, остается прежним (без изменений), а при прохождении нагрузочного тока создается искажение фаз между током и напряжением (напряжение «опережает» ток на определенный угол). Вследствие различных знаков у напряжения и тока в момент «опережения», происходит уменьшение энергии индуктивности, компенсируемая из сети.

Для многих предприятий данный факт указывает на то, что в системе между источником питания и потребителем проходит как активная энергия, которая осуществляет полезное действие, так и реактивная энергия, которая в свою очередь не выполняет полезную работу, а тратится только на формирование магнитных полей индуктивности. Вся энергия имеет 2 составляющие: активная и реактивная энергии. Активная составляющая энергии определяется отношением полной мощности к коэффициенту мощности $\cos\phi$ (отклонение фаз между напряжением и током). Тем не менее, текущий реактивный ток по элементам электрических объектов и целым объектам, такие как линии электропередачи и обмотки трансформа-

Таблица 4. Достоинства ВЛ с высокотемпературными проводами

Преимущества	Объяснение
Минимальные провисания	Объясняется крепостью жил и, как следствие, минимальная возможность их обрыва.
Незатруднительный процесс разрушения обледенения	Довольно большие значения плотности тока, и как правило, более высокая температура
Повышенная пропускная способность	Высокая рабочая температура; при одном и том же сечении более низкое активное сопротивление;

торов, уменьшает часть пропускной способности проходящего по тем же элементам и объектам активного тока, создавая при этом потери, направленные на нагревающий эффект — потери активной мощности [7].

Следовательно, исходя из калькуляции стоимости за электрическую энергию, покупатель обязуется заплатить вдвойне за внепроизводственные расходы. Первая оплата — естественно за использование реактивной мощности из сети по счетчику реактивной энергии. Вторая оплата — также за реактивную энергию, но неявно, производя оплату за активные потери, обусловленные реактивной энергией, считающиеся счетчиком активной энергии. Повлиять на данное состояние можно только расположив источник реактивной мощности у потребителя. Данное введение освобождает систему от реактивного тока, тем самым уменьшает индуктивную нагрузку.

Экономическая и статистическая оценка компенсации реактивной мощности

По результатам исследования ведущих специалистов процентная часть электрической энергии составляет 35–45% от себестоимости продукта. Таким образом, уменьшение энергопотерь относится к более значимым обстоятельствам в сохранении средств и получении конкурентного приоритета.

К одному из способов по уменьшению энергопотерь относится уменьшение реактивной энергии (подъем коэффициента мощности $\cos\phi$), т.к. реактивная мощность существенно влияет на рост потерь электрической энергии. При полном отсутствии УКРМ, энергопотери составляют от 15 до 55% от среднестатистического использования энергии.

Причины энергопотерь

Следует обратить внимание, что при минимальных величинах $\cos\phi$ (0.28–0.50), трехфазные приборы учета имеют неточность показаний от 10 до 15%. Из-за этого покупателю приходится доплачивать «сверху» за допол-

нительные неточности показаний прибора учета, нарушения связанные с низким значением коэффициента мощности.

Реактивная энергия способствует ухудшению качества электрической энергии, искривлению (искажению) фаз, высшим гармоническим колебаниям, теплотерям, тяжелым нагрузкам генераторов, к резким увеличениям по частоте и амплитуде.

Процентное соотношение оборудования, влияющего на реактивную мощность

Проведем анализ разнообразного оборудования, влияющего на повышение реактивной энергии. Асинхронные двигатели — приблизительно 44%, электропечи — 7%, различные преобразовывающие устройства 7%, трансформаторы 34%, электрические провода в линиях передачи 8%. Данные сведения всего лишь приближенные, так как коэффициент мощности объектов электросетевого хозяйства находится в зависимости от их нагрузок.

Приведем пример для пояснения, если коэффициент мощности асинхронного двигателя в максимальной нагрузке составляет 0,65–0,75, а иногда и 0,8, то при незначительной нагрузке его величина составляет всего лишь 0,25–0,35. Это же явление можно отнести и к трансформаторам.

Вывод:

Одновременное применение высокотемпературных проводов и компенсация реактивной мощности с учетом температуры применяемых проводов ведут к значительному повышению пропускной способности линий и снижению потерь электроэнергии.

Затраты на приобретение проводов с повышенной пропускной способностью, а также затраты на вводимое мероприятие по компенсации реактивной мощности очень быстро окупаются при их эксплуатации.

Это доказывают результаты исследований по срокам окупаемости мероприятий по увеличению пропускной способности линий энергосистемы [8].

Литература:

1. Электроэнергетика [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/621> (дата обращения: 08.09.2016).
2. Щеглов Н. В. Современные подходы к совершенствованию и развитию воздушных линий электропередачи. / Н. В. Щеглов // Четвертая Российская научно-практическая конференция с международным участием «Линии электропередачи 2010: проектирование строительство опыт эксплуатации и научно технический прогресс» — Новосибирск. — 2010. — С. 64–70.
3. Энергетическая стратегия России: изменяющийся взгляд на развитие электроэнергетики / Н. И. Воропай, В. А. Стенников // Энергетическая политика. — 2013. — № 2. — С. 66–71.
4. Колосов, С. В. Повышение пропускной способности ВЛ: анализ технических решений / С. В. Колосов, С. В. Рыжков: — М.: ЗАО НТЦ «Электросети». — 2011. — 36 с.
5. Радкевич, В. Н. Оценка снижения потерь активной мощности в трансформаторах при установке батарей низковольтных конденсаторов / В. Н. Радкевич, М. Н. Тарасова // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. — 2014. № 5. С. 27–37.

6. Железко, Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии / Ю. С. Железко. М.: Энергоатомиздат. — 1985. — 224 с.
7. Радкевич, В. Н. Электроснабжение промышленных предприятий / В. Н. Радкевич, В. Б. Козловская, И. В. Колосова. Минск: ИВЦ Минфина. — 2015. — 589 с.
8. Бигун, А. Я. Учет температуры проводов повышенной пропускной способности при выборе мероприятий по снижению потерь энергии на примере компенсации реактивной мощности / А. Я. Бигун, С. С. Гиршин, Е. В. Петрова, В. Н. Горюнов // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1. — С. 212.

Перспективы применения системы «Умный дом»

Бубенчиков Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент;

Демидова Наталья Григорьевна, магистрант;

Горянов Виталий Игоревич, магистрант

Омский государственный технический университет

Многим знакомо такое направление литературы и киноиндустрии, как научная фантастика и те, кто заострял на ней свое внимание, не могли не отметить, как те или иные появившиеся изобретения (и теперь уже привычные нам средства обихода) будто сошли со страниц произведений [1].

Так, сотовые телефоны и планшеты родились из фантастического фильма «Стар Трек» («Звездный путь», 1979 г., США). Голосовой поиск Гугл и другие голосовые переводчики тоже родом из научной фантастики: «Первый Контакт» (1945 г. новелла Мюррея Лейнстера), «Звездный путь» и «Автостопом по галактике» (Дугласа Адамса, 2005 г.). Камеры видеонаблюдения имеют прототип в антиутопии Джорджа Оруэлла «1984» [2], а первый «умный дом» — Сара появился в американском научно-фантастическом телесериале «Эврика» в 2006 году.

И, если с телефоном, планшетом и голосовым поиском многие хорошо знакомы, то «умный дом» известен не всем. Поставив задачу, выяснить, что же такое «умный дом», я столкнулась с проблемой определения этой конструкции или явления как такового. Оказалось, что «умный дом» в самом простом и обобщенном смысле — это явление, при котором возможно дистанционное управление бытовым электрооборудованием в жилом помещении (квартире, доме или даже санатории), обеспечение безопасности и комфортного проживания. Однако пути достижения цели разные. Это может быть один контроллер, к которому через интернет-кабели подключено все оборудование, включая сотовый телефон и планшет, которые и будут являться панелями дистанционного управления (с помощью специальных приложений). А может быть комплект «умного» оборудования, с набором приложений для каждого, установленных на телефон и позволяющих так же управлять дистанционно при помощи заданных программ. Программы могут быть составлены потребителем самостоятельно, а могут быть включены производителем в настройки меню.

«Умные дома» сегодня позволяют не только облегчить быт, но и снизить (или вовсе свести к нулю) количество потребляемых ресурсов, что становится возможным благодаря обмену информацией между различным оборудованием. Более того, учитывая экологическое состояние окружающей среды, использование альтернативных источников электроэнергии (энергии солнца и ветра) в настоящее время не является роскошью, а все больше становится необходимостью, поскольку позволяет снизить траты на отопление и электроснабжение, уменьшить негативное влияние на экологию и обеспечить при необходимости полную автономию.

Под термином «умный дом» обычно понимают интеграцию следующих систем в единую систему управления зданием [3]:

- Системы управления и связи (отвечает за удаленное управление всеми электроприборами, приводами механизмов, механизацию здания, а также управление телефонной связью и локальной сетью здания);
- Система отопления, вентиляции и кондиционирования (обеспечивает благоприятный климат в доме в заданном режиме);
- Система освещения (экономит электроэнергию за счет рационального использования естественного освещения);
- Система электропитания здания (обеспечивает бесперебойное питание, автоматически переключая на альтернативные источники электроснабжения);
- Система безопасности и мониторинга (включает систему видеонаблюдения, систему контроля доступа в помещения, охранно-пожарную сигнализацию, автоматическую блокировку водоснабжения при протечке и заливе помещения, удаленное управление системами дома через телефон).

Также для сведения тепловых потерь к нулю необходимо обеспечить эффективную изоляцию. Во-первых, необходимо утеплить стены, кровлю и пол, что в дальнейшем будет способствовать экономии до 40% потре-

бляемой энергии. Во-вторых, способствовать сохранению тепла с помощью низкоэмиссионных стекол. В-третьих, снизить теплообмен с окружающей средой и сосредоточить его в помещении позволит система вентиляции с рекуперацией (пластинчатый рекуператор, который, в среднем, обладает эффективностью 50%, способен вернуть 2.4 кВт*ч энергии, что позволяет снизить затраты на отопление дома практически в два раза) [3].

Каким образом применяют альтернативные источники в системе «Умный дом»? Солнечные батареи могут быть использованы для уличного освещения; солнечные коллекторы — для нужд горячего водоснабжения, солнечные панели и/или ветровые станции — в качестве источника электроэнергии для основных потребителей. Система геотермального отопления благодаря поддержанию теплового режима позволит круглый год чувствовать себя комфортно. Дождевая вода может использоваться для технических нужд.

Этому имеется практическое подтверждение. Так, в Дании уже есть районы, застроенные исключительно «умными домами» (рис. 1).

Особенность дома (рис. 2) — большие окна, обращенные на юг. В этих окнах стоят низкоэмиссионные стекла. Аргон, закаченный внутрь стеклопакета не дает окисляться и темнеть внутреннему напылению на основе серебра (оно имеет высокую плотность атомов и не пропускает излучения длинноволнового спектра).

Таким образом, свет проникает внутрь помещения, нагревает воздух и предметы, однако тепло, излученное этими предметами, отражается стеклом обратно в комнату.

В помещении площадью 30 м² возможна экономия до 0,7 т.у.т. в год. Рекуперативная вентиляция в доме является отличным решением для кухни. Она откачивает отработанный теплый воздух и использует его тепло для



Рис. 1. Датский поселок Стенлесе Юг—результат проекта строительства экспериментального энергоэффективного поселения, ставшего крупнейшим в Европе [4]



Рис. 2. Один из первых домов, построенный с момента начала проекта



Рис. 3. «Зеленый маяк» — ориентир будущих построек в Дании с 2020 года

нагрева свежей порции. Крыша оборудована стоками, которые собирают дождевую воду в трубу, пропускают ее под землей через фильтр и скапливают в резервуаре.

В центре Копенгагена построен самый чистый дом — «Зеленый маяк» (принадлежит копенгагенскому университету, факультету естественных наук (рис. 3)). Энергоэкономии (до 75%) способствует не только оборудование, но и архитектура самого здания: стены образуют круг, что способствует постоянному проникновению солнечного света.

Внутренняя окраска, текстура стен, конструкция здания подобраны таким образом, чтобы максимально рассеивать проникающий туда свет (рис. 4). Отсутствие сплошных перекрытий между этажами способствуют свободной циркуляции воздуха и освещению помещений с восхода до заката (рис. 5). [5].

Постоянный мониторинг температуры, влажности, уровня углекислого газа и освещенности помещений производится с помощью специальных датчиков и позволяет задавать и поддерживать наиболее комфортный климат. Сенсорные датчики определяют направление и интенсивность солнечного потока и в нужный момент, при необходимости, приглушают его (специальными жалюзи). На крыше расположены ряды солнечных батарей и коллекторов, энергия которых используется на отопление и горячее водоснабжение.

Также для отопления и кондиционирования «Зеленого маяка» используется система геотермального отопления (рис. 6): 5 больших преобразователей, вкопанных на 25 метров могут собирать тепло из большого объема окружающей земли (на этой глубине температура земли остается со знаком плюс даже зимой). В контур системы закачен специальный сжиженный газ (может использоваться также жидкость с антифризом или обычная вода), который имеет низкую температуру кипения. Пар, образующийся при кипении, сжимает компрессор под сильным давлением, в результате газ в контуре нагревается до 100 градусов и выше.

Таким образом и отапливается помещение. Летом систему можно переключить в обратный режим и она будет работать в режиме кондиционирования.

Инновационный «умный дом» построен и в загородном поселке в пригороде Москвы (рис. 7). Основа — теплоизолирующие и абсолютно герметичные стены (герметичность проверяется под давлением). Стены утепляются по особой технологии: укладкой изолирующей ваты в несколько слоев под углом в 45 градусов по отношению к стене и встречно по направлению слоев друг к другу, что предотвращает утечку тепла в местах стыка с деревянными элементами конструкции) Дополнительно стены оклеивают изнутри металлизированной пленкой, которая позволяет сохранять тепло.

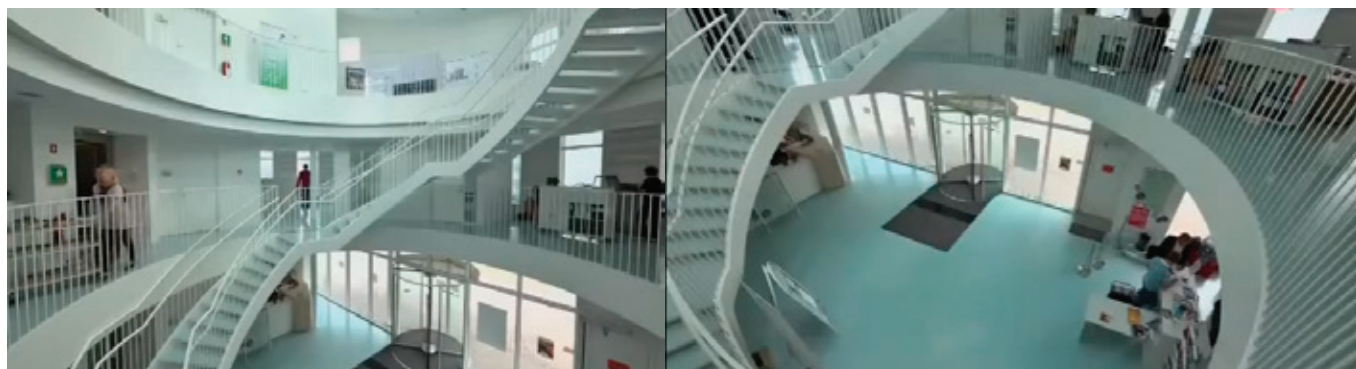


Рис. 4, Рис. 5. Внутренняя архитектура «Зеленого маяка»

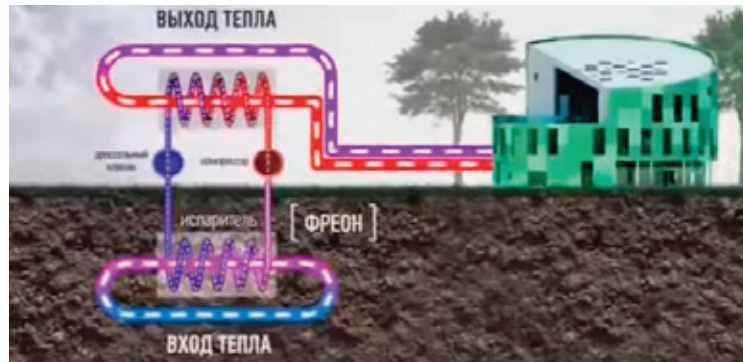


Рис. 6. Система «геотермальное отопление»



Рис. 7. Загородный дом в пригороде Москвы

В Омской области с 2012 года в Русско-Полянском районе также практикуется использование альтернативной энергетики в качестве источников электроэнергии (пока еще дополнительной). Такой способ энергоснабжения позволяет вдвое уменьшить плату за электроэнергию [6].

Однако рассмотренные случаи на территории России единичны и, к сожалению, не нашли широкого применения. Причина — в низком уровне информированности потенциальных заказчиков о технологиях и преимуществах ав-

томатизации, а также о тех реальных выгодах и улучшениях, которые она несёт [7]. Популяризовать систему «умный дом» можно несколькими способами: путем снижения стоимости системы до уровня жилья с традиционной бытовой техникой (на начальной стадии это возможно путем государственного поощрения или снижения эксплуатационных расходов) или строительством жилья, сдаваемого внаем (что позволит упростить окупаемость инвестиций) [8].

Литература:

1. 15 научно-фантастических предсказаний, воплотившихся в реальной жизни // big.picture URL: <http://bigpicture.ru/?p=319393> (дата обращения: 04.12.2016).
2. Научная фантастика, ставшая реальностью // nakonu.com URL: <http://nakonu.com/2015/08/18389> (дата обращения: 04.12.2016).
3. Тиханова Ю. А., Алешина А. С. Энергосбережение в «умном доме» // Неделя науки СПбГПУ. — 2014. — С. 175–177.
4. В Дании построили полностью энергоэффективный посёлок // ОЛИМПСТРОЙ — инновации в строительстве URL: <http://sc-os.ru/energyefficiency/169-v-danii-postroili-polnostyu-energoeffektivnyu-poselok.html> (дата обращения: 05.12.2016).
5. Умный дом за два дня // youtubeURL: https://www.youtube.com/watch?v=0Og_i5euB28 (дата обращения: 04.12.2016).
6. В Русско-Полянском районе обживают «умный дом» // gtrk-omsk URL: <http://gtrk-omsk.ru/news/93900/> (дата обращения: 04.12.2016).

7. Попова М. Ю., Сысоев А. А. Проблемы и перспективы развития системы «умный дом» в РФ // Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития. — Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. — С. 76–78.
8. Харке, В. Умный дом. Объединение в сеть бытовой техники и систем коммуникаций в жилищном строительстве. — М.: Техносфера, 2006. — 292 с.

Определение энергетических и аэродинамических характеристик ротора Савониуса

Бубенчиков Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент;
Демидова Наталья Григорьевна, магистрант;
Мальков Николай Григорьевич, магистрант;
Горянов Виталий Игоревич, магистрант;
Артамонова Елена Юрьевна, аспирант
Омский государственный технический университет

В статье произведён анализ публикаций, касающихся исследования аэродинамических и энергетических характеристик ротора Савониуса. После проведённого анализа. Приведены основные достоинства и недостатки роторов данного типа.

Ключевые слова: ротор Савониуса, ветроэнергетическая установка.

Ротор Савониуса — это конструкция с лопастями, имеющими форму цилиндрических поверхностей. Основным достоинством данного ротора является возможность запускаться при минимальных скоростях ветра — от 3 м/с. Также к достоинствам относятся быстрый рост характеристик крутящего момента, конструкция надежна, низкая стоимость производства. К недостатку можно отнести малый коэффициент полезного преобразования воздушного потока, поэтому мощность данных устройств не превышает 4–6 киловатт. Наиболее часто ротор Савониуса используется в комбинированных устройствах, применяемых для разгона ветрогенераторов, построенных по схеме ротора Дарье.

В работе Даржани И. И. [9] проводятся исследования ротора Савониуса без нагрузки и с нагрузкой. Для холостого хода исследовались параметры авторотации ротора Савониуса. Под нагрузкой определялась электрическая мощность, снимаемая при помощи электрогенератора, соединенного с ВЭУ, а также проводились тензометрические измерения статических аэродинамических характеристик лопастей модели ВЭУ при различных фазах поворота относительно оси ротора и вектора скорости набегающего потока. Полученные в работе результаты имеют методическое и практическое значение, в частности, они будут важны для верификации разрабатываемых вычислительных моделей. В результате проведённых в работе экспериментов в аэродинамической трубе А-10 НИИ Механики МГУ, максимально достигнутый КПД равнялся 21%.

Сизов Д. А. в своей диссертации рассматривает [13] ветроэнергетические установки (ВЭУ) двух типов: с горизонтальной и с вертикальной осью вращения ротора. Для

небольших хозяйств и бытовых нужд он рекомендует использовать вертикальноосевые установки, в частности, ВЭУ с ротором Савониуса, так как они имеют простую конструкцию, не требуют ориентации на ветер и обладают большим начальным моментом.

В работе Пьянкова К. С. и Топоркова М. Н. рассмотрено течение в двумерной постановке в рамках уравнений Навье-Стокса в роторах ветрогенераторов с вертикальной осью типа Дарье и Савониуса, а также их комбинации. Проведено параметрическое исследование характеристик ротора Дарье. Для всех конфигураций рассчитаны зависимости коэффициентов момента и мощности от параметра быстроходности ротора. Проведено исследование возможности автозапуска ротора Дарье из состояния покоя [10]. Метод, развитый в работе, обеспечивает безударное течение в местной сверхзвуковой зоне при небольшом уменьшении площади продольного сечения профиля и при практически неизменной подъемной силе. Данный метод расширяет идею использования «фиктивного» газа, применяемую ранее. Отличие заключается в способах возможности конструирования фиктивного газа, а также в численной реализации. Ранее расчет стационарного обтекания исходных профилей фиктивным газом производился в рамках потенциального приближения с использованием весьма специфических, развитых только для этого приближения численных процедур. В этой работе это делается в рамках процедуры установления, ставшей наиболее распространенным и простым в реализации методом расчета смешанных течений.

Рисунок 1 поясняет их на примере коррекции профиля NASA 6412, обтекаемого потоком с $M_\infty = 0,64$ на угле атаки $\alpha = 2^\circ$. Исходный профиль обтекается с образованием скачка уплотнения (рисунок 1.а).

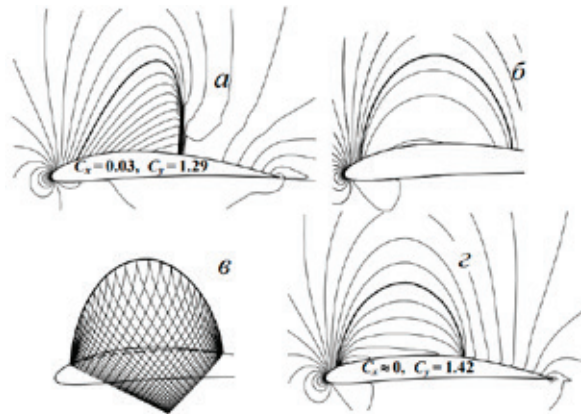


Рис. 1

а — обтекание исходного профиля (NACA — 6412) совершенным газом; б — фиктивным газом;
в — расчет сверхзвукового течения методом характеристик от полученной в пункте б звуковой линии;
г — обтекание модифицированного профиля совершенным газом

Коэффициенты волнового сопротивления и подъемной силы данного профиля $C_x \approx 0,030$ и $C_y \approx \frac{2Y}{L\rho_\infty V_\infty^2} \approx 1,29$. На

рисунке 1б отображена картина безударного обтекания того же профиля композитным газом. За пределами звуковой линии, где давление больше критического, соответствующего «звуковому» потоку, композитный газ тождественен «нормальному», например, совершенному газу. Во внутренней области нормальный газ заменяется «ненормальным», то есть фиктивным, в котором при стационарном течении скорость потока не превышает скорость звука, вследствие этого невозможны ударные волны. На звуковой линии все термодинамические параметры, скорость звука, модуль скорости потока и число Маха $M=1$ совпадают в обоих газах.

На рисунке 1.в показано как методом характеристик решается соответствующая задача Коши, при этом используя в качестве изначальных данных полученные при обтекании композитным газом параметры на звуковой линии. Если течение без пересечений одноименных характеристик удастся построить до «нулевой» линии тока, которая соединяет без изломов звуковые точки исходной образующей, то данная линия тока дает искомый участок контура суперкритического тела. В другом случае степень отличия фиктивного газа от нормального придется увеличить, что, может привести к большей степени отличия площади исходного и модифицированного контуров.

На рисунке 1.в при десятикратном уменьшении числа характеристик каждого семейства, нарисована характеристическая сетка, которая получается в процессе расчета сверхзвукового течения методом характеристик. На этом же рисунке сплошной кривой и штрихами отображены участки контуров исходного и суперкритического профилей. По сравнению с исходным площадь продольного сечения суперкритического профиля уменьшилась на 6.4%.

Рисунок 1.г дает найденное установившимся полем чисел Маха, которое получается при обтекании суперкритического профиля нормальным, то есть совершенным газом. Для $M_\infty = 0,64$ и $\alpha = 2^\circ$ при нулевом волновом сопротивлении его $C_y \approx 1,42$ [10].

В своей научной деятельности Редчица Д. А. [11] сформулирована постановка задачи динамики и аэродинамики роторов вертикально-осевых ветроустановок. Разработана математическая модель для расчета аэродинамических и энергетических характеристик ветроустановок на базе нестационарных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (URANS) несжимаемой жидкости. При анализе модели турбулентности использовалась однопараметрическая дифференциальная модель турбулентности SALSA. При нахождении оптимального решения системы исходных уравнений было получено с помощью неявного конечно-объемного численного алгоритма, который основан на методе искусственной сжимаемости и многооблачных вычислительных технологиях. Был детально рассмотрен анализ течения вокруг ротора Савониуса. Выделены основные стадии формирования вихревой структуры при вращении ротора. Стало известно влияние числа Рейнольдса и коэффициента быстроходности на энергетические характеристики ротора Савониуса.

Процессы аэродинамики ветроагрегата описываются определенными по Рейнольдсу уравнениями Навье-Стокса несжимаемой жидкости и выглядят следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = 0 \\ \frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial(u_i u_i)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[V_{eff} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \end{cases} \quad (1)$$

где x_i , $i = 1, 2$ — декартовы координаты (x , y); t — время; u_i — декартовы составляющие вектора скорости

(u, v) ; p — давление, ρ — плотность; $V_{eff} = v + v_t$ — эффективный коэффициент кинематической вязкости; v , v_t — молекулярный и турбулентный коэффициенты кинематической вязкости.

При составлении модели турбулентности используется однопараметрическая дифференциальная модель турбулентности Spalart-Allmaras, адаптированная к тензору скоростей деформации (SALSA).

Система исходных уравнения (1) замкнутая дифференциальной моделью турбулентности, записывалась относительно произвольной криволинейной системы координат. Согласование полей давления и скорости осуществлялась с помощью метода искусственной сжимаемости, модифицированного для расчета нестационарных задач. Для создания дискретного аналога исходных уравнений вокруг ротора ВО ВЭУ в качестве базовых использовались регулярные сетки. В неоднородных областях применялись многоблочные вычислительные технологии, в которых размерность отдельных пересекающихся сеток (блоков) не связана между собой. Такой подход дает нам право выработать единую методологию расчета течений вязкой жидкости вокруг роторов ВО ВЭУ сложной геометрической формы.

Данная система исходных уравнений интегрировалась численно с использованием метода контрольного объема. Для конвективных потоков использовалась противопоточная аппроксимация, основанная на схеме Р. Роу третьего порядка точности. В моделях турбулентности для аппроксимации конвективных слагаемых применялась схема TVD с ограничителем потоков ISNAS третьего порядка. Производные в вязких членах аппроксимировались центрально-разностной схемой второго порядка.

Алгоритм решения уравнений основан на трехслойной неявной схеме с подытерациями по псевдовремени второго порядка точности по физическому времени.

В статье Горелова Д. Н. приведены результаты экспериментального исследования двухъярусного ротора Савониуса с оптимальным соотношением геометрических характеристик в гидроканале в условиях практического отсутствия влияния границ потока. Было обнаружено, что полезная мощность вырабатывается ротором в диапазоне изменения числа быстроходности от нуля до единицы, а максимальное значение коэффициента использования энергии потока достигает 20% [8].

Аскарным Е. С. [6] была рассмотрена более простая модель ветровой энергетической установки с ротором Савониуса и неподвижной осью.

В статье Рожковой Л. Г. [12] рассмотрены основные критерии выбора типа, конструкции и размеров ветроколеса для вертикально-осевых ветроустановок с точки зрения его эффективности. Даны обоснованные рекомендации по выбору типа лопастей, их количества в ветроколесе, конструкции крепления лопастей, а также номинальной скорости ветра для расчета мощности ВУ.

В статье Джеффа Уолли, Мэтти Джонсона и Брайана Макмиллана [2] спроектирована модель ротора Саво-

ниуса и произведен ее анализ для определения турбулентных эксплуатационных свойств. Из предыдущих исследований был сделан вывод, что по сравнению с общей осью ветровых турбин в ламинарном потоке ротор Савониуса является более эффективным. Для создания имитации турбулентности использовались роторы различных ориентаций. При изменении ориентации были получены снижение затрат на производство электроэнергии от 20% до 55%.

В работе Роговски К. (Rogowski.K) и Маронски Р. (MaronskyR.) [4] при помощи вычислительной динамики и приложения ANSYSFluent проводится анализ двумерного ротора Савониуса. Для оценки аэродинамической силы используется динамика жидкости. Помимо этого, выполняется анализ различных результатов турбулентности. Полученные результаты сравниваются с результатами, полученными ранее в экспериментальной лаборатории Sandia National.

В работе Simonds M. H. и Bodek A. [5] проводились эксперименты производительности ротора площадью 18 квадратных футов. Выходной вал был задан тормозным моментом, оказываемым ленточным тормозом. Частота вращения вала зависела от скорости ветра. Были получены интересные результаты, а именно: зависимость от крутящего момента, а также что при использовании ротора Савониуса система представляет собой практичный вариант ветряной мельницы, примерно в два раза эффективнее обычного вентилятора мельницы. При использовании для перекачивания воды, диаметр мембранного насоса должен быть выбран в соответствии с используемой общей насосной головкой. Система лучше всего подходит для перекачивания, когда глубина скважины не превышает 20 футов. Дальнейшее усовершенствование ротора Савониуса должно выполняться в двух направлениях. Первое — необходимо исследовать влияние изменений в форме лопастей ротора, и т. д., путем проведения исследований в аэродинамической трубе. Второе — нужно выбрать материалы в зависимости от конкретных условий.

В статье Джина Люка Менета (Jean-Luc Menet) и Начида Бурабана (Nachida Bouraba) [1] говорится, что, хотя аэродинамические характеристики ветровых турбин Савониуса были достаточно исследованы, но по этим исследованиям получены разногласия, затрудняющие сравнение результатов. На основании данных исследований можно определить исходные параметры и доказать возможность улучшения аэродинамических параметров ротора Савониуса при помощи изменения геометрических размеров. В данном исследовании предлагается использовать ротор Савониуса с двумя лопастями и торцевыми пластинами. Высота ротора должна быть вдвое больше его диаметра. Отношение первичного перекрытия должно быть в пределах от 0,15 до 0,3 диаметра лопасти, тогда как отношение со вторичным перекрытием должно быть равно 0. Данное исследование применяется для численного моделирования потока. В результате моделирования получаются оптимальные геометрические размеры ро-

тора. Результатом данного моделирования являются не только точные параметры потока, но и аэродинамическое поведение ротора. Результаты сравниваются с экспериментальными данными. В частности, возможно прогнозирование аэродинамических моментов для нескольких геометрических конфигураций. Влияние центрального вала изучаются на основании геометрических парамет-

тров внешнего шасси. Влияние числа Рейнольдса исследованы. Вышеперечисленное позволяет определить оптимальную геометрическую конфигурацию ротора.

Mahmoud N.H., El-Haroun A.A., Wahba E. [3] изучали ветровые турбины Савониуса, имеющие различные геометрические параметры, для определения наиболее эффективных.

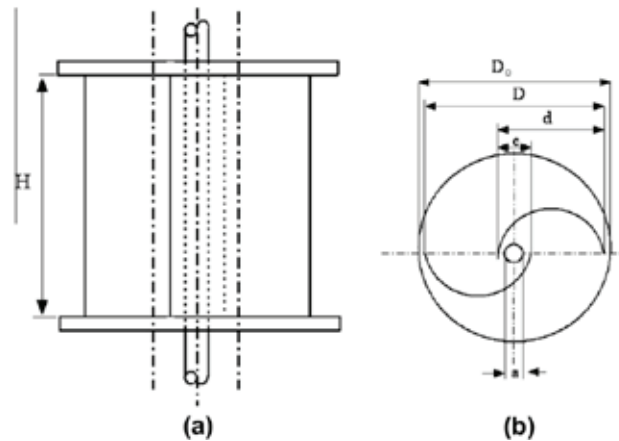


Рис. 2. Схема одноступенчатого ротора Савониуса: а — вид сбоку; б — вид сверху

В результате было установлено, что ротор с двумя лопастями является более эффективным, чем ротор с тремя или четырьмя лопастями. Ротор с торцевыми пластинами более эффективен, чем без них. Двухступенчатые роторы более эффективны по сравнению с одноступенчатыми. Роторы, не имеющие коэффициента перекрытия, являются лучшими в эксплуатации по сравнению с имеющими данный коэффициент. Также было определено, что коэффициент мощности возрастает с ростом соотношения сторон.

На основании проведенного исследования работ этих авторов, можно представить основные аэродинамические и энергетические характеристики, принцип работы,

а также основные достоинства и недостатки ротора Савониуса.

Генераторы на основе ротора Савониуса зарекомендовали себя с наилучшей стороны и имеют довольно широкое использование для качественного функционирования бытовых электростанций. По своей конструкции подобные роторы являются ветроколесами с несколькими полуцилиндрами, которые непрерывно вращаются вокруг своей оси. Плюсы такого ротора состоят в следующем: ветроколесо постоянно вращается в одну и ту же сторону и абсолютно не зависит от направления ветрового потока. Минусы же подобного ветрогенератора в низком коэффициенте использования энергии ветрового потока.

Литература:

1. Jean-Luc Menet, Nachida Bourabas Increase in the Savonius rotors efficiency via a parametric investigation [электронный ресурс] // http://educyclopedia.karadimov.info/library/23_1400_jeanlucmenet_01.pdf (дата обращения 18.10.16)
2. Jeff Whalley, Matt Johnson, Brian MacMillin Effect of Turbulence on Savonius Rotor Efficiency [электронный ресурс] // [http://www.me.rochester.edu/courses/ME241.gans/SavoniusRotors\(7\).pdf](http://www.me.rochester.edu/courses/ME241.gans/SavoniusRotors(7).pdf) (дата обращения 18.10.16)
3. Mahmoud N.H., El-Haroun A.A., Wahba E. An experimental study on improvement of Savonius rotor performance [электронный ресурс] // http://ac.els-cdn.com/S111001681200049X/1-s2.0-S111001681200049X-main.pdf?_tid=f77caf3a-951f-11e6-8095-00000aab0f01&acdnat=1476787701_e632ae06184035ad9b52d9db13533db3 (дата обращения 18.10.16)
4. Rogowski K, Maronsky R. CFD computation of the Savonius rotor // Journal of Theoretical and Applied Mechanics. — 2015. — pp. 37–45
5. Simonds M.H., Bodek A. Performance Test of Savonius rotor // http://www.pssurvival.com/ps/Windmills/Performance_Test_Of_A_Savonius_Rotor_1964.pdf (дата обращения 18.10.16)
6. Аскарлов Е. С. Ветровая энергетическая установка с ротором Савониуса и неподвижной осью // Вестник машиностроения. — 2012. — № 10. — С. 85–87

7. Ветрогенераторы с вертикальной осью вращения российского производства [электронный ресурс] // <http://www.ekopower.ru/vetrogeneratoryi-s-vertikalnoy-osyu-vrashheniya-rossiyskogo-proizvodstva/#rotor-savoniusa> (дата обращения 18.10.16)
8. Горелов Д. Н. Экспериментальное исследование энергетических характеристик двухъярусного ротора Савониуса // Теплофизика и аэромеханика, том 12.2005. — № 4. — С. 693–696
9. Даржания И. И. Экспериментальное исследование модели ротора Савониуса [электронный ресурс] // <https://istina.msu.ru/conferences/presentations/8793394/> (дата обращения 18.10.16)
10. Пьянков, К. С. Математическое моделирование течения в ветрогенераторах с вертикальной осью / К. С. Пьянков, М. Н. Топорков // Известия РАН. Механика жидкости и газа. — 2014. — № 2. — С. 125–135
11. Редчиц Д. А. Численное моделирование нестационарных турбулентных отрывных течений при обтекании ротора Савониуса // Авиационно-космическая техника и технология, 2008. — № 5 (52). — С. 53–58
12. Рожкова Л. Г. Критерии выбора типа, размеров и конструкции ветроколеса вертикально-осевой ветроустановки // Журнал «Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук», 2016. — № 1. — С. 98–104
13. Сизов Д. А. Развитие и применение метода дискретных вихрей в задачах аэродинамики и динамики ротора Савониуса [электронный ресурс] // <http://fizmathim.com/gazvitie-i-primenenie-metoda-diskretnyh-vihrey-v-zadachah-aerodinamiki-i-dinamiki-rotora-savoniusa> (дата обращения 18.10.16)

Экологическая экспертиза ветроэнергетической установки

Бубенчиков Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент;
 Демидова Наталья Григорьевна, магистрант;
 Мальков Николай Григорьевич, магистрант
 Омский государственный технический университет

В данной работе проведен анализ экологических аспектов влияния ВЭУ на окружающую среду. Подробно описаны негативные факторы, влияющие на окружающую среду при строительстве и эксплуатации ветроэнергетических установок.

Ключевые слова: экологическое влияние ВЭУ, строительство, эксплуатация.

В настоящее время среди альтернативных способов производства электроэнергии наиболее распространенным является ветроэнергетика. Ветроэнергетические установки (ВЭУ) функционируют в большинстве стран, причем в некоторых они используются уже более 100 лет [5].

В последние десятилетия повышение интереса к ветроэнергетике как виду возобновляемых источников энергии (ВИЭ) связано с их экологической безопасностью.

Однако действительно ли это безопасно? Абсолютной экологической безопасности не существует, как не существует и нулевого риска.

Если внимательно проанализировать информацию, подтверждающую экологическую чистоту различных видов ВИЭ, то не сложно заметить, что под экологической чистотой подразумевается отсутствие негативных воздействий на окружающую среду, свойственных традиционной энергетике. Возможность других воздействий, специфичных для ВИЭ либо не рассматривается, либо оценивается поверхностно и недостаточно объективно.

Довольно часто, аргументируя экологическую безопасность ВИЭ, прибегают к оценке влияния ВИЭ на

здоровье человека. При оценке воздействия ВИЭ на животный мир, используются те же критерии, что не является корректным. В этой статье представлен обобщенный анализ материалов, на основании которых можно объективно оценить экологическую безопасность объектов ветроэнергетики. Выделены основные аспекты, на которые необходимо обратить внимание при разработке проектной документации, предназначенной для прохождения государственной экологической экспертизы.

Анализ воздействия ВЭУ на окружающую среду должен проводиться для основных этапов жизненного цикла: производство энергетического оборудования, строительство объекта, его эксплуатация, его ликвидация с утилизацией морально и физически износившихся элементов [7].

Производство ветроэнергетического оборудования.

В настоящее время самой мощной в России считается ВЭС в Калининградской области, (суммарная мощность составляет 5,1 МВт). На всех существующих ВЭС в России производится всего 0,1% от всей вырабатываемой в стране энергии, а их суммарная установленная мощность составляет около 13 МВт [8].

Анализируя состав оборудования, используемые для его изготовления и строительства материалы, можно прогнозировать виды негативного воздействия, характерные для энергетического машиностроения, электротехнической, металлургической, полимерной индустрии, промышленности строительных материалов. Количественная оценка влияния производства ветроэнергетических установок на человека и природу должна быть проведена на стадии проектирования объектов массового производства.

Строительство ВЭС

Состав воздействий на окружающую природную среду в процессе строительства ВЭС — это загрязнение атмосферы, водных объектов и почвы, размещение отходов, отторжение сельскохозяйственных и лесных земель, нанесение вреда растительному и животному миру.

Характер и источники воздействия на окружающую среду при строительстве ВЭС мало чем отличаются от соответствующих показателей других объектов капитального строительства. Источниками негативного воздействия на окружающую среду при производстве строительно-монтажных работ являются процессы: строительства и ремонта дорог; инженерной подготовки территории; закладки фундаментов ВЭУ и устройства для их монтажа специальных площадок; сборки и монтажа ветроустановок; строительства ЛЭП, групповой повышающей подстанции (ГПП) и других объектов схемы выдачи мощности ВЭУ и ВЭС; строительство и оснащение ремонтно-эксплуатационной базы (РЭБ) ВЭС с центральным пунктом управления (ЦПУ); строительство и демонтаж временных зданий и сооружений, рекультивация земель, благоустройство территории; жизнедеятельность строительного персонала и др. [9].

Воздействие на атмосферу

Нагрузка на воздушную среду происходит в процессе строительства. Выбросы загрязняющих веществ автомобилями, строительными машинами и механизмами, загрязнение атмосферы при проведении сварочных и окрасочных работ, использование сыпучих строительных материалов — все это способствует попаданию в окружающую среду оксидов углерода и азота, диоксидов азота и серы, бензина, керосина, сажи, пыли и некоторых других веществ [9].

Воздействие на водные объекты

При проведении строительных работ, основными источниками загрязнения вод (как поверхностных, так и подземных) могут быть производственно-строительные сточные воды, загрязненные ливневые стоки и хозяйственно-бытовые сточные воды. Производственно-строительная сточная вода (используемая в цементных растворах, при окрасочных работах) не попадает в окружающую среду, так как ее расход безвозвратен. Ливневые сточные воды, содержат преимущественно взвешенные вещества и нефтепродукты. В случае отсутствия ливневой

канализации отвод зачастую происходит на рельеф местности, откуда они проникают в водные подводные горизонты или поверхностные водные объекты [9]. Хозяйственно-бытовые воды транспортируют со строительной площадки в отдельных емкостях в специализированные организации для очистки и обезвреживания.

Образование отходов

Отходы, образующиеся в процессе строительства, относятся преимущественно к IV и V классам опасности: древесные отходы от подготовки территории, загрязненную почву, отходы бетона в кусковой форме, отходы битума и асфальта, строительный щебень, потерявший потребительские свойства, лом цветных и черных металлов, остатки и огарки стальных сварочных электродов, отходы изолированных проводов и кабелей, мусор от бытовых помещений, тару железную, загрязненную засохшими лакокрасочными материалами и др. [9].

Воздействие на растительный и животный мир

Характер и источники воздействия на окружающую среду при строительстве крупных объектов ветроэнергетики принципиально не отличаются от соответствующих показателей других объектов капитального строительства. Проведение этих работ сопровождается загрязнением атмосферы, водных объектов и почвы, размещением отходов, нанесением вреда растительному и животному миру [7].

Воздействие на земельные ресурсы

ВЭУ занимают только 1% от всей территории ветропарка, а оставшаяся часть земельных угодий, по современным оценкам, может быть использована в сельском хозяйстве или других видах деятельности [4]. Однако, в настоящих условиях в России, наряду с другими странами, ветропарк является режимной территорией, как крупный энергетический объект. Вход на нее должен быть ограничен, согласно требованиям безопасности людей [5].

Эксплуатация

Расчетный срок эксплуатации современных ВЭС составляет 25 лет. В процессе эксплуатации ВЭС оказывают воздействие на человека, флору и фауну, атмосферный воздух, водные объекты и землепользование в виде шумов, вибраций, электромагнитного излучения, оптических эффектов, механического воздействия и отходов эксплуатации. Рассмотрим подробнее.

Воздействие шума

Согласно недавним исследованиям американских ученых [3], шум, производимый современными ВЭУ, не приводит к негативным последствиям для здоровья людей, проживающих рядом с ветропарком. Современные ВЭУ создают при работе очень низкие уровни инфразвукового шума. Шум, производимый 10-ю ветрогенераторами на расстоянии 350 м можно оценить, как незначительный, не отличимый от других шумов в обычной жизни. Однако если происходят изменения слуха в сторону ухудшения, то

причиной может стать психологический фактор: восприятие шума зависит от отношения самого человека к звуковому источнику [3].

Визуальное воздействие

Негативное влияние на здоровье человека может быть вызвано стробоскопическим эффектом от мерцания тени при вращении лопастей ветрогенератора. Современные лопасти ВЭУ характеризуются пониженной отражающей способностью, практически исключают этот эффект.

Кроме этого, строительство ВЭУ принципиально меняет вид всего ландшафта-он становится приближенным к техногенному. В развитых странах значительная часть населения поддерживает строительство ветропарков (к примеру, во Франции — 69% населения готовы вложить средства в строительство ВЭС [2]), рассматривая их не как техногенный объект, а как символ экологически чистой энергии. Так же важен исходный характер территории. В случаях, когда ветропарк размещается в ранее безлюдных местах, при постепенном заселении он не будет восприниматься критично. Для снижения негативности данного аспекта к работе привлекаются профессиональные дизайнеры и ландшафтные архитекторы.

Воздействие вибраций

При эксплуатации ВЭУ основным источником вибрации являются лопасти ротора. Современная конструкция ВЭУ не передает вибрации на окружающие объекты при условии, что масса ее неподвижной части в 16 и более раз превышает массу подвижной части. При таком соотношении масс вибрация отдельных вращающихся элементов ВЭУ полностью затухает на уровне несущего элемента основания [7].

Влияние ВЭС на животный мир

Наибольшее количество вопросов вызывает воздействие ветропарков на орнитофауну.

При оценке влияния следует учитывать количество ВЭУ в ветропарке и его протяженность, поскольку способность к адаптации у разных групп орнитофауны отличается. Попадание птиц в протяженные ветропарки может вызвать их дезориентацию и привести к увеличению процента гибели. А летучие мыши, попавшие в область пониженного давления (возле концов лопастей ветрогенератора), могут получить баротравму. У более 90% летучих мышей, найденных рядом с ветряками, обнаружены признаки внутреннего кровоизлияния [5]. Поэтому для составления корректных оценок следует ориентироваться на процент гибели отдельных видов. Особое внимание необходимо уделить анализу воздействий на редкие и охраняемые виды орнитофауны.

На мигрирующие формы объекты ветроэнергетики могут оказывать «отпугивающий эффект», заставляющий их менять маршрут своего привычного движения [6]. Расширение площади ветропарков может привести к нарушению миграционного пути. Особенную опасность для мигрирующих водоплавающих птиц представляет перелет через участок пустыни.

Под влиянием «фактора беспокойства» многие животные покидают свои местообитания, что, учитывая площади ветропарков, может привести к снижению биоразнообразия на обширных территориях.

Чувствительность многих представителей животного мира к шуму и вибрациям значительно выше, чем у человека. Более того, диапазон звуковых колебаний, воспринимаемых животными, во многих случаях отличается от человеческого. Оценка влияния ВЭУ на животных по параметрам, применимым для человека, не является корректной. Чтобы полностью отразить уровень воздействия ВЭУ на животных, оценка должна проводиться по специальным параметрам, применимым в пределах одного вида.

Влияние ВЭС на растительность

По последним исследованиям [4] работа ветрогенераторов может способствовать увеличению урожая зерновых культур и сои. Согласно результатам, в непосредственной близости от ВЭУ наблюдается улучшение вывода углекислого газа из почвы, что в свою очередь способствует фотосинтезу и росту зерновых культур и сои. «Турбулентный поток, создаваемый ВЭУ, может ускорить естественные обменные процессы между хлебными злаками и приземным слоем атмосферы, а также может помочь высушить росу, которая появляется на растениях во второй половине дня, уменьшая вероятность их поражения грибковыми заболеваниями. Более того, сухие зерновые культуры позволяют фермерам уменьшить стоимость сушки зерна после сбора урожая» [4].

Утилизация лопастей генераторов при ликвидации объекта

В настоящий момент, утилизация лопастей ветрогенераторов из композитных материалов является существенной проблемой ветроэнергетики.

За рубежом предлагается несколько вариантов решения. Первое-это вторичное использование. Так, в Германии уже открываются компании, специализирующиеся на восстановлении роторных лопастей [10]. По их мнению, регенерированные лопасти не уступают по прочности новым, более того, предполагаемый рабочий ресурс составляет не менее 20 лет. Однако, такой вариант решения еще находится в разработке. Второй вариант — создание высокоэффективных технологий деления ингредиентов — может оказаться экономически нецелесообразным. К примеру, деление стекловолокна от эпоксидной смолы можно выполнить способом пиролиза, однако, для осуществления этого процесса необходимы печи, учитывающие конструкции лопастей, которые так же необходимо построить. Поэтому предлагается третий вариант — технология измельчения лопастей в маленькие гранулы — рециклит. Данный продукт служит наполнителем при производстве пластмасс или новейших волокнистых композиционных материалов [10]. Поскольку это полностью не решает проблемы утилизации лопастей, (так как порция рециклита в новейших продуктах не должна превышать 40%), допол-

нительно можно использовать технологию, в которой термическая утилизация смешивается с рециклингом материала. Так, для нагрева сырья до высоких температур (1400 градусов Цельсия и выше) в качестве горючего (пусть и малокалорийного) можно использовать измельченные лопасти ветрогенератора, а из золы, остающейся после сгорания, можно вытянуть еще и песок. Сегодня эта разработка проходит тесты на севере Германии. Аналогичный метод, получивший распространение в России, заключается в нагревании без доступа кислорода при 500°C, в результате которого волокна лопастей можно повторно использовать, а образующийся газ сжигать для получения электроэнергии.

К сожалению, на данный момент предлагаемые методы находятся в стадии разработки, а применяемые методы (такие как механическое измельчение, сжигание и пиролиз,) обладают рядом недостатков, что не позволяет заявить о решении проблемы переработки лопастей в полной мере.

Электромагнитное загрязнение

Форма физического загрязнения окружающей среды, связанная с нарушением ее электромагнитных свойств называется электромагнитным загрязнением [1]. Этот экологический аспект свойственен всем объектам энергетики и отличается лишь величиной напряженности и как

следствие уровнем воздействия на организмы животных и растений. Не зависимо от того, что этот вопрос изучен еще недостаточно, совершенно очевидно, что на участках, окружающих крупные объекты ветроэнергетики, напряженность электромагнитного поля будет отличаться от фонового уровня.

На основе приведенного выше анализа экологических аспектов можно сделать следующие выводы:

1. Строительство и эксплуатация объектов ветроэнергетики сопровождается воздействием на окружающую среду, поэтому в соответствии с принятой Международной классификацией их проекты следует отнести к «категории В».

2. Оценка экологической безопасности должна производиться с учетом масштаба объектов ветроэнергетики, поскольку экологические аспекты, свойственные каждой категории, имеют существенные различия.

4. Степень и характер воздействия объектов ветроэнергетики на окружающую среду во многом определяется конкретными условиями в районе их размещения.

5. При проектировании крупных ветропарков, необходимо проведение полномасштабных инженерно-экологических изысканий в том же объеме, что и для других объектов капитального строительства.

Литература:

1. ГОСТ 30772–2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения. — Введ. 2002–07–01. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. — П. 6.12.
2. France: wind energy solution in energy transition // Ewea blog. Breath of FRESHAIR. — URL: <http://www.ewea.org/blog/2014/04/france-wind-energy-solution-energy-transition/> (дата обращения: 15.11.16).
3. New US study says ‘wind turbine syndrome’ does not cause health problems // Ewea blog. Breath of FRESHAIR. — URL: <http://www.ewea.org/blog/2012/01/new-us-study-says-wind-turbine-syndrome-does-not-cause-health-problems/> (дата обращения: 17.11.16).
4. While generating green electricity, wind power might also help crops // Ewea blog. Breath of FRESHAIR. — URL: <http://www.ewea.org/blog/2011/01/while-generating-green-electricity-wind-power-might-also-help-crops/> (дата обращения: 15.11.16).
5. Безносков В. Н. Оценка экологической безопасности объектов ветроэнергетики / В. Н. Безносков, А. Л. Суздалева, И. А. Эль-ШаирХаям. // Малая энергетика. — 2011. — № 3–4. — С. 37–43.
6. Горлов П. И. Методики изучения миграций птиц на территориях ветровых электростанций / П. И. Горлов, В. Д. Сиохин, В. В. Осадчий, и др. // Біологічний вісник. — 2016. — № 1. — С. 8–28.
7. Ермоленко Б. В. Экологические аспекты ветроэнергетики / Б. В. Ермоленко, Г. В. Ермоленко, М. А. Рыженков. // Теплоэнергетика. — 2011. — № 11. — С. 72–78.
8. Ермоленко Г. В. Реализация проектов ветроэнергетики в России / Г. В. Ермоленко // Институт энергетики НИУ ВШЭ. — 2015. — 13 с.
9. О воздействии ветроэнергетики на здоровье человека и окружающую среду // LiveJournal. — URL: <http://gprussia.livejournal.com/1518967.html> (дата обращения: 18.11.2016).
10. Сложность утилизации лопастей ветряных мельниц. Срок службы ротора современной ветроустановки // ВЕТРОДВИГ.RU. — URL: <http://vetrodvig.ru/slozhnost-utilizacii-lopastejj-vetryanykh-melnic-srok-sluzhby-rotora-sovremennoj-vetroustanovki/> (дата обращения: 24.10.2016).

Ветроэнергетика как источник электрической энергии

Бубенчиков Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент;

Киселёв Глеб Юрьевич, студент;

Скороходов Вячеслав Игорьевич, студент;

Боева Лилия Викторовна, студент;

Киселёв Богдан Юрьевич, ассистент;

Шкандюк Денис Олегович, студент

Омский государственный технический университет

В данной статье рассмотрены проблемы современной энергетики. Изложен один из путей решения данной проблемы с помощью развития ветроэнергетики. Рассмотрены ветроэнергостанции, их автоматизированная система управления, недостатки и пути решения.

Ключевые слова: регенеративная энергия, возобновляемые источники энергии, ветроустановки, ветроэнергетика.

Запасы органического топлива, такого как нефть, природный газ, каменный уголь, резко сокращаются, а также использование их в электроэнергетике приносит огромный ущерб окружающей среде. По оценкам специалистов, при настоящем использовании угля, его хватит приблизительно на 400–500 лет, а нефти и газа около 100 лет. Ввиду этого, человечеству необходимо освоить регенеративные источники энергии [1].

Энергия ветра с древних времен по сегодняшний день рассматривается как экологически чистый регенеративный источник энергии. Ветры дуют всегда и во всех точках земного шара и это их значительное преимущество перед другими видами регенеративных источников энергии. Отсюда следует вывод, нужно «запрячь ветер в упряжку» и заставить его работать на нас.

В тропосфере, на высоте около 8–12 км от поверхности Земли, образуются мощные воздушные течения, называемые струйными. Характеристики струйных и приземных воздушных течений существенно отличаются. Диаметрально струйные течения достигают от 300 до 3000 км, а их протяженность до 1000 км. Скорость воздуха в ядре струйного течения в среднем составляет 45–55 км/ч и может достигать даже 200 км/ч. Энергетический потенциал ветра на нашей планете очень велик и по оценкам Всемирной метеорологической организации составляет 170 триллионов кВт·ч в год. Это дает возможность выработки энергии ветроустановками в количестве $1,18 \cdot 10^{13}$ кВт·ч в год, что многократно превосходит количество потребляемой энергии во всём мире. Ветроустановки чаще всего используют приземные воздушные течения, на высоте до 50–70 м от земной поверхности. Важнейшая характеристика, определяющая энергетическую ценность ветра — это его скорость. Вследствие огромного влияния различных факторов, скорость и направление ветра изменяются по случайному закону. Ещё одна не менее важная характеристика ветра — это его вертикальный профиль, то есть характер изменения скорости ветра в приземных слоях атмосферы [2].

Кинетическая энергия ветра, как известно из курса физики, пропорциональна кубу его скорости. Удельная мощ-

ность ветрового потока с сечением в 1 м^2 при температуре $t = +15^\circ\text{C}$, давлении $p = 101,3 \text{ кПа}$ или 760 мм рт. ст. и скорости ветра 10 м/с, округленно составляет 0,61 кВт/м². Кинетическая энергия воздушного потока при помощи ветроколеса или ветротурбины преобразуется в механическую энергию. А механическая энергия, в свою очередь, с помощью исполнительного механизма (генератора, компрессора, электролизера и т.д.) может быть превращена в электрическую, тепловую или энергию сжатого газа [2].

Ветроэнергетические установки по мощности делятся на три группы: 1) до 5 кВт, применяются для отопления различных помещений; 2) от 5 до 100 кВт, используются в качестве привода различных устройств; 3) более 100 кВт, применяются для совместной работы с другими электростанциями.

Относительно оси вращения ветроустановки бывают: вертикальные (карусельные, роторные, барабанные) и горизонтальные (крыльчатые). Более популярными являются крыльчатые ветроустановки. КПД крыльчатых ветроустановок значительно больше, чем у ветроустановок с вертикальной осью и достигает 50%. Основным рабочим органом крыльчатой ветроустановки — колесо с лопастями, расположенными под некоторым углом к плоскости вращения. Число лопастей может быть различно, чаще всего 2–3. Вращающий момент на ветроколесе появляется за счёт подъёмной силы, возникающий из-за разности давлений под и над крылом.

Скорость вращения колеса максимальна при перпендикулярном попадании потока воздуха на лопасти ветротурбины. Поэтому в крыльчатых ВЭУ используют устройства автоматического поворота оси вращения: на мощных ВЭУ — электронную систему управления рысканием, а на малых установках — крыло-стабилизатор. При больших порывах ветра, более 25 м/с, ветроустановки отключаются за счёт всплеска напряжения. Ветрогенераторы тормозятся с помощью двухуровневой системы торможения. В отключенном состоянии они выдерживают шквалы ветра до 50 м/с. Обслуживание ВЭУ происходит один раз в полгода и срок их эксплуатации 20 лет [3].

Работа ветроэлектростанции, трансформирующей энергию ветра в электрическую энергию, зависит от скорости и направления ветра. А ветер, в свою очередь, интенсивно изменяется в течение всех суток.

Что бы обеспечить максимальную выработку электроэнергии при минимальной наработке каждой ветроустановки, а также учесть показатели и характеристики работы ветроэлектростанции, немислимо без автоматизированной системы управления. Рассмотрим основные функции автоматизированной системы управления:

- ▶ формирование команд автоматического запуска и остановки каждой ВЭУ по алгоритмам, учитывающим среднюю скорость ветра и среднюю мощность ВЭУ;
- ▶ формирование команд запуска и остановки каждой ВЭУ оператором;
- ▶ оперативное представление персоналу ВЭС обработанной информации о состоянии каждой ВЭУ;
- ▶ представление информации о выработке электроэнергии каждой ВЭУ;
- ▶ архивирование информации о выполненной работе ВЭС.

Ветроэлектростанции как промышленный объект состоит из множества ветроустановок, расположенных на некоторых расстояниях от 150 до 1000 м друг от друга, центрального пульта управления (ЦПУ), комплектных трансформаторных подстанций и так далее. Поэтому естественным для такого объекта управления является структура распределенной системы сбора данных.

На основе анализа технологических комплектов оборудования, рассмотрим модуль ICP_CON серии I-7000. Следует заметить, что критериями выбора были: каче-

ство, надежность, полнота и достаточность программного обеспечения данного оборудования.

И так, рассмотрим структуру выбранного модуля. На каждой ветроустановке установлен контейнер с защитной оболочкой, в котором смонтированы: модуль восьмиканального аналого-цифрового преобразователя I-7017F и модули дискретных ввода/вывода I7060, I7043, I7053, подключенные к датчикам и исполнительным механизмам, а также смонтированы источники питания.

На центральном пункте управления ветряной электростанции расположен персональный компьютер в промышленном исполнении, у которого процессорная плата Rocky-3702EV-R4 в шасси PAC-1700. На шину PCI компьютера установлена плата 16/32-канального АЦП L-761, к которой подключены датчики скорости и направления ветра LOGGER. К коммуникационному порту подключен преобразователь интерфейса I-7520, обеспечивающий формирование интерфейсного канала RS-485, гальванически развязанного от компьютера. Модули сбора данных на ветроустановках и компьютере ЦПУ соединены кабелем «витая пара». Питание аппаратуры на ЦПУ осуществляется от источника бесперебойного питания [4].

Система управления ветроэлектростанции в дистанционном режиме автоматически запускает каждую ветроэлектрическую установку с ЦПУ по информации от датчика ветра, установленного на метеовышке ветроэлектростанции и датчика нулевой мощности, установленного в системе генерирования электрической энергии ветроэлектрической установки или в дистанционном режиме.

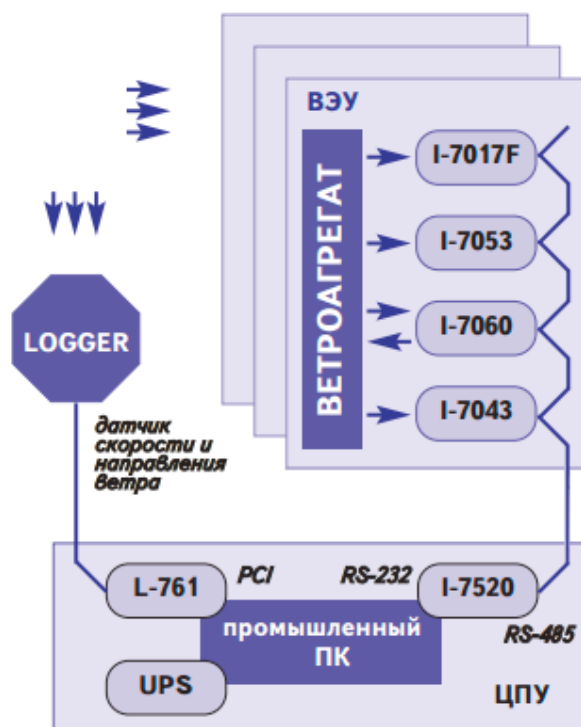


Рис. 1. Модуль ICP_CON серии I-7000

Каждая ВЭУ запускается и останавливается оператором ЦПУ независимо от ветровой обстановки [4].

Циклически с периодом не более 0.2 с выполняется опрос параметров ВЭУ, находящихся в рабочем состоянии, первичная обработка принятой информации и архивирование данных. При этом контролируются следующие основные параметры каждой ВЭУ, называемые контролирующими параметрами:

- ▶ активная мощность генератора;
- ▶ реактивная мощность генератора;
- ▶ полный ток фазы генератора;
- ▶ ход штоков гидроприводов;
- ▶ управляющий ток гидропривода;
- ▶ частота вращения ветроколеса;
- ▶ скорость ветра за ветроколесом;
- ▶ виброускорение корпуса подшипника ветроколеса;
- ▶ виброускорение подшипника генератора;
- ▶ виброускорение гидропривода;
- ▶ температура масла бака;
- ▶ температура корпуса подшипника генератора;
- ▶ температура корпуса подшипника быстроходного вала мультипликатора;
- ▶ температура воздуха на выходе генератора;
- ▶ режим управления (местный или дистанционный);
- ▶ готовность СЭО и САУ;
- ▶ прохождение команды пуска;
- ▶ включение генератора;
- ▶ аварийное выключение ВЭУ [4].

Одна из самых эффективных систем — это система «ветро-дизель». Данная система представляет собой работу ветроэлектростанции совместно с дизельной электростанцией. Современные, европейские компьютеризированные устройства позволяют за несколько секунд отключить дизель или вновь включить его в работу. Благодаря этому увеличивается ресурс дизельного топлива и экономится до 67% топлива в год [5].

Рассматривая ветер как источник регенеративной энергии, нельзя не заметить существенного недостатка — его нестабильность. Для снижения зависимости ветроустановок от непостоянства ветра применяют маховики, частично сглаживающие шквалы ветра, а также применяют различные аккумуляторные устройства, обычно электрические. Чаще всего используют два вида аккумуляторных устройств: воздушные и гидравлические аккумуляторы. Воздушный аккумулятор — это устройство, при котором ветроустановка нагнетает воздух в баллон, а при выходе из баллона, струя, имея высокую кинетическую энергию, бомбардирует лопасти турбина, приводя её во вращение вместе с ротором электрогенератора. Гидравлический аккумулятор — это устройство, при котором ветродвигатель поднимает воду на определённую высоту, после чего, вода, падая вниз, передаёт свою кинетическую энергию лопастям турбины, за счёт чего, турбина начинает вращаться. Для компенсации нестабильности ветра, сооружают огромные ветряные плантации (станции). Большое количество ветроустановок располагают рядами. Так как ветроустановки могут загораживать друг друга, из-за

больших диаметров ветроколес, достигающих нескольких десятков метров, их размещают на определённых расстояниях друг от друга. Современные ветротурбины результативно работают при скоростях ветра 6–10 м/с. И поэтому ветровые турбины устанавливают на мачтах, высота которых достигает нескольких десятков метров, а иногда и около 100 м, чтобы поднять их над приземным инерционным слоем атмосферы. Ветроэнергетические установки эффективно работают только в районах со стабильными ветрами, например, на горных перевалах и морских берегах [6].

К большому сожалению, у ветроустановок есть некоторые существенные недостатки. Они за счёт вращения лопастей, генерируют интенсивный инфразвук. Низкие частоты оказывают отрицательное воздействие, как на человека, так и на животных, находящихся в радиусе воздействия инфразвука. Ветроустановки отражают радиоволны вращающимися лопастями, затрудняя работу навигационной аппаратуры самолётов, а также передачу телесигналов. Эксплуатационные расходы на ветроустановки очень большие. Ветроэлектростанции занимают большую площадь, чем ГЭС, ТЭС или АЭС такой же мощности [7].

На сегодняшний день, проблемы, связанные с эксплуатацией ВЭС, уже нашли разумное решение. Источником шума на ветроустановках является механическая передача от ветроколеса к электрогенератору, в основном шум редуктора — механический шум и шум при работе ветроколеса — аэродинамический шум. Для снижения механического шума используются гасители различной конфигурации, а также применяется звукоизолирующее покрытие. Создаваемый аэродинамический шум, сопровождается звуковыми колебаниями менее 20 Гц, так называемый — инфразвук. Как для людей, так и для животных особую неприятность и опасность составляют частоты от 7 Гц до 10 Гц. Явление возникновения инфразвука при работе ветроустановок было преодолено выбором профиля лопастей и выбором оптимальной скорости вращения ветроколеса, а также выбором конструкции ветроустановки, когда ветроколесо находится перпендикулярно потоку ветра, так сказать «встречает ветер». Для решения проблемы вибрации, ветроустановку закрепляют на мощнейшем фундаменте, который, за счёт большего веса и своих габаритов, гасит вибрации башни. Для защиты птиц используют ограждения. Ветроколесо огораживается сетчатым кожухом, который препятствует попаданию птиц в лопасти ветроколеса. Для улучшения приема телесигнала, рядом с ветряными электростанциями строят специальные ретрансляторы [8].

Вблизи населённых пунктов, удалённых от систем центрального электроснабжения, или для электроснабжения определённого жилого дома, используют автономные маломощные ветроустановки, мощность которых составляет от 2 кВт до 10 кВт, в зависимости от нагрузки и электропотребления. Данные установки не создают дискомфорта, для близ живущего населения, из-за низкого уровня шума и вибрации. Однако из-за своевременного изменения скорости ветра, используют гибридные ветроэнергетические установки. В состав данных ветроустановок

обычно входят аккумуляторные батареи, фотоэлектрические батареи, микрогидроэлектростанции, а во многих других случаях и установки ветро-дизель в качестве резервного источника энергии, а также для бесперебойного электроснабжения, во время длительных периодов отсутствия ветра. Небольшие предприятия, удаленные от населённых пунктов, могут использовать ветроэлектрические установки существенно большей мощности. Маломощные турбины с мощностью менее 1 кВт, могут быть использованы для заряда аккумуляторов и электроснабжения объектов с малой нагрузкой (связь, освещение, электроинструмент, телевизор и т.п.) [9,10].

В отличие от всех ископаемых видов органического топлива, используемого в энергетике, ветер является возобновляемым источником энергии. Капитальные затраты на сооружение ветроэнергетических станций намного меньше, чем на строительство тепловых, атомных или гидроэлектростанций. Ветроэнергетические установки не загрязняют атмосферу и гидросферу, как ТЭС. Каждый кВт·ч выработанной электроэнергии ВЭС замещает сжигание 350 грамм угля [11]. Ветроэнергетические установки не дают радиоактивные отходы, как АЭС. Поэтому ветроэнергетику можно отнести к перспективным отраслям альтернативной энергетики.

Литература:

1. Шинкевич А.И., Зарайченко И.А. Повышение инновационной активности в энерго- и ресурсосбережении на основе концепции «Технологических окон возможностей». // Вестник Казан. технол. ун-та. — 2010. — № 9. — С. 897–900.
2. Долгоульский А., Сайдамаев Э. — Бишкек: альтернативные источники энергии, 2007.
3. Саликеева С.Н., Галева Ф.Т. Обзор методов получения альтернативной энергии. // Вестник Казан. технол. ун-та. — 2012. — № 8. — С. 57–59.
4. Куликовский Н.Н. Система управления ветроэлектростанцией / Н.Н. Куликовский // Внедрения и разработки. — 2013. — С. 20–21.
5. Бубенчиков А.А., Николаев М.И., Киселёв Г.Ю., Есипович Н.В., Феофанов М.К., Шкандюк Д.О. Возможность применения солнечной энергии на территории России и Омской области // Современная наука и практика. — 2015. — № 4 (4). — С. 85–89.
6. Бубенчиков А.А., Артамонова Е.Ю., Р.А. Дайчман Р.А., Файфер Л.А., Катеров Ф.В., Бубенчикова Т.В. Проблемы применения ветроэнергетических установок в регионах с малой ветровой нагрузкой // Международный научно-исследовательский журнал. — 2015. — № 5–2 (36). — С. 39–43.
7. Соломин Е.В. Ветроэнергетическая экономика // Альтернативная энергетика и экология. — 2010. — № 1.
8. Проблемы ветроэнергетики [Электронный ресурс] URL: <http://www.solarhome.ru>
9. Ветрогенераторы малой мощности [Электронный ресурс] URL: <http://null-dom.ru>
10. Отраслевое отделение по энергетическим технологиям в сфере ЖКХ и строительстве ФМоС [Электронный ресурс] URL: <http://www.deloros.ru>
11. ВЭС [Электронный ресурс] URL: <http://www.eng-stroy.ru>

Анализ тепловых процессов в электрических сетях

Бубенчиков Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент;

Ковалев Глеб Александрович, студент;

Нурахмет Ералы Ертаулы, магистрант;

Гафаров Артур Айратович, магистрант;

Бенке Майга Сергеевна, магистр

Омский государственный технический университет

В статье рассмотрены способы, направленные на увеличение срока эксплуатации воздушных линий электропередачи на основании оценки их предельно допустимой нагрузки. Также в данной работе рассматривалась надежность анализа динамической допустимой нагрузки воздушных линий при наличии неопределенности данных.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, тепловые процессы.

Введение

Рост распределенной и периодически производимой продукции заставляет техническое оснащение буквально броситься на поиски инновационных решений для увеличения пропускной способности сетей [1]. На фоне этого возникают

трудности в управлении системами передачи электроэнергии, так как при модернизации существующих систем их токоведущие элементы работают при показателях, близких к предельному значению. Это подтолкнуло на поиск более эффективных методов, направленных на увеличение срока эксплуатации этих компонентов на основании оценки их предельно допустимой нагрузки. В связи с этим, воздушные линии передач являются одними из самых приоритетных проблемных областей, так как: 1) их модернизация требует комплексных, дорогих и длительных действий; 2) общая сеть электропередач будет давать положительный результат при полной эксплуатации фактической допустимой мощности, особенно в условиях аварийного режима. Главным ограничительным фактором в увеличении передачи электроэнергии на воздушных линиях электропередач является температурный предел, который обычно характеризуется расчетными стационарными и предупредительными сезонными мощностями, рассчитанными на плохие погодные условия. Этот консервативный подход сокращает возможность работы системы в неблагоприятном режиме, однако часто сам режим и погодные условия вблизи линий электропередач более благоприятные, чем принятые при проектировании допустимые пределы. На таких линиях целесообразно использовать дополнительную пропускную способность, которая может быть полезна при решении многих важных проблем с эксплуатацией энергетической системы [2].

Пропускная способность линии электропередачи является динамической. Она зависит от скорости ветра, температуры окружающей среды и солнечного излучения. Пропускная способность становится выше, когда температура понижается, и наоборот. Значение, рассчитываемое программами, является статическим. Допускается консервативное значение. Оно основано на низком охлаждающем предположении: низкой скорости ветра, высокой температуры окружающей среды и солнечного излучения.

Для более точного определения пропускной способности техника оценки должна быть улучшена с помощью адаптивных и динамических моделей, нацеленных на обработку данных на основе реального температурного состояния линии, кривой уровня нагрузки, а также соответствующего максимально допустимого времени, в течение которого элемент сети может надёжно работать не нарушая требований безопасности.

В этой статье будут описаны два метода определения пропускной способности ВЛ: 1) прогнозирование, исходя из моделей численного прогноза погоды (ЧПП);

2) модели решения, основанные на аффинной арифметике (АА).

Прогнозирование, исходя из моделей численного прогноза погоды

Данные, необходимые для прогнозирования энергии ветра, являются региональными прогнозами модели ЧПП, историческими и оперативными измерениями скорости ветра и/или энергии ветра (Рис. 1а). В процессе прогнозирования вывод ЧПП адаптирован к месту, где расположена ветровая электростанция. В неровной местности скорость ветра влияет на физический подход модели. Кроме того, статистическое приспособление прогнозирования осуществляется из измеренной скорости ветра и значения энергии ветра, так что прогнозы близки к действительным значениям. Модель энергии ветра дает результирующие значения энергии ветра. Прогнозирования подтверждаются сравнением прогноза энергии ветра и его измерений. Выполненный анализ неопределенности дает в результате некоторые показатели. Они являются важными, поскольку проверяют значение данного прогноза.

Процесс прогнозирования максимальной пропускной способности или силы тока линий электропередачи имеет аналогичную структуру, как процесс прогнозирования энергии ветра (Рис. 1б). Тем не менее, есть некоторые различия между ними.

Одним из наиболее важных отличий является доступность измерений. Процесс прогнозирования ветровой энергии имеет преимущество в доступности измерений силы ветра и скорости. Мощность измеряется для многих целей: контроля генератора ветра, учета электроэнергии и т.д. Тем не менее, пропускная способность никак не измеряется, если не известен динамическое изменение данного показателя. Без измерения силы тока, прогноз не имеет никакого значения, так как он никак не обоснован. В результате измерения сила тока должны быть включены для того, чтобы прогнозировать токовую нагрузку.

В случае энергии ветра, как положительные, так и отрицательные ошибки имеют аналогичное значение. В противоположность этому, в случае максимально допустимой пропускной способности, передаваемый фактический ток не должен превышать допустимой токовой нагрузки, и в результате, если прогноз дает более высокую допустимую токовую нагрузку, чем фактическая, может произойти перегрев линии. И наоборот, если прогноз дает более низкую допустимую пропускную способность, чем фактическая, то никаких проблем не произойдет. Таким образом, в случае ветровой энергии, неточное прогнозирование связано с абсолютной погрешности между прогнозами и фактическими значениями; но в случае токовой нагрузки, неточное прогнозирование связано с безопасностью. Иными словами, неточное прогнозирование связано с оценкой вероятности того, что прогноз ниже фактического значения пропускной способности.

Производство ветровой энергии в регионе зависит от числа ветровых электростанций. Чем больше ветровых генераторов, тем больше продуктивность. Ветровая энергия прогнозируется для региона в целом, а не для каждого генера-

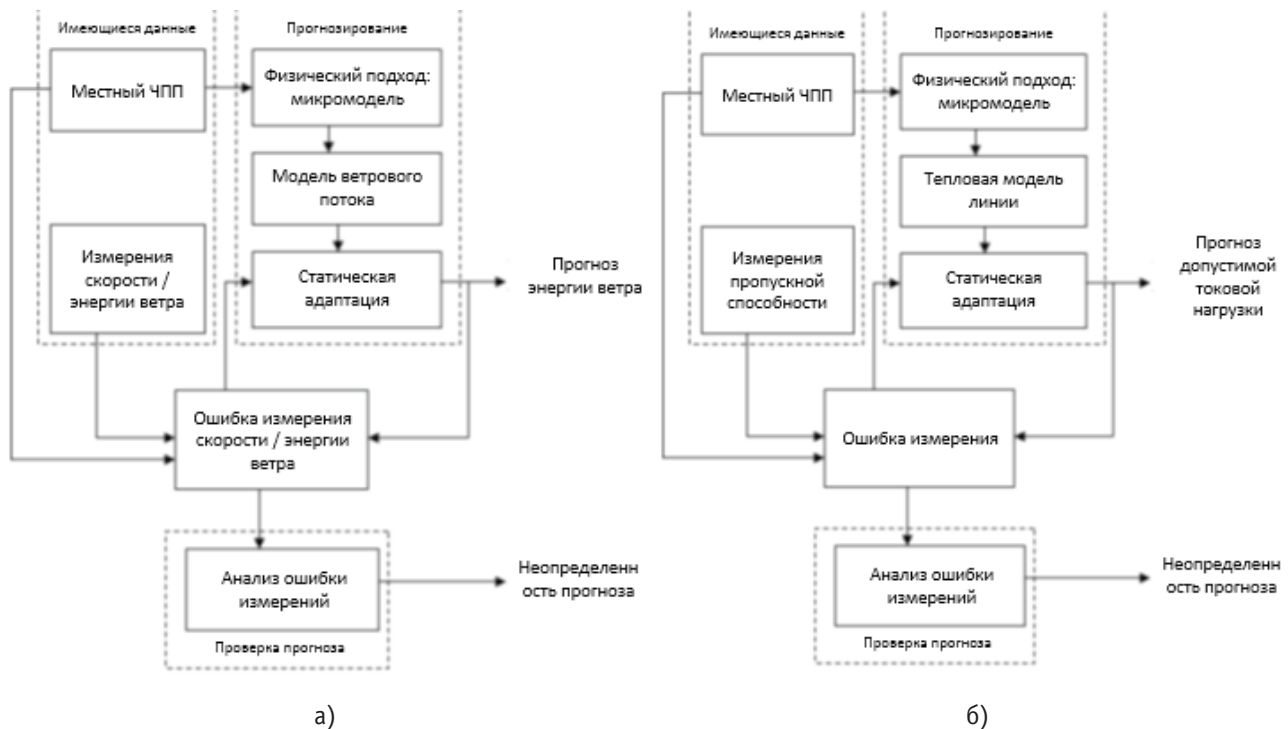


Рис. 1. Процессы прогнозирования

тора. В регионе выбирается несколько электростанций, с которых потом и снимается прогноз. Практический интерес представляет сила тока отдельных линий, так чтобы могла быть оценена перегруженность в линиях.

Модель ветровой энергии связывает скорость ветра и силу ветра. Тепловая модель связывает направление скорости ветра, температуры окружающего воздуха и солнечной радиации с температурой проводника. Таким образом, погодные величины необходимы как для прогнозирования энергии ветра, так и для прогнозирования разницы силы тока.

Важным аспектом модели, которая связывает погодную величину и продукцию (энергия ветра и сила тока) являются требования для прогнозов погоды. Связь между погодными величинами и продукцией нелинейна. Поэтому есть некоторые интервалы, где модель более чувствительна к ошибкам прогноза погоды. Например, модель энергии ветра довольна, нечувствительна к ошибкам прогноза, скорости ветра ниже 4 м/с, где ветрогенератор не производит, и выше 15 м/с, где это производит номинальную энергию между 15–25 м.с. Однако модель чувствительна к ошибкам между 4–15 м/с, поэтому требование для прогноза погоды, это — дать наименьшие ошибки в этом интервале. Ошибки в других интервалах не так важны. В случае тепловой модели, в низких значениях ветра, эффект ошибок выше, чем при значениях сильного ветра. Кроме того, низкий интервал ветра, ниже 2–3 м/сек, приводит к низким значениям допустимой токовой нагрузки, и это наиболее опасно с точки зрения безопасности. Поэтому, в случае прогнозов силы тока, требование для прогноза погоды — дать меньше ошибок при низких значениях ветра.

Экспериментальный проект был реализован в целях проверки прогнозирования максимально-допустимых значений. Система была установлена в распределительной линии на севере Испании, её измерения фиксировались в течение 15 месяцев. Установленная система мониторинга представляет собой систему для измерения температуры поверхности проводника и силы тока, датчик нагрузки для измерения величины механического натяжения провода, ультразвуковой анемометр для измерения скорости и направления ветра, датчик солнечного излучения и датчик наружной температуры. Данные датчиков снимаются каждую минуту [2].

В ходе проекта было показано, что прогноз допустимой токовой нагрузки превышает измеренные ток линии. Средняя разница между прогнозом допустимой токовой нагрузки и измерениями токовой нагрузки составляет 150 А, таким образом, как ожидается, прогнозные значения в среднем выше, чем измеренные [2].

Методы статистической адаптации будут применяться для улучшения прогнозов и уменьшения количества превышений прогнозируемой токовой нагрузки над измеренными значениями.

Модели решения, основанные на аффинной арифметике

Проблема динамического анализа воздушных линий электропередач с большими нагрузками с изменяющимися по времени параметрами требует надежной системы для оценки технического и экономического рисков, связанных с политикой управления нагрузкой. При решении этой проблемы информация о самом высоком фактическом значении

температуры проводника вдоль линии, «горячей точке», является одной из самых важных для оценки. Это требует разработки динамической тепловой модели, направленной на прогнозирование изменения «горячей точки» и соответствующей максимально допустимой нагрузки, основанной на фактических данных о состоянии воздушной линии, ожидаемых уровнях нагрузки и прогнозах о условиях окружающей среды. Для решения этой проблемы подходит математическая модель, которая основана на динамической модели (1):

$$\frac{dT_c}{dt} = \frac{1}{mC_p} [q_s(t) + R(T_c)I_L^2(t) - q_c(t, T_c, T_a, V_w, \theta) - q_r(t, T_c, T_a)] \quad (1)$$

- где: T_c — расчётная температура проводника [°C];
- T_a — температура окружающего воздуха [°C];
- V_w , — скорость воздуха и направление [м/с];
- q_c — тепловой поток, связанный с конвекцией [Вт/м];
- q_r — тепловой поток, связанный с радиацией [Вт/м];
- q_s — солнечные тепlopоступления [Вт/м];
- mC_p — общая теплоёмкость проводника [Дж/(м°C)];
- I_L — ток провода [А];
- R — сопротивление провода [Ом].

В этой модели коэффициент естественной конвекции q_c может быть принят равным нулю, а коэффициенты вынужденной конвекции для высокой и низкой скорости ветра в соответствии с уравнениями [3]:

$$\begin{cases} q_{c,0} = 0.0205 \rho_f^{0.5} D^{0.75} [(T_c - T_a)]^{1.25} \\ q_{c,low} = K_{angle} \left[1.01 + 0.0372 \left(\left[\frac{D \rho_f V_w}{\mu_f} \right] \right)^{0.52} \right] k_f (T_c - T_a) \\ q_{c,high} = K_{angle} 0.0119 \left(\left[\frac{D \rho_f V_w}{\mu_f} \right] \right)^{0.6} k_f (T_c - T_a) \end{cases} \quad (2)$$

где K_{angle} , это коэффициент угла атаки ветра, который зависит от угла между проводящей осью и направлением ветра ϕ

$$K_{angle} = 1.194 - \cos(\phi) + 0.194 \cos(2\phi) + 0.368 \sin(2\phi) \quad (3)$$

Плотность воздуха ρ_f , коэффициент вязкости воздуха μ_f и коэффициент теплопроводности воздуха k_f могут быть вычислены в качестве функции от высоты на уровне моря H_c , температуры провода T_c , температуры воздушного слоя T_{film} и температуры окружающего воздуха T_a для вынужденной и естественной конвекции на основе следующих формул [3]:

$$\begin{cases} \rho_f = (1.293 - 1.525 \cdot 10^{-4} H_c) e^{6.379 \cdot 10^{-9} H_c^2} / (1 + 0.00367 T_{film}) \\ \mu_f = (1.458 \cdot 10^{-6} [(T_{film} + 273)]^{1.5}) / T_{film} \end{cases} \quad (4)$$

Что касается количества теплоты q_r , то она может быть оценена следующим образом:

$$q_r = 0.0178 D \varepsilon \left[\left(\frac{T_c + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (5)$$

Величину солнечного излучения q_s , в зависимости от эффективного угла падения луча солнца θ можно рассчитать с помощью следующих формул:

$$\begin{cases} q_s = \alpha Q_s \sin(\theta) A' \\ \theta = \arccos[\cos(H_c) \cos(Z_c - Z_L)] \end{cases} \quad (6)$$

В этих уравнениях величину солнечного излучения можно приближённо вычислить с помощью многочлена с шестью переменными высоты солнца H_c , которая, в свою очередь, зависит от времени суток, а также дня года [3].

Наличие тепловой модели (1) является необходимым условием для вычисления диапазона допустимой нагрузки линии, который может быть получен после того, как тепловое состояние фактической линии и прогнозируемые условия окружающей среды для диапазона критической линии приведены, путем решения тепловой модели провода несколько раз для множества возможных токов нагрузки. Соответствующие значения температуры горячей точки позволяет динамически оценить кривую допустимой нагрузки, которая показывает максимально допустимую длительность для каждого рассматриваемого тока нагрузки. Эта информация полезна при определении аварийной нагрузки, для смягчения влияния различных непредвиденных обстоятельств и для анализа возможности увеличения нагрузки на линии при подключении потребителей [3].

Неопределенности, в динамических исследованиях допустимой нагрузки, проистекают из нескольких источников, как внутренних, так и внешних по отношению к системе передачи энергии. Наиболее важные факторы неопределенности, это факторы, связанные с тепловыми параметрами проводника. Они могут изменяться в зависимости от материала поверхности проводника, уровня загрязнения атмосферы и старения оболочки и изоляции. Например, было замечено, что тепловые потери проводника, излучаемые в окружающую атмосферу, зависят от состояния поверхности проводника через коэффициент излучательной способности, ε , изменяемый в интервале [0,23, 0,91]. Кроме того, солнечное тепло, поглощаемое проводниками, зависит от условий поверхности и уровня загрязнений окружающей среды, практически конденсируется в коэффициенте поглощения. Последний испытывает почти аналогичное изменение в интервале [0,23, 0,97].

Дополнительные неопределенности вытекают из метеорологических величин, принятых для оценки кривой нагрузочной способности. Они сгенерированы посредством моделей прогнозирования, включающих в себя как время, так и возможность ошибочного прогнозирования условий окружающей среды. Таким образом, погодные параметры, оцениваемые в фиксированном положении в течение определенного времени, не обязательно описываются усредненными значениями вдоль пути линии, а температура провода каждого пролета может отличаться даже в тот же момент времени.

Поскольку эти неопределенности в значительной степени могут повлиять на решение проблемы динамически допустимой нагрузки, требуются надежные модели решения, включающие влияние неопределенности на данные. Такие алгоритмы могут позволить аналитикам оценить, как допустимое отклонение данных (то есть характеристику неопределенностей), так и допустимое отклонение решения (т.е. неопределенность оценки распространения). Таким образом, обеспечивается необходимая степень уверенности о допустимости динамических нагрузок. Кроме того, эти методики могут эффективно сопутствовать анализу чувствительности больших изменений параметров, для оценки уровня изменений в решении относительно изменений во входных данных.

Для того чтобы определить надежное решение проблемы допустимой динамической нагрузки воздушной линии предлагаются новые принципы решений, основанные на слиянии распространенных сенсорных сетей и надежной вычислительной техники. Основная идея заключается в получении набора легко наблюдаемых переменных вдоль линий электропередач путем задействования нескольких датчиков состояния окружающей среды, измеряющих температуру окружающей среды, скорость ветра и направление ветра на уровне земли. Исходя из этих данных, солнечная освещенность, и пределы температур проводника для каждого контролируемого диапазона оцениваются путем решения динамической модели (1), с учетом влияния неопределенностей входных данных, таким образом идентифицируя промежуток, характеризующийся самой высокой температурой проводника (т.е. горячая точка). Для этого критического диапазона прогнозируется изменение экологических переменных, и вычисляется предел диапазона допустимой нагрузки с учетом всей неопределенности входных данных и в том числе ошибки прогнозирования.

Для решения этих проблем, в данной статье предлагается вычислительная метод на основе АА. АА является усовершенствованной моделью для численного анализа, в котором нужные величины представлены в виде аффинных комбинаций определенных простых переменных, представляющих источники неопределенности в данных или приближенных значениях, сделанных в ходе вычислений.

Технологической основой предлагаемых принципов, является сеть датчиков состояния окружающей среды, развернутых вдоль маршрута линии, которые измеряют на уровне земли температуру окружающей среды, скорость ветра и направление ветра. Для представления неопределенности, влияющей на эти переменные, которая зависит от точности датчиков и от погрешностей, приближенных «истинным» значениям на уровне провода, были введены следующие аффинные формы:

$$\begin{cases} \bar{T}_a = T_{a,0} + T_{a,1}\tau_1 + T_{a,2}\tau_2 \\ \bar{V}_w = V_{w,0} + V_{w,1}\tau_1 + V_{w,3}\tau_3 \\ \bar{\theta} = \theta_0 + \theta_1\tau_1 + \theta_4\tau_4 \end{cases} \quad (7)$$

где T_1 является символом шума, описывающим влияние погрешностей аппроксимации, а T_2 , T_3 и T_4 представляют собой шумовые символы, характеризующие погрешность измерения температуры окружающей среды, скорости ветра, и датчики направления ветра, соответственно. Кроме того, еще два шумовых символа, а именно T_5 и T_6 , были введены для описания неопределенности, затрагивающей коэффициент излучательной способности и коэффициента поглощения, соответственно. Следовательно, следующие аффинные формы были введены для представления неопределенности, влияющие на тепловые параметры провода:

$$\begin{cases} \bar{\varepsilon} = \varepsilon_0 + \varepsilon_5\tau_5 \\ \bar{\alpha} = \alpha_0 + \alpha_6\tau_6 \end{cases} \quad (8)$$

На основе АА, можно определить контролируемый диапазон динамической тепловой модели следующим образом:

$$\frac{dT_c}{dt} = \frac{1}{mC_p} [\bar{q}_s(t) + R(T_c)I_L^2(t) - \bar{q}_c(t, T_c, T_a, V_w, \bar{\theta}) - \bar{q}_r(t, T_c, T_a)] \quad (9)$$

Время дискретизации и последующее решение этого дифференциального уравнения вычислительных операторов на основе АА позволяют оценить аффинную форму температуры провода для каждого образца времени k , который описывается в следующей аффинной форме:

$$\bar{T}_c(k) = T_{c,0}(k) + \sum_{i=1}^6 T_{c,i}(k)T_i + T_{c,na}(k)T_{na} \quad (10)$$

где $T_{c,na}$ представляет собой новый символ шума, описывающий внутренние ошибки аппроксимации, появляющиеся в процессе вычислений. Полученные аффинные формы позволяют точно вычислить надежный предел температурного профиля проводника с помощью следующего соотношения:

$$[T_c(k)] = [T_{c,0}(k) - \lambda_T(k), T_{c,0}(k) + \lambda_T(k)] \quad (11)$$

где $\lambda_T(k)$ — радиус $T_{c(k)}$, который определяется следующим образом:

$$\lambda_T(k) = \sum_{i=1}^6 |T_{c,i}(k)| + |T_{c,na}(k)| \quad (12)$$

Рассчитанный предел на основе АА позволяет одновременно описать влияние всей совокупности неопределенностей входных данных на решении динамической термальной модели, а также определить, каким образом каждый источник неопределенности данных распространяется на окончательное решение.

Исходя из этих результатов, пролет, характеризующийся наихудшими тепловыми изменчивыми условиями, может быть идентифицирован в качестве контролируемого раздела, отличающийся наиболее высокими верхними границами температуры провода. Для этого критического диапазона надежный предел фактической кривой нагрузочной способности может быть получен после того, как максимально допустимая температура проводника T_c фиксируется и развитие погодных переменных ($T_i a(t)$, $V_i w(t)$, $\mathcal{F}_i(t)$) прогнозируется в течение временного промежутка T .

Для оценки преимущества, возникающего в результате применения предлагаемых принципов, использовалась экспериментальная воздушная линия 220 кВ.

Тепловая модель провода на основе предложенного метода (1) была решена с временным интервалом в 1 мин для многодневной (72 ч) работы.

Важно отметить, что верхняя граница вычисленного решения представляет собой консервативную оценку реальной температуры проводника, что позволяет получить надежную и реалистическую оценку фактической тепловой способности для диапазона контролируемой линии. на Ошибка аппроксимации определяется следующим образом:

$$e(k) = \frac{T_c^M(k)}{T_c^{\max}} \left(T_c^M(k) - \left[T_{c,0}(k) + \sum_{i=1}^6 |T_{c,i}(k)| + |T_{c,na}(k)| \right] \right) \quad (13)$$

где:

$T_c^M(k)$ — измеренная температура проводника в течение временной выборки;

T_c^{\max} — максимально допустимая температура, которая была принята для предосторожности до 55 С;

$T_{c,i}(k)$ являются параметрами аффинной формы вычисленной температуры провода в течение временной выборки.

Наличие модели тепловой динамики проводника представляет собой необходимое условие для оценки фактической кривой нагрузочной способности. Для этой цели предлагаемая тепловая модель на основе АА была повторно решена в течение одночасового сценария с учетом измеренных переменных окружающей среды и тока нагрузки в диапазоне от 1500 до 2600 А. [3]

Результаты подтверждают эффективность предложенных принципов моделирования на основе АА в вычислительных реалистичных пределах фактической кривой допустимой нагрузки, которая могла бы помочь безопасно увеличивать пределы нагрузки линии в диапазоне от 920 до 980 А и благоразумно улучшать принятый потенциал возобновляемого энергоснабжения. [3]

Заключение

Рынок электроэнергии планируется заранее, так как, в районах с высоким уровнем ветропотенциала необходимо прогнозировать энергию ветра. Кроме того, методы прогнозирования энергии ветра могут быть приспособлены к прогнозированию пропускной способности воздушных линий электропередачи.

Предлагаемая модель решения позволила вычислить нагрузочную способность линии с учетом влияния погрешностей измерений, тепловых параметров неопределенности и ошибок прогнозирования.

Данные методы позволят варьировать нагрузку линий в широком диапазоне, что существенно увеличит их пропускную способность.

Таким образом, главное значение принципов заключается в обеспечении надежной оценки возможностей нагрузочной способности, которая включает в себя неопределенность параметров, необходимых для их разработки.

Литература:

1. Huu-Minh Nguyen, Jean-Louis Lilien, Peter Schell. Dynamic line rating and ampacity forecasting as the keys to optimise power line assets with the integration of res. The European project Twenties Demonstration inside Central Western Europe // 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED2013).
2. Albizu, E. Fernandez, A. J. Mazon, K. J. Sagastabeitia, M. T. Bedialauneta, J. G. Olazarri. Overhead line rating forecasting for the integration of wind power in electricity market // Clean Electrical Power (ICCEP), 2015 International Conference on.
3. E.M. Carlini, C. Pisani, A. Vaccaro, D. Villacci. A reliable computing framework for dynamic line rating of overhead lines // Electric Power Systems Research 132 (2016). P. 1–8.

Системы управления для системы автономного питания

Бубенчиков Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент;

Марчинский Иван Юрьевич, студент;

Овсянников Андрей Юрьевич, студент;

Николаев Михаил Валерьевич, студент

Омский государственный технический университет

Приведено основное понятие системы автономного питания. Рассмотрены основные аспекты возможной работы систем автономного питания. Приведена и рассмотрена схема строения таких систем. Показаны и расписаны примеры использования систем автономного питания, а также систем управления, с помощью которых ими можно управлять дистанционно. Показаны основные направления использования дизельных генераторов и способов их управления. Рассмотрены примеры случаев, в которых есть место использования систем автономного питания.

Ключевые слова: автономное электропитание, система дистанционного управления, дизельный генератор.

Автономное электропитание — это полностью отделённая система электроснабжения, способная генерировать или отдавать накопленную электрическую энергию различным потребителям. Такая система в случае пропадания напряжения в основной городской электросети берет на себя силовую нагрузку имеющихся потребителей. Но к автономному питанию можно отнести и химические источники электроснабжения. Основной идеей создания такого вида энергоисточника — снабжение электроэнергией нагрузки, при условии отсутствия внешнего источника питания.

Об автономном электропитании больше можно слышать в тех случаях, когда идёт речь о полном отсутствии основного источника электропитания (т.е. городской электросети). В данном случае это самое автономное электропитание выступает в роли главной электроснабжающей системы. К таким случаям можно отнести осуществление электроснабжения загородного дома, удалённые от города места и т.д.

Работа автономной системы возможна (но с ограничениями):

- если отсутствует стабилизатор
- если отсутствует генератор и блок его запуска;
- если отсутствует инвертор и блок батареи;
- если отсутствует внешняя электрическая сеть.

Автономная система (рис. 1) состоит из следующих частей:

- источник энергии (применяющийся и в единственном числе, и на взаимодополняющих условиях: 1) ветровая электрическая установка;
- 2) солнечная батарея);
- аккумуляторная батарея (в системах на возобновляемых источниках энергии это необходимый элемент);
- инвертор (преобразователь постоянного тока в переменный);
- контроллер заряда.

Автономные источники питания

В работе [1] рассматриваются автономные системы дистанционного управления приводной запорной арматуры на базе автономных комплексов телеметрии «АКТЕЛ».

Появление и повсеместное распространение сотовой связи позволило по-новому подойти к решению проблемы управления удалёнными объектами и их мониторинга.

К числу таких объектов в данной статье относятся краевые узлы газораспределительных сетей и запорные устройства на отдалённых и неохраняемых объектах.

Большинство традиционных автоматизированных систем дистанционного управления приводной запорной арматурой требовало наличие внешнего электропитания



Рис. 1. Схема автономной системы энергоснабжения

220/380 В, при этом управление осуществлялось по проводным каналам связи.

Данные решения приводили к значительным материальным и организационным затратам: строительство новых ЛЭП, расход и учёт электроэнергии в процессе эксплуатации и т.д.

Решить эту проблему позволили автоматизированные системы дистанционного управления шаровыми кранами. Их отличием является дистанционное управление и контроль объекта по каналам сотовой связи стандарта GPS, взрывобезопасное исполнение и автономность, которая обеспечивается элементами питания в составе взрывозащищённых комплексов телеметрии.

Данные системы выдают сигнал тревоги на рабочее место оператора диспетчерской службы в случае превышения аварийных значений контролируемых параметров, несанкционированного доступа на объект и т.д.

В статье [2] рассматривается тема управления автономной системы трубопроводных сетей с помощью беспроводных спутниковых каналов передачи данных.

Процессы глобализации рынков нефти и газа, модернизация, строительство новых трубопроводов способствуют развитию инновационных систем удалённого мониторинга и управления объектами газораспределения.

Внедрение систем телематики позволило значительно сократить затраты на обслуживание трубопроводов, высвободить транспортные и людские ресурсы, а также дает возможность проводить мониторинг технологических параметров на объекте в режиме реального времени, оперативно реагировать на возникновение аварийных ситуаций, путём удалённого управления повышать надёжность и безопасность распределительных сетей.

Применение спутникового канала связи и автономных систем телеметрии позволяет более значительно расширить географию внедрения комплексов управления за-

порной арматурой, повысить надёжность каналов связи, обеспечить безаварийность работы газораспределительных сетей.

Помимо этого, также рассматриваются вопросы автономного питания жилых домов, расположенных за городом, и способы дистанционного управления этих систем.

Например, в одной из статей рассказывается об использовании альтернативных источников автономного питания, т.е. использование энергии ветра, солнца и т.д.

Для использования световой энергии требуется наличие специальных солнечных панелей и контроллера заряда, для ветровой — наличие ветрогенератора.

Но помимо всего этого также необходимо наличие инвертора с аккумулятором, что позволит обеспечить автономную работу всех бытовых приборов за счет использования альтернативных источников. А для регулирования этой системы используют специальные системы дистанционного управления, позволяющей регулировать и отслеживать распределение накапливаемой в аккумуляторах энергии. Например, модули Viessmann, КСИТАЛ: они позволяют регулировать затраты энергии на систему отопления или отключения электроэнергии путём SMS-оповещения. Это позволяет:

- заранее предотвратить промерзание труб в холодное время года;
- значительно снизить расход энергии на подогрев дома, переключаясь в разных режимах;
- всегда быть в курсе работы системы автономного питания.

Также в подобных статьях рассказывается об использовании дизельных генераторов как автономный источник питания.

Но необходимо для начала понять, где его использовать:

- для квартиры;

- коттеджа или дачи;
- офиса;
- промышленных и других производственных целей.

Предположим, что нам необходима система автономного электроснабжения для офиса. Будь то крупный офис или торгово-развлекательный центр — мощность может достигать 500кВт. Например, дизельный генератор DJ600 с двигателем на выбор: Doosan, Daewoo, VolvoPenta.

В любом случае необходима специальная отдельная площадка на открытом воздухе, оборудованная навесом, огороженная сеткой и оснащенная специальными датчиками, позволяющие определять расход энергии данной автономной системы.

Если планируете использовать автономное питание в квартире, то для этого годятся однофазные генераторы с мощностью от 3 до 8 кВт с воздушным охлаждением и всепогодным шумопоглощающим кожухом (например, CHAMPIONDG3601E, REDVERGRD5GF-MEW).

Для коттеджа или дачи имеет смысл применять подобные источники автономного питания в тех случаях, если:

А) в вашем районе отсутствуют сети централизованного электроснабжения;

Б) есть желание быть независимым от местных электросетей;

В) местность, где расположен дом, богата ресурсами возобновляемой энергии.

Для частного дома средних размеров рекомендуют использовать трёхфазный дизельный генератор мощностью 26,4 кВт с двигателем Inter или Perkins. Они оборудованы системой автоматического запуска и могут продолжить время.

В заключении можно сказать, что автономные источники питания нельзя назвать роскошью. Они предоставляют возможность людям обеспечить нормальную жизнь или же работу в экстремальных ситуациях. Системы дистанционного управления, в свою очередь, позволяют следить за стабильностью работы этих источников, оценивать расход энергии, проводить мониторинг отдельных объектов в реальном времени, находясь при этом на расстоянии, и выявлять дефекты и отклонения от нормы в системе.

Литература:

1. Кандарюк О. В. Автономные системы дистанционного управления приводной запорной арматуры на базе автономных комплексов телеметрии «АКТЕЛ» / О. В. Кандарюк, Ю. Д. Логанов, Ю. В. Китаев // Журнал «Арматуростроение». — 2011. — № 5 (74). — С. 73–75.
2. Тюрин Н. Н. Системы рационального управления / Н. Н. Тюрин, М. С. Юдочкин // Журнал «ГазРоссии» — 2014. — № 3. — С. 62–63.
3. Автономное электроснабжение дома и дачи [Электронный ресурс] // Резервное снабжение 21 века. — URL: <http://www.vega-volt.ru/application/autonomous-power-and-alternative-energy/> (дата обращения: 24.10.2016).
4. Электрогенератор как источник автономного питания [Электронный ресурс]. — URL: http://www.dom-spravka.info/_alt_energo/gn_00.html (дата обращения: 25.10.2016).
5. Автономный и резервный источник питания [Электронный ресурс] // «Электрик Про». — URL: <http://electricpro.ru/rezer-avtonom-elpit-slzn-fyif.html> (дата обращения: 25.10.2016).

Эффективность преобразования солнечной энергии

Бубенчиков Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент;

Овсянников Андрей Юрьевич, студент;

Николаев Михаил Валерьевич, студент;

Марчинский Иван Юрьевич, студент;

Шепелев Александр Олегович, магистрант

Омский государственный технический университет

В статье говорится об использовании альтернативного источника энергии для обеспечения ежедневных потребностей человека. Основное внимание уделяется солнечной энергетике. Целью статьи является анализ эффективности съёма солнечной энергии с устройств солнечный коллектор, солнечная панель.

Ключевые слова: альтернативный источник энергии, солнечная энергетика, солнечный коллектор, солнечная панель.

Современная экологическая обстановка планеты не даёт уверенности в устойчивом развитии человеческой цивилизации. Нескончаемое разрушение природных

систем ведет к дестабилизации биосферы, разрушая ее целостность. Устойчивое развитие Российской Федерации, высокое качество жизни и здоровья ее населения, а также

национальная безопасность могут быть обеспечены только при условии сохранения природных систем и поддержания соответствующего качества окружающей среды. Эти фразы из экологической доктрины Российской Федерации, одобренной распоряжением Правительства РФ от 31 августа 2002 г. № 1225-р, подтверждают актуальность поиска новых, экологически чистых источников энергии.

Солнце — неисчерпаемый, огромный источник энергии, которая переносится на землю видимым светом и ближним инфракрасным излучением. В энергетике существует раздел «солнечная энергетика», который занимается вопросами использования возобновляемой, экологически чистой, повсеместно доступной солнечной энергии.

Использовать энергию солнца можно в хозяйственной деятельности человека для обеспечения бытовых нужд, на промышленных предприятиях, для горячего водоснабжения и отопления. Преобразовав солнечную энергию в электричество, можно обеспечивать освещение зданий, приводить в движение элементы самолётов, автомобилей, космических аппаратов.

В данной статье рассматриваются две установки для преобразования солнечной энергии. Плоский солнечный коллектор (СК) — устройство для сбора тепловой энергии солнца, и передачи этой энергии теплоносителю.

Условно солнечный коллектор имеет следующие составные части:

1 — верхнее стекло с прозрачной изоляцией; 2 — абсорбер; 3 — трубки с теплоносителем; 4 — нижняя теплоизоляция; 5 — нижняя крышка.

Схематическое представление принципа работы системы отопления или горячего водоснабжения представлено на рисунке 2.

Циркуляционный насос (1) создает в соединительных трубопроводах (3) движение жидкости (теплоносителя), который нагреваясь в солнечном коллекторе (2), движется к потребителю в виде горячего теплоносителя.

Достоинства плоского коллектора заключаются в хорошем соотношении между ценой и производительностью. В зимний период данное устройство имеет возможность самоочистки от снега. К недостаткам можно отнести высокие тепловые потери, которые значительно сказываются на КПД установки. Сложность монтажа, обслуживания, ремонта конструкции.

Вторая установка для преобразования солнечной энергии. Солнечная панель (батарея) — объединённые полупроводниковые устройства, прямо преобразующие солнечную энергию в постоянный электрический ток.

Солнечная панель (батарея) имеет в своём составе 1;5 — металлические пластины образующие катод и анод. Панели 2;4 — кремниевые панели покрытые бором и фосфором соответственно. Пограничный слой — 3.

Частицы света, фотоны, «выбивают» находящиеся в избытке электроны с покрытой бором панели (2). Электроны движутся на покрытую фосфором панель (4), на которой имеется недостаток электронов. Далее пройдя через провода, образующие замкнутую цепь снова попадают на панель (2). Так возникает упорядоченное движение электронов — электрический ток.

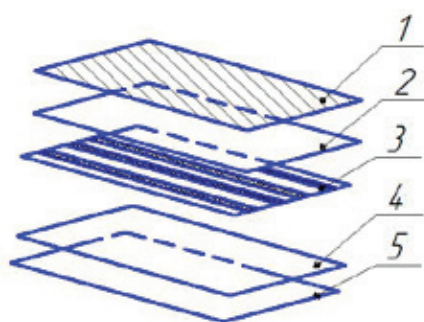


Рис. 1. Солнечный коллектор

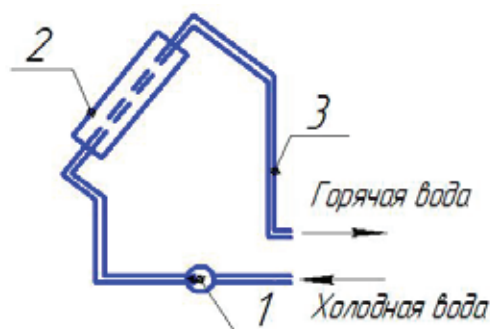


Рис. 2. Схема принципа работы горячего водоснабжения

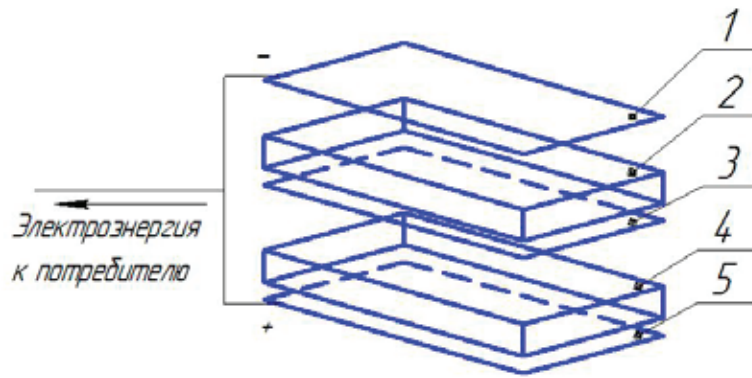


Рис. 3. Солнечная панель

Солнечные батареи имеют более существенные недостатки. Высокая стоимость батареи, связанная с применением в своём составе редких ядовитых веществ, например, свинец, кадмий, галлий, мышья. При выходе из строя батареи необходима специальная утилизация устройства. Фотоэлектрические преобразователи солнечной батареи теряют свою эффективность на 0,5% при изменении температуры на 1 градус Цельсия. Поэтому требуется организовывать систему охлаждения фотоэлементов, что приводит к дополнительным затратам и к усложнению конструкции.

В целом солнечная энергетика характеризуется нестабильностью. Смена времени суток, погодных условий, осадков и прочих явление приводит к непостоянной выработке энергии и как следствие непостоянное обеспечение энергией потребителей. Для решения этой проблемы необходимо устанавливать аккумулирующие элементы. Для обеспечения тепловой или электрической жилые комплексы или производственные цеха, требуется большая площадь поглощения солнечной энергии.

В данной работе рассматриваются предложенные разными авторами способы повышения съёма тепла с солнечного коллектора, солнечной панели. Работа [1] посвящена оптимизации управления системой горячего водоснабжения, основанной на плоском СК. Автором предлагается установить в систему, автоматический регулятор ВЭСТ-02. Данное устройство имеет среду программирования, в которой пользователь имеет возможность задавать временные промежутки включения и выключения циркуляционного насоса. Данная функция позволяет включать насос именно в те моменты времени, когда теплоноситель в коллекторе полностью прогрет. В результате внедрения автоматического регулятора сокращается количество включений и выключений насоса, что приводит к снижению износа оборудования с одновременным повышением съёма тепловой энергии и эффективности системы теплоснабжения. Авторы работы [2] разработали металло-полимерный СК, в котором верхняя прозрачная изоляция выполнена из сотового поликарбоната. Данный материал имеет низкую проницаемость лучей инфракрасной зоны спектра, поэтому тепло излу-

чаемое теплоприёмником СК остаётся внутри коллектора. В результате снижаются теплотери, повышается КПД и эффективность работы солнечного коллектора. В статье [3] исследовали на поглощающую поверхность плоского СК, наносили базальтовое покрытие. В результате экспериментов было выяснено, что данный материал обладает высоким коэффициентом поглощения 0,98–0,99, и низким показателем инфракрасного излучения 1–6%. Проведя ещё ряд экспериментов, было установлено, что при увеличении толщины базальтового слоя, увеличивается и коэффициент поглощения. При практическом применении полученных данных увеличится эффективность съёма тепловой энергии с СК.

В работе [4] авторы предлагают на абсорбер наносить специальное поглощающее селективное покрытие, которое имеет коэффициент поглощения света 95%, а коэффициент обратного излучения 5%. В результате увеличивается эффективность преобразования солнечной энергии в тепловую. Исследователи в работе [5] провели колоссальный объём работы, создали плоский СК SUN1 с улучшенными характеристиками работы. В своей работе авторы, во-первых, увеличили длину тепловоспринимающих трубок, которые были сделаны в виде змеевика. В результате увеличилось время нахождения теплоносителя в нагревательной системе, скорость и температура нагрева. Во-вторых было увеличено число стеклянных покрытий на передней стенке коллектора, что привело к снижению потерь. В-третьих в качестве внутреннего утеплителя применялся лёгкий теплоизоляционный материал на основе вспененной пластмассы с развитой сообщающейся пористостью — поропласт. Теплопроводность данного материала составляет $\lambda = 0,036 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°С}$. В-четвёртых, авторы учли тот факт, что жёсткое крепление труб змеевика к корпусу коллектора обеспечивает минимальное термическое сопротивление. В результате созданный авторами СК SUN1, обеспечивает нагрев теплоносителя на 20 минут быстрее, чем подобные аналоги, имеющие больший КПД и габаритные размеры. Соискатели работы [6] предлагают в качестве элемента для съёма тепловой энергии использовать тентовую техническую ткань черного цвета с двухсторонним полимерным покры-

тием. Степень черноты скани составляет 0,9. Опытным путём было определено, что текстильный СК способен нагреть за половину дня 70 литров воды, температурой 45 градусов Цельсия. КПД такого коллектора составляет 50%. В работе [7] авторы занимаются вопросами математического моделирования процесса теплообмена происходящего в СК. При моделировании реального явления теплообмена необходимо учитывать тепловую инерцию. По причине, которой температура не сразу передается по всем слоям. При переходе от одного слоя к другому имеет место температурный излом, который обладает временем релаксации, т.е. период времени за который амплитудное значение температуры уменьшится в экспонент раз. Авторы заявляют, что при анализе эффективности съёма энергии, необходим учёт вышеперечисленных факторов. Авторы работ [8,9] рассматривают схожие идеи применение вместо традиционных кристаллических солнечных батарей, тонкопленочные.

Тонкопленочные солнечные батареи — это солнечные модули, в которых полупроводник осаждается слоем толщиной порядка одного микрона на тонкую подложку из стекла или стали. Тонкопленочные панели могут работать при рассеянном излучении, т.е. не требуют попадания прямых солнечных лучей. Благодаря этому повышается суммарная вырабатываемая мощность на 10–15%. Применение тонкой плёнки является более рациональным в областях с преимущественно пасмурным климатом. Авторы работы [10] отмечают ещё один плюс тонкопленочных панелей, который заключается в том, что его удобно наносить на угловатые формы летательных и космических аппаратов.

Для эффективной работы солнечной панели необходима большая солнечная радиация и низкая температура, окружающей среды и самих фотоэлементов. Для

достижения таких условий, авторы работы [11] предлагают использовать комбинированную установку, состоящую из фотоэлектрического модуля и плоского солнечного коллектора. Избыточная температура фотоэлементов отдаётся теплоносителю. В результате повышается эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую. Авторы работы [12] предлагают использовать устройство, которое позволяет собирать солнечную энергию с большей площадью и направлять её на меньшую площадь. Примером такого устройства является акриловый концентратор, он позволяет достигать семи кратной концентрации солнечной энергии с КПД 75%. Авторами этой же работы предлагается ещё одно устройство — солнечный трекер. Данное устройство позволяет солнечной батарее ориентироваться в пространстве и поворачиваться вместе с поворотом солнца. В результате на солнечную батарею всегда будут падать прямые солнечные лучи. Эффективность попадания солнечной энергии на панель увеличивается на 40%.

Каждая отрасль энергетики стремится к снижению пагубного влияния на окружающую среду. В этом смысле солнечная энергетика является самой безопасной и экологически чистой. Но имеется существенная проблема, это малая мощность солнечных электростанций. Не смотря на это во многих странах мира, солнечная энергетика составляет весомую долю от всей энергетики страны. На пример в Европе, где стоимость на традиционное топливо для выработки энергии высока [13]. Германия, лидер по производству солнечной энергии. Суммарная выработка электроэнергии 22 ГВт. В Америке имеется солнечная электростанция мощностью 580МВт. В Индии 4000МВт [14]. В нашей стране крупная солнечная электростанция находится в Алтайском крае мощностью 10 МВт.

Литература:

1. Колесов П.Ю. Оптимальное управление солнечными коллекторами в системах горячего водоснабжения // Сборник материалов I Всероссийской молодёжной научно-практической конференции «Введение в энергетику». — 2014. — С. 80.
2. Дорошенко А.В., Данько В.П., Турбовец Ю.Т. Металло-полимерные солнечные коллекторы с многоканальным абсорбером для многофункциональных энергетических систем // Проблемы региональной энергетики. — 2012. — № 2. — С. 42–50.
3. Почкайлов Ю.Ю., Шашаев А.В., Яковлев В.И., Яковлева Н.А. Селективные базальтовые детонационные покрытия для абсорбера солнечного коллектора // Международный журнал прикладных фундаментальных исследований. — 2015. — № 4–1. — С. 35–39.
4. Казанджан Б.И., Некрылов В.Н. Комбинированный солнечный коллектор для нужд теплоснабжения // Вестник МЭИ. — 2012. — № 3. — С. 9–13.
5. Туник А.А. Математическая модель тепломассопереноса в плоском солнечном коллекторе SUN1 // Вестник МГСУ. — 2016. — № 1. — С. 126–142.
6. Жмакин Л.И., Козырёв И.В., Крюков А.А., Назарова М.В. Ёмкостной солнечный коллектор из текстильных материалов // Труды международной научно-практической конференции энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. — 2012. — № 4. — С. 256–261.
7. Галимов И.А., Уразаева Л.Ю. Математическое моделирование процесса теплообмена в солнечном коллекторе с учётом времени релаксации тепловых напряжений // Вестник Нижневартовского государственного университета. — 2011. — № 3. — С. 78–82.

8. Круговых А.А., Рыбалка С.Б. Ультратонкая органическая солнечная батарея на полимерной подложке // Научные исследования в современном мире. — 2015. — С.39–41.
9. Черенцов Е.Д., Шадов И.М. «Зелёный дом». Тонкоплёночные солнечные батареи // Молодёжный вестник ИРГТУ. — 2016. — № 1. — С. 28.
10. Тарасов В.С. Модернизация системы генерирования электроэнергии авиационного космического комплекса // Вестник МЭИ. — 2012. — № 3. — С. 48–50.
11. Панченко В.А., Филиппченкова В.С. Теплофотозлектрические бесконцентраторные солнечные модули // Инновации в сельском хозяйстве. — 2015. — № 5(15). — С. 128–133.
12. Петрусёв А.С. Повышение эффективности солнечных батарей с помощью одноосного трекера и акрилового концентратора // Современная техника и технологии. — 2014. — С.37–38.
13. Митина И.В. Системы отопления с тепловым насосом и солнечным коллектором // Труды международной научно-практической конференции энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. — 2010. — № 4. — С. 287–293.
14. Коберник К.С., Павловская О.Ю. Солнечные батареи как источник электроэнергии // Актуальные проблемы в современной науке. — 2015. — С. 83–86.

Обзор подключения ветроустановок к системам электроснабжения для их эффективной работы

Бубенчиков Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент;
Сикорский Сергей Петрович, студент;
Кулак Кристина Сергеевна, магистрант;
Горлинский Никита Александрович, магистрант;
Щербинов Виталий Владимирович, студент;
Артамонова Елена Юрьевна, аспирант
Омский государственный технический университет

Предложены схемные решения для эффективного использования ветроустановок при их совместной работе с системами централизованного электроснабжения, чтобы максимально использовать энергию ветра для выработки качественной электроэнергии, экономить её потребление от централизованного источника и снизить потери напряжения и мощности в линиях электропередач. Рассмотрены патенты на полезные модели, подходящие для эффективной работы ВЭУ с сетью.

Ключевые слова: ветроэнергетика, ветроустановки, работа с сетью, система электроснабжения.

Постоянный рост потребности в электрической энергии требует строительства новых электрических станций и модернизации действующих. На данный момент основные фонды объектов российской энергетики предельно изношены. В некоторых случаях их амортизация достигает 80%, а на объектах используются устаревшие технологии [1].

В настоящее время актуальным является вопрос использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Одним из перспективных направлений развития ВИЭ является внедрение ветроэнергетических установок (ВЭУ) малой (до 10 кВт) и средней (до 100 кВт) мощностей, которые не требуют больших капитальных затрат по сравнению с ВЭУ большой мощности.

Зависимость от силы и неустойчивая природа силы ветра могут вызвать низкое качество электрической энергии. Может происходить отклонение, колебание, прерывание и провалы напряжения, отклонение частоты от номинального значения, низкий коэффициент мощ-

ности и появление высших гармоник. Ветряные двигатели, особенно индуктивные машины, могут поглощать реактивную мощность из системы, что является основным фактором производства низкой энергии. Если ветряные двигатели поглощают слишком много реактивной мощности, система может стать нестабильной [2].

Для повышения выработки качественной электроэнергии в районах с относительно низкими скоростями ветрового потока разработаны схемные решения, позволяющие преобразовать электроэнергию, вырабатываемую генератором ВЭУ при скорости ветра ниже расчетной. Принцип работы данных схем основан на преобразовании вырабатываемого переменного напряжения изменяющейся частоты в зависимости от скорости ветра в выпрямленное пульсирующее напряжение, которое в дальнейшем инвертируется в переменное напряжение с постоянной частотой 50 Гц. С целью обеспечения постоянства величины напряжения на выходе установки применяются импульсные преобразователи постоянного напря-

жения, стабилизаторы и управляемые выпрямители. Для реализации данного принципа преобразования энергии разработаны различные схемные решения. Однако при использовании управляемых выпрямителей не удаётся максимально использовать энергию, вырабатываемую генератором. Применение стабилизатора напряжения за генератором влечет за собой большие потери мощности при частоте ниже номинальной [3]. В известных схемах

выходные параметры напряжения и тока имеют низкие показатели или же не соответствуют стандартам качества электрической энергии по синусоидальности вследствие инвертирования выпрямленного пульсирующего напряжения. Использование сглаживающего фильтра для снижения пульсаций не позволяет добиться требуемого результата из-за непостоянства частоты и величины выпрямленного напряжения [4].

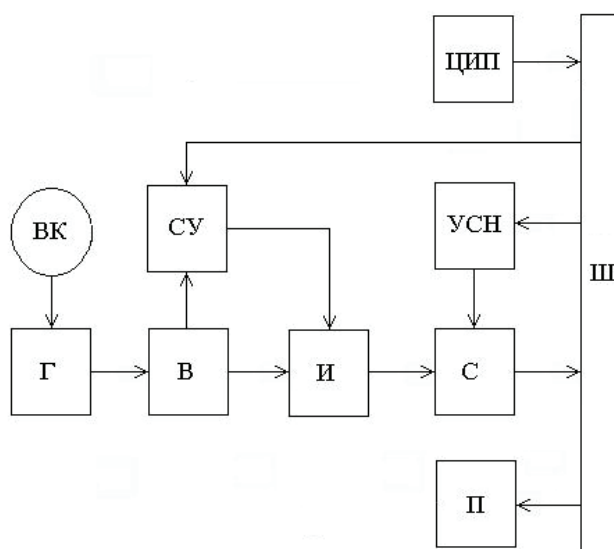


Рис. 1. Схема использования ВЭУ в системе электроснабжения:

ВК — ветроколесо; Г — генератор; СУ — сглаживающее устройство; УСН — устройство согласования величин напряжений ВЭУ и централизованного источника питания; В — неуправляемый выпрямитель; И — инвертор; С — стабилизатор; Ш — общие шины; ЦИП — централизованный источник питания; П — потребитель;

Перечисленные недостатки не позволяют включить ВЭУ непосредственно к электрической сети, по которой осуществляется централизованное электроснабжение потребителей. Вследствие чего в основном выпускаемые ВЭУ работают совместно с централизованным источником электроснабжения по раздельной схеме или же применяются для автономного электроснабжения потребителей совместно с аккумуляторными батареями. Для исключения перечисленных недостатков предлагается схема (рис. 1), позволяющая максимально использовать энергию ветрового потока и обеспечить потребителей качественной электрической энергией [5]. Предлагаемая ВЭУ состоит из ветроколеса и синхронного генератора, подключаемого к инвертору, дополнительно содержащему сглаживающее устройство и устройство согласования величин напряжений централизованного источника питания и ВЭУ. В основу инвертора входят силовые транзисторы, которые являются полностью управляемыми полупроводниковыми приборами. Из-за подачи на вход инвертора выпрямленного пульсирующего напряжения сглаживающее устройство, подключенное к общим шинам, входной и управляющей цепям инвертора, корректирует управляющий сигнал инвертора в зависимости от величины и ко-

эффициента пульсаций выпрямленного напряжения, что позволяет получить на выходе инвертора синусоидальное напряжение. Это дает возможность подключить инвертор к общим шинам через стабилизатор напряжения, позволяющий поддерживать номинальное напряжение на выходе установки. К стабилизатору напряжения и общим шинам подключается устройство согласования величины напряжения централизованного источника и напряжения на выходе установки, которое осуществляет корректировку величины выходного напряжения установки, в зависимости от величины напряжения на общих шинах. Для предотвращения подачи обратного тока на установку от сети при рассогласовании величин вырабатываемого напряжения установкой и напряжения на шинах между общими шинами и стабилизатором напряжения устанавливается реле обратного тока. В случае отключения питания централизованной системы оперативным персоналом, либо средствами релейной защиты, сглаживающее устройство теряет питание от шин, в результате чего выработка электрической энергии моментально прекращается, что не допускает работу установки на короткое замыкание. Таким образом, предлагаемая схема использования ВЭУ позволяет максимально использовать энергию ветра для выра-

ботки качественной электрической энергии, экономить её потребление от централизованного источника и снизить потери напряжения и мощности в линии электропередач.

Так же были рассмотрены патенты на изобретения, которые было бы целесообразно применять для работы ВЭУ с сетью [6, 7].

В первом патенте сущность технического решения состоит в возможности ротора выдвигаться за пределы статорной обмотки, при усилении ветра, и вновь возвращаться на прежние позиции при ослаблении ветра.

Это достигается использованием основной закономерности, свойственной электромагнитной индукции, а именно, что ЭДС, возникающая в замкнутом контуре, находящемся в изменяемом магнитном потоке, пропорциональна скорости изменения магнитного потока и числу витков катушки. Из чего следует, применительно к ветрогенератору, что необходимым условием стабилизации параметров получаемой электроэнергии является, в случае усиления ветра и соответствующего повышения скорости вращения ротора — уменьшение числа витков статорной обмотки, взаимодействующих с магнитным полем; в случае ослабления ветра и падения скорости вращения ротора — увеличение числа витков статорной обмотки, взаимодействующих с тем же по интенсивности магнитным полем.

Технически указанные требования решены таким образом, что горизонтальный вал ветроэнергоблока с насаженными на него пропеллерной турбиной и магнитным ротором установлен в подшипниках скольжения и имеет, таким образом, возможность возвратно-поступательных перемещений, взаимодействуя при этом с соосной пружиной сжатия, расположенной в подветренном поло-

жении относительно ротора. Это взаимодействие осуществляется через дисковый опорный элемент, свободно вращающийся на упомянутом валу с использованием подшипника качения. Для безударного возврата вала совместно с турбиной и ротором в исходную позицию под действием распрямляющейся пружины, что имеет место при падении скорости ветра до минимального рабочего значения, использован амортизатор, помещенный на валу с наветренной стороны относительно ротора.

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Изначально (рис. 2) при нижнем рабочем значении скорости ветра 6 м/с ротор 8 полностью размещается в пределах статорной обмотки 4, все витки которой находятся под действием вращающегося магнитного поля. По мере усиления ветра в сторону верхнего рабочего значения 12 м/с, под воздействием возросшей результирующей силы лобового сопротивления вращающийся с большим числом оборотов турбины 7, пружина 10 сжимается, и ротор 8 частично выдвигается за пределы статорной обмотки 4 (рис. 3), число ее витков, взаимодействующих с магнитным полем ротора 8, уменьшается, что в конечном итоге обеспечивает неизменность параметров и более приемлемое на практике качество вырабатываемой ветрогенератором электроэнергии, а также смягчает условия функционирования дополнительного оборудования ВЭУ.

В целях безопасной эксплуатации генератора ВЭБ-С и электрооборудования потребителей начиная с штормовых скоростей ветра 24 м/с ротор 8 полностью выдвигается за пределы статорной обмотки 4 (рис. 4). Потребители питаются от аккумуляторных батарей или иных источников до нормализации аэродинамической ситуации

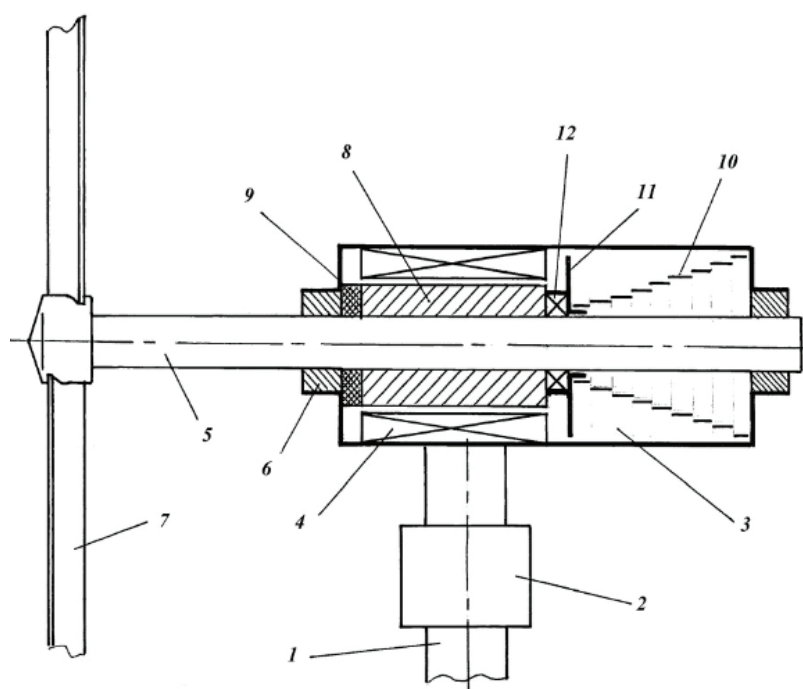


Рис. 2. Модель ветроэнергоблока с расположением ротора в пределах статорной обмотки

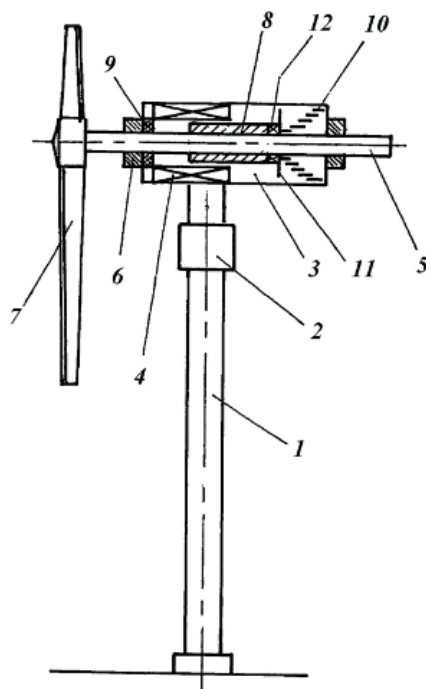


Рис. 3. Модель ветроэнергоблока с частичным расположением ротора вне статорной обмотки

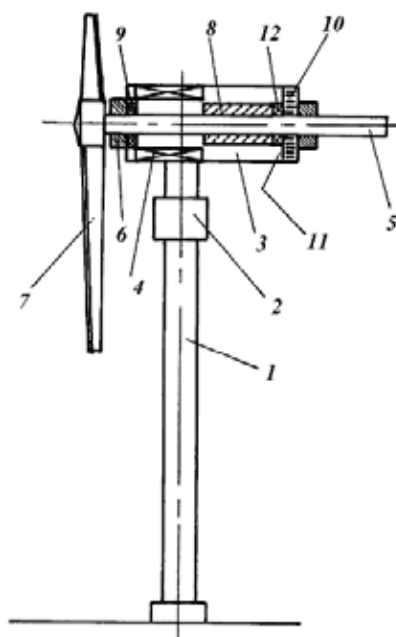


Рис. 4. Модель ветроэнергоблока с расположением ротора полностью вне статорной обмотки

в атмосфере, которая в отличие от периодов безветрия в случаях штормов, ураганов и смерчей не бывает продолжительной по времени [6].

В следующем патенте ветроэлектрический агрегат, содержит ветроколесо, связанное механической передачей с валом генератора, соединенного через коммутатор с сопротивлением нагрузки (рис. 5). Отличается тем, что он дополнительно снабжен соосно расположенной на ступице ветроколеса ветротурбиной, выполненной с валом, имеющим резьбовую нарезку и образующим вместе с от-

вертием в ступице ветроколеса винтовую пару, датчиком положения вала ветротурбины, соединенным с входом устройства управления, выход которого соединен с входом коммутатора.

При расчетной (номинальной скорости ветра), если изначально нагрузка генератора была рассчитана правильно, ветроколесо работает с максимальным коэффициентом использования энергии ветра и вращается с частотой, равной частоте вращения ветротурбины 10. При этом осевого перемещения вала 11 не происходит.

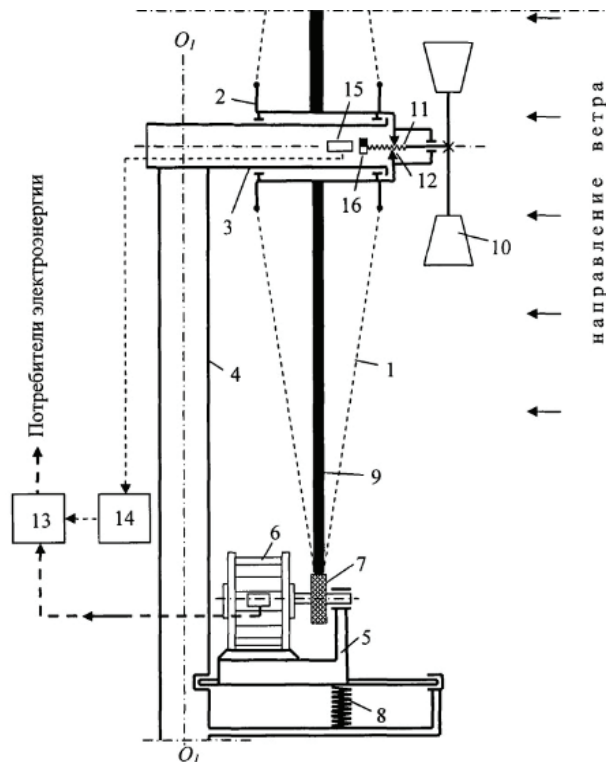


Рис. 5. Ветроколесо, связанное механической передачей с валом генератора

В случае уменьшения скорости ветра или дополнительного подключения электрических потребителей к выходу генератора ветроколесо начнет вращаться с частотой вращения, несколько меньшей частоты вращения холостого хода ветротурбины. Вал ветротурбины начнет выкручиваться из ступицы 2 ветроколеса, удаляясь от геркона 15. Последний разомкнет свой контакт и через устройство управления и коммутатор отключит (уменьшит) нагрузку. Ветроколесо при этом увеличит частоту вращения и, как только частота его вращения станет несколько больше частоты вращения ветротурбины (оптимальной частоты вращения ветро-

колеса), вал 11 начнет перемещаться в сторону геркона. Геркон замкнется и снова произойдет включение (увеличение) нагрузки генератора. Таким образом, частота вращения ветроколеса, задаваемая частотой вращения ветротурбины, и нагрузка генератора в среднем будут близки к оптимальной для существующей скорости ветра, что и позволит максимально использовать его энергию. Тем самым будет повышена эффективность использования заявляемого ветроэнергетического агрегата, снижен срок его окупаемости, что особенно важно в условиях сравнительно невысоких средних скоростей ветра в большинстве районов РФ [7].

Литература:

1. Бубенчиков А. А., Артамонова Е. Ю., Р. А. Дайчман Р. А., Файфер Л. А., Катеров Ф. В., Бубенчикова Т. В. Проблемы применения ветроэнергетических установок в регионах с малой ветровой нагрузкой // Международный научно-исследовательский журнал. — 2015. — № 5–2 (36). — С. 39–43.
2. Pavlos S. G. Technical challenges associated with the integration of wind power into power systems / S. G. Pavlos. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2008. — С. 852–863.
3. Шерьязов, С. К. Устройство для автономного энергоснабжения потребителей / С. К. Шерьязов, А. А. Аверин. // Пат. 2325551 Российская Федерация. — Оpubл. 26.12.2006.
4. Матс, Л. Ветроэлектрическая станция / Л. Матс, К. Гуннар. // Пат. 2221165 Российская Федерация. — Оpubл. 01.10.2004 г.
5. Шерьязов, С. К. Ветроэлектрическая установка / С. К. Шерьязов, М. В. Шелубаев. // Пат. 89184 Российская Федерация. — Оpubл. 27.11.2009 г.
6. Губанов, А. В. Ветроэнергоблок стабилизирующий [Электронный ресурс] / А. В. Губанов // <http://www.freepatent.ru/patents/2458246> (дата обращения: 10.08.12).
7. Петько, В. Г. Ветроэлектрический агрегат [Электронный ресурс] / В. Г. Петько, Н. А. Маловский, А. А. Митрофанов и др. // <http://www.freepatent.ru/patents/2458246> (дата обращения: 27.06.12).

«Умные сети» Smart Grid — перспективное будущее энергетической отрасли России

Гаврилович Евгений Владимирович, магистрант;
 Данилов Дмитрий Игоревич, магистрант;
 Шевченко Дмитрий Юрьевич, магистрант
 Омский государственный технический университет

Не секрет, что сегодня энергетическая отрасль России для себя наметила довольно перспективные направления развития, которые были продиктованы западным опытом внедрения и развития «умной энергетики» — Smart Grid. Однако, стоит выяснить немаловажный аспект, а именно, ответить на вопрос: пригодна ли Smart Grid концепция для российской энергетики или имеет смысл, определить индивидуальную траекторию развития для отечественной энергетической отрасли?

Обращаясь к сути, нашумевшей в последнее время технологии «умная сеть» SMART GRID, стоит отметить, что данная система активно внедряется в электроэнергетику разных стран. Однако, необходимо изначально определить, что подразумевается под термином SMART GRID?

Не смотря на то, что данное понятие официально введено еще в 2003 году, после публикации статьи в открытых источниках М. Т. Вигг под названием «Спрос надежности будет управлять инвестициями», до сих пор к единой трактовке научные деятели так и не пришли.

Таким образом, на сегодняшний день, в мировой практике для определения термина «умной сети», как правило, используются ее атрибуты или признаки. При этом, что они имеют разный перечень и формулировку у США, России и Европы. Ниже мы привели сравнительную таблицу таких признаков «Умной сети» у каждой из конкурирующих сторон (рис. 1).

Умная сеть — это автоматизированный программный комплекс, который позволяет, на основе информации, полученной от всех объектов системы и промежуточных элементов сетей, правильно распределяет всю имеющуюся энергию между потребителями, обеспечив при этом стабильность энергосети с точки зрения оценки напряжения и частоты. Помимо основной функции, такая умная сеть умеет устанавливать соединения потребителей с новыми источниками, в числе которых могут быть генерирующие источники с нулевым или пониженным выбросом углекислого газа. Защищенность всей системы достигается за счет уменьшения зависимости от централизованных электростанций, способности сетей и оборудования к самодиагностике и самовосстановлению.

Таким образом, основываясь на табличной информации можно сделать вывод о том, что применяя современные ИКТ, все оборудование умных сетей может активно взаимодействовать друг с другом, образуя интеллектуальный комплекс энергоснабжения. Собранная с оборудования информация анализируется, а результаты анализа помогают:

- оптимизировать процесс использования энергетических ресурсов;
- снизить затраты;
- увеличить надежность функционирования объектов системы;
- увеличить общую эффективность энергосистем.

Реализация активно-адаптивной теории функционирования энергетической комплексной системы будет подразумевать развитие на территории России и в частности в области энергетики инновационных технологий, значительное расширение границ действительности для разработки и выпуска высокоинтеллектуальной продукции. Как следствие, высокий показатель энергетической востребованности в транспортной области, развитие и укрепление рыночных отношений с привлечением потенциальными потребителями, в качестве активных игроков рынка.

Благодаря реализации концепции Smart Grid российская энергетика вступит в новую фазу существования, которая будет характеризоваться гармоничным взаимодействием с окружающей средой, улучшением качества жизни и общим экономическим подъемом. И едва ли это противоречит отечественным взглядам на развитие энергетики и страны в целом.

Если исходить из действующих на территории России концептуальных документов, то можно с большой вероятностью спрогнозировать достаточно интенсивное развитие российской умной энергетики.

Так, например, в соответствии с основными положениями «Энергетической стратегии России на период до 2030 года», в качестве приоритетных направлений НТП в области энергетической отрасли страны первоочередными считаются следующие задачи:

- разработка и практическая реализация умных энергосетей нового поколения с высокими показателями интеграции в уже действующие системы энергетики, позволяющих организовывать системные и четко распределенные сети в Единой энергетической системе России;
- применение в работе по реализации пилотных проектов низкотемпературных индукционных накопителей и обеспечение проекта стабильным снабжением электроэнергией от официально назначенных объектов — потребителей;
- динамическое развитие по нескольким направлениям силовой электроники и сетевых управляемых устройств, с сопроводительным применением гибких систем передачи переменного тока — FACTS;

США	Европейский союз	Россия
способность к самовосстановлению после сбоев в подаче электроэнергии	гибкость — сеть должна подстраиваться под нужды потребителей электроэнергии.	насыщенность сети активными элементами, позволяющими изменять топологические параметры сети
возможность активного участия в работе сети потребителей	доступность — сеть должна быть доступна для новых пользователей, причём в качестве новых подключений к глобальной сети могут выступать пользовательские генерирующие источники	большое количество датчиков, измеряющих текущие режимные параметры для оценки состояния сети в различных режимах работы энергосистемы
устойчивость сети к физическому и кибернетическому вмешательству злоумышленников	надёжность — сеть должна гарантировать защищённость и качество поставки электроэнергии в соответствии с требованиями цифрового века.	система сбора и обработки данных (программно-аппаратные комплексы), а также средства управления активными элементами сети и электроустановками потребителей
обеспечение требуемого качества передаваемой электроэнергии	экономичность — наибольшую ценность должны представлять инновационные технологии в построении Smart Grid совместно с эффективным управлением и регулированием функционирования сети.	наличие необходимых исполнительных органов и механизмов, позволяющих в режиме реального времени изменять топологические параметры сети, а также взаимодействовать со смежными энергетическими объектами
обеспечение синхронной работы источников генерации и узлов хранения электроэнергии	безопасность – не допущение ситуаций в электроэнергетике, опасных для людей и окружающей среды	средства автоматической оценки текущей ситуации и построения прогнозов работы сети
появление новых высокотехнологичных продуктов и рынков повышение эффективности работы энергосистемы в целом		высокое быстродействие управляющей системы и информационного обмена

Рис. 1. Основные положения концепции умной энергосистемы с активно-адаптивной сетью



Рис. 2. Схема иллюстрирующая систему взаимодействия в рамках проекта «Умные сети»

— разработка высокотехнологичных и перспективных проектов надежных магистральных каналов связи, которые будут функционировать между разными ступенями

диспетчерского управления и цифровых каналов, осуществляющие обмен точной и своевременной информацией между объектами и центрами управления;

- создание и широкое внедрение централизованных систем противоаварийного управления, охватывающих все уровни Единой энергетической системы России;

- создание автоматизированных информационно-аналитических систем, нацеленных на эффективное управления энергоспросом;

- создание водородных систем аккумулирования энергии и покрытия неравномерностей графика нагрузки.

Существуют препятствия для реализации умной энергетики в нашей стране, в первую очередь это сложность самой системы. Необходим тонкий подход к требованиям и нуждам потребителя, который принуждает учесть индивидуальные особенности всех элементов сети. При этом внедрение осложняет отсутствие единых стандартов и нормативов, которые еще не сложились. Не облегчает процесс и большое количество регуляторов и процедур, обязательных для получения сертификатов и разрешений. Другая группа препятствий носит чисто технический характер. Пока ещё остаются нерешенными такие чисто технические проблемы, как отсутствие доступных надежных и эффективных накопителей энергии или безопасность и защита частной информации передаваемой внутри сети. По мере повышения автоматизации энергосети и внедрения новых коммуникационных технологий растёт и вероятность кибератак на сеть. Отталкиваясь от опыта в других областях, производители компонентов Smart Grid пока наращивают инвестиции в новые технологии, способные отражать кибератаки на энергосети.

Далее мы рассмотрим несколько примеров таких пилотных проектов, которые уже были запущены и находятся в процессе апробации на практике.

Проекты ОАО «ФСК ЕЭС»

На данный момент разрабатываются довольно перспективные проекты умных сетей, а также готовятся к практической реализации идеи по внедрению отдельных элементов умных сетей на объектах ОАО «ФСК ЕЭС». Данные идеи планируется реализовать следующим образом:

1. Планируется установка СТАТКОМа, а именно статического преобразователя, так называемой, реактивной мощности на базе преобразователя напряжения. Объектом для экспериментальных работ выбрана ПС 400 кВ «Выборгская».

2. Также будет реализована установка управляемых шунтирующих реакторов, на таких объектах российской энергетики, как ПС 50 кВ «Таврическая», «Барабинская», «Иртыш».

3. В плане экспериментального проекта установка на ПС 500 кВ «Ново-Анжерская» статического тиристорного компенсатора и конденсаторных установок.

Зарубежный проект «FENIX»

Данный проект построения гибкой электрической сети стал связующим звеном для энерголидеров Европы. Основополагающими его задачами были:

- обработка механизмов функционирования общеевропейской энергосистемы;

- обработка алгоритмов включения в общую систему распределенных источников генерации (DER) и возобновляемых источников энергоресурсов (RES);

- разработка новых программно-аппаратных платформ для реализации концепции VPP;

- технические расчеты и финансово-экономическое обоснование рентабельности использования технологии VPP;

- демонстрация разработок на полигонах в странах Европы.

Итак, в практическом плане в России и за рубежом ведутся активные работы по созданию концепций и апробации технологий умных сетей; перспективы их развития в России можно сформулировать следующим образом:

- Обеспечение бесперебойной работы энергосистемы страны в условиях постоянной энергетической востребованности, а также использования спорадической нагрузки.

- Сокращение энергетических потерь с помощью построения систем умного учета с возможностью учета качества вырабатываемой энергии и ограничения нагрузки.

- Развитие коммуникационной среды, способной надежно и качественно поддерживать двунаправленный информационный обмен между поставщиками и потребителями энергоресурсов. Одним из способов решения данной задачи является применение беспроводных умных коммуникационных устройств.

- Повышение энергетического качества за счет компенсации реактивной мощности, с помощью специальных устройств.

- Применение умного оборудования и программных комплексов для управления топологией сети с целью обеспечения надежности функционирования.

- Развитие рыночных отношений в энергобизнесе с привлечением энергопотребителей как возможных поставщиков необходимых ресурсов в требуемое время в нужные участки сети.

Еще одним значимым результатом внедрения умных технологий энергетики будет общее снижение топливных затрат электростанций. В качестве наглядного примера можно привести модель внедрения умных сетей на территории ЕЭС России.

Для предварительной оценки возможных системных эффектов в ЕЭС России при создании умной электроэнергетики были использованы данные по результатам пилотных проектов, которые были апробированы в различных странах. Но стоит заметить, что все еще сохраняется некая неопределенность того, каких результатов все же стоит ожидать от внедрения составных элементов умной системы. Ниже на рис. 3. приведены примерные результаты, которые очень наглядно комментируют дальнейшее развитие и перспективы в области российской энергетической отрасли.

Как видно по приведенным на рисунке графикам, переход к инновационному варианту развития будет сопровождаться значительным снижением числа вводимых

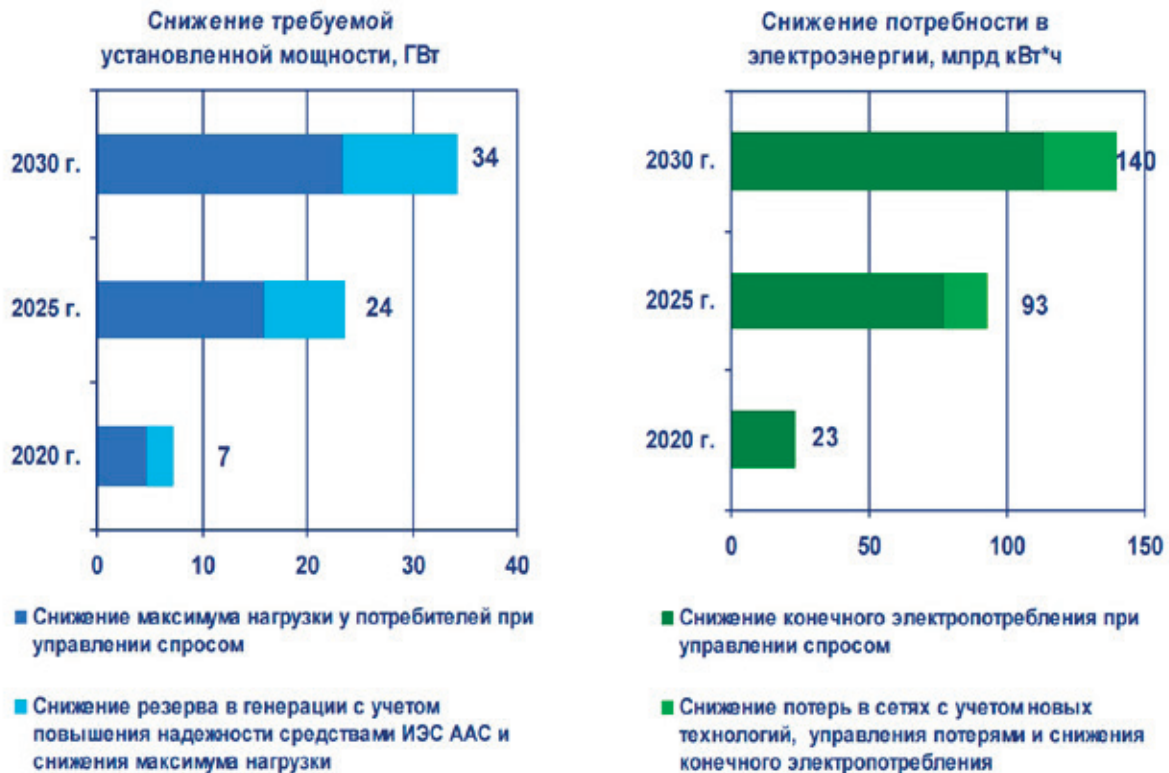


Рис. 3. Графическая интерпретация результатов внедрения «Умных сетей» в российскую энергетику

в эксплуатацию электростанций, а также зависимых от них сетевых объектов для выдачи мощности. Таким образом, мы получаем на выходе снижение капиталовложений, что является значимым системным экономическим эффектом. То есть все-таки на выходе от применения подобных инновационных подходов к уже устоявшимся процессам, российская энергетическая отрасль получает огромные и долговременные перспективы.

Таким образом, подводя итог проанализированным и внедренным в российскую реальность энергетики пилотным проектам «умных сетей», можно отметить следующие положительные аспекты данной модернизации развития российской энергетики и экономики. Применение европейского и зарубежного опыта по внедрению данных

технологий, позволит избежать масштабных ошибок и огрехов на этапе разработки проектов и их внедрения. Реализация данных инновационных технологий и созданных на их базе разработок, должно быть адаптировано под российские условия функционирования, в этом случае не станет нарушением государственных политических принципов, являясь образцом эффективного применения мирового опыта на практике.

В конечном счёте, внедрение технологии Smart Grid повысит энергоэффективность отрасли. Но потребует от государства стимулирования в части внедрения новых технологий, поощрения энергетической эффективности генерирующих компаний и решения проблемы энергосбережения.

Литература:

1. Smart Grid или умные сети электроснабжения [Электронный ресурс]. URL: http://www.eneca.by/ru_smart-grid0/ (Дата обращения 04.12.2016)
2. Игнатичев А.В., Ледин С.С. Развитие промышленных стандартов внутри- и межсистемного обмена данными интеллектуальных энергетических систем // Автоматизация и ИТ в энергетике. — 2010. — № 10. — С. 39–43.
3. Костров Д. «Умные сети электроснабжения» (smart grid) и проблемы с кибербезопасностью // Информационная безопасность [Электронный ресурс]. URL: <http://www.itsec.ru/articles2/in-ch-sec/umnye-seti-elektrosnabzheniya-smart-grid-i-problemy-s-kiberbezopasnostyu> (Дата обращения 04.12.2016)

Окупаемость мероприятий направленных на уменьшение потерь электрической энергии и повышения пропускной способности сети с применением проводов повышенной пропускной способности и устройств компенсации реактивной энергии

Данилов Дмитрий Игоревич, магистрант;
Шевченко Дмитрий Юрьевич, магистрант;
Аубакиров Руслан Джамбулович, магистрант;
Жиленко Дмитрий Михайлович, студент
Омский государственный технический университет

В статье рассмотрена окупаемость мероприятий по повышению пропускной способности линий электропередачи с использованием проводов повышенной пропускной способности и применению устройств компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: *потери мощности, высокотемпературные провода, компенсация реактивной мощности.*

Компенсация реактивной энергии как способ увеличения пропускной способности сетей и уменьшения энергопотерь в них

Увеличение пропускной способности электроэнергетических систем достигается не только за счет реконструкции сетей, в частности линий, но и за счет подключения различного оборудования, предназначенного для компенсации реактивной мощности.

На предприятиях особое внимание уделяется компенсирующим устройствам, так как главные приемники представляют собой асинхронные электродвигатели, коэффициент мощности которых без применения компенсирующих мероприятий может составлять 0,65–0,75.

Меры по снижению реактивной энергии способствуют:

- снижению загрузки трансформаторов, увеличению продолжительности работоспособности [7];
- снижению нагрузки на токопроводящие жилы проводов, применению их наименьшего сечения;
- повышению качества электрической энергии, снижению искривления вида напряжения) [8];
- снижению нагрузочного явления на коммутационную аппаратуру по причине уменьшения токов;
- минованию нарушений за ухудшение качества электрической энергии низким $\cos\varphi$ (коэффициентом мощности);
- уменьшению затрат на электрическую энергию.

Устройства компенсации реактивной энергии необходимы для компенсации реактивных величин системы (пример, ЛЭП) и реактивной мощности, участвующей в нагрузках и составляющих электроэнергетической системы.

Основные моменты процесса

Огромным количеством электрического оборудования любого промышленного объекта являются устройства, сопровождаемые в рабочем режиме магнитным полем, которые в свою очередь и определяют индуктивную нагрузку.

Главное свойство индуктивной нагрузки заключается, в том, что ток, проходящий через индуктивность, остается прежним (без изменений), а при прохождении нагрузочного тока создается искажение фаз между током и напряжением (напряжение «опережает» ток на определенный угол). Вследствие различных знаков у напряжения и тока в момент «опережения», происходит уменьшение энергии индуктивности, компенсируемая из сети.

Для многих предприятий данный факт указывает на то, что в системе между источником питания и потребителем проходит как активная энергия, которая осуществляет полезное действие, так и реактивная энергия, которая в свою очередь не выполняет полезную работу, а тратится только на формирование магнитных полей индуктивности. Вся энергия имеет 2 составляющие: активная и реактивная энергии. Активная составляющая энергии определяется отношением полной мощности к коэффициенту мощности $\cos\varphi$ (отклонение фаз между напряжением и током). Тем не менее, текущий реактивный ток по элементам электрических объектов и целым объектам, такие как линии электропередачи и обмотки трансформаторов, уменьшает часть пропускной способности проходящего по тем же элементам и объектам активного тока, создавая при этом потери, направленные на нагревающий эффект — потери активной мощности [9].

Следовательно, исходя из калькуляции стоимости за электрическую энергию, покупатель обязуется заплатить вдвойне за внепроизводственные расходы. Первая оплата — естественно за использование реактивной мощности из

сети по счетчику реактивной энергии. Вторая оплата — также за реактивную энергию, но неявно, производя оплату за активные потери, обусловленные реактивной энергией, считающиеся счетчиком активной энергии. Повлиять на данное состояние можно только расположив источник реактивной мощности у потребителя. Данное введение освобождает систему от реактивного тока, тем самым уменьшает индуктивную нагрузку.

Экономическая и статистическая оценка компенсации реактивной мощности

По результатам исследования ведущих специалистов процентная часть электрической энергии составляет 35–45% от себестоимости продукта. Таким образом, уменьшение энергопотерь относится к более значимым обстоятельствам в сохранении средств и получении конкурентного приоритета.

К одному из способов по уменьшению энергопотерь относится уменьшение реактивной энергии (подъем коэффициента мощности $\cos\varphi$), т.к. реактивная мощность существенно влияет на рост потерь электрической энергии. При полном отсутствии УКРМ, энергопотери составляют от 15 до 55% от среднестатистического использования энергии.

Причины энергопотерь

Следует обратить внимание, что при минимальных величинах $\cos\varphi$ (0.28–0.50), трехфазные приборы учета имеют неточность показаний от 10 до 15%. Из-за этого покупателя приходится доплачивать «сверху» за дополнительные неточности показаний прибора учета, нарушения, связанные с низким значением коэффициента мощности.

Реактивная энергия способствует ухудшению качества электрической энергии, искривлению (искажению) фаз, высшим гармоническим колебаниям, теплотерям, тяжелым нагрузкам генераторов, к резким увеличениям по частоте и амплитуде.

Процентное соотношение оборудования, влияющего на реактивную мощность

Проведем анализ разнообразного оборудования, влияющего на повышение реактивной энергии. Асинхронные двигатели — приблизительно 44%, электропечи — 7%, различные преобразовывающие устройства 7%, трансформаторы 34%, электрические провода в линиях передачи 8%. Данные сведения всего лишь приближенные, так как коэффициент мощности объектов электросетевого хозяйства находится в зависимости от их нагрузок.

Приведем пример для пояснения, если коэффициент мощности асинхронного двигателя в максимальной нагрузке составляет 0,65–0,75, а иногда и 0,8, то при незначительной нагрузке его величина составляет всего лишь 0,25–0,35. Это же явление можно отнести и к трансформаторам.

К выше сказанному следует отметить определенные примеры компенсирующих устройств: АФКУ — автоматические фильтрокомпенсирующие конденсаторные установки, БСК — Батарея статических конденсаторов, УКРМ — устройства компенсации реактивной мощности, синхронные компенсаторы (синхронные двигатели).

Произведем расчет на проверку окупаемости вводимых мероприятий направленных на уменьшение потерь электрической энергии и повышения пропускной способности сети с применением проводов повышенной пропускной способности и устройств компенсации реактивной энергии.

Данный расчет имеет особенность, заключающуюся в том, что правильный выбор устройств компенсации реактивной энергии происходит с учетом температуры применяемого провода. Собственно, само мероприятие, направленное на уменьшение реактивной энергии, представляется главным фактором для улучшения качества расчета потерь энергии принимая во внимание температурную зависимость сопротивления высокотемпературных проводов [1, 2].

Верный подбор УКРМ и проверка окупаемости вводимых мероприятий происходят в неразветвленной сети, представленной на рисунке ниже (рис. 1).

Условия проведения исследований представлены в таблице 1 [3, 4, 6].

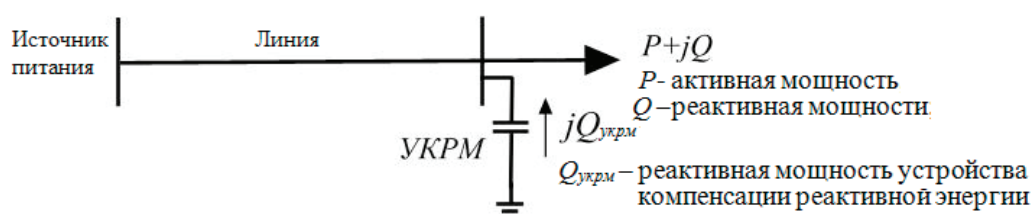


Рис. 1. Представленная для расчета сеть

Таблица 1. Исходные данные к расчету неразветвленной сети с номинальным напряжением 10,5 кВ при мощностях нагрузки $P=5000$ кВт, $Q=3600$ квар

Наименование и обозначение параметров	Численные значения (допущения)
Значение сопротивления проводов: без учета нагрева с учетом нагрева	сопротивление при 20°C
	вычисляется по формуле $R=R_0(1+at_{np})$.
Погонное активное сопротивление провода АСПТ АТ1/20АС 50/8 при 20 °С, Ом/км	0,5723
Радиус жилы провода АСПТ АТ1/20АС 50/8, мм	4,8
Температурный коэффициент сопротивления α	0,00403 °С ⁻¹
Степень черноты поверхности провода ε	0,6
Температура воздуха t_e	1,7 °С
Атмосферное давление $P_{атм}$	100000 Па
Скорость ветра V	1 м/с
Средняя дневная сумма солнечной радиации, кВт·ч/м ² ·день E	5,5 кВт·ч/м ²
Интегрирующий множитель, переводящий потери мощности в потери энергии, T	5000 ч (одинакова для потерь в линии и в УКРМ)
Стоимость электроэнергии C_e	2,098 руб/(кВт·ч)
Коэффициент приведения капиталовложений E_n	0,14 1/год
Норма ежегодных отчислений на ремонт, обслуживание и амортизацию электрооборудования a_p	0,059
Удельные потери активной мощности в УКРМ $\rho_{уд}$	0,002 кВт/квар
Напряжение в узле нагрузки	не меняется
Температура провода при отсутствии УКРМ	близка к максимально допустимой, но не превышает её
При напряжении 6-10 кВ коэффициент реактивной мощности $\text{tg}\phi$	0,4

На начальной стадии осуществляем выбор устройств компенсации реактивной мощности, основываясь из минимальных расходов.

Данный вопрос возможно разрешить на основе формулы для годовых приведенных затрат.

$$Z = E_{II}K + I = (E_{II} + a_p)K + C_3T(\Delta P_{л} + \Delta P_{ку}) = (E_{II} + a_p)K + C_3T\left(\frac{P^2 + (Q - Q_{ку})^2}{U^2}R + \rho_{уд}Q_{ку}\right) \quad (1)$$

где K — капиталовложения на установку УКРМ и новую линию ВЛ-10 кВ АСПТ-50/8 мм²; E_{II} — коэффициент приведения капиталовложений; I — годовые эксплуатационные издержки; a_p — норма ежегодных отчислений на ремонт, обслуживание и амортизацию электрооборудования; C_3 — стоимость электроэнергии; $\Delta P_{л}$ и $\Delta P_{ку}$ — потери мощности соответственно в линии и в УКРМ; T — интегрирующий множитель, переводящий потери мощности в потери энергии и имеющий размерность времени; U — напряжение сети; R — активное сопротивление линии; $\rho_{уд}$ — удельные потери активной мощности в УКРМ.

В вычислении стоимости затраченных средств с учетом температуры и без учета температуры рассматривались затраты на потери энергии, вызванные протеканием активной энергии. Активная мощность в обоих вариантах принималась как переменная величина, зависящая от сопротивления и температуры [5]. Это и есть отличительная сторона расчета затраченных средств. (табл. 2)

Таблица 2. Выбор УКРМ, исходя из минимальных расходов

Длина линии, км	$Q_{ку}$, квар	Стоимость УКРМ и стоимость новой линии, тыс. руб	Z, тыс. руб		$Q_{ку, опт}$ квар		tgφ	$t_{провод}$, °C
			Учит-ся $t_{провод}$	Не учит-ся $t_{провод}$	Не учит-ся $t_{провод}$	Учит-ся $t_{провод}$		
0,3	2250	518,8	633,526	795,152	2250	2700	0,27	103
	2700	615,9	644,055	790,960			0,18	98,4
0,4	2250	528,8	796,543	1012,044	2250	2700	0,27	103
	2700	625,9	800,993	996,867			0,18	98,4
0,6	2700	645,9	1114,87	1408,681	2700	3150	0,18	98,4
	3150	733,1	1119,782	1397,894			0,09	96
0,8	2700	665,9	1428,747	1820,495	3150	3150	0,18	98,4
	3150	753,1	1426,364	1797,181			0,09	96
	3600	826,8	1440,746	1804,711			0	95,2
1	2700	685,9	1742,624	2232,308	3150	3150	0,18	98,4
	3150	773,1	1732,947	2196,468			0,09	96
	3600	846,8	1744,897	2199,854			0	95,2

Итоги изучения по окупаемости вышеперечисленных вводимых мероприятий оценим по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K}{I_{исх} - I_{ПМ}} = \frac{K}{I_{а,исх} - I_{а,ПМ} + C_3(\Delta W_{исх} - \Delta W_{ПМ})}, \quad (2)$$

где $I_{ПМ}$ и $I_{исх}$ — годовые эксплуатационные издержки соответственно после ввода мероприятия и в исходном состоянии; $I_{а,ПМ}$ и $I_{а,исх}$ — составляющие издержек на амортизацию, обслуживание ремонт оборудования соответственно после ввода мероприятия и в исходном состоянии; $W_{ПМ}$ и $W_{исх}$ — потери электрической энергии после ввода мероприятия и в исходном режиме.

Следует отметить, что $W_{ПМ}$ уменьшаются так как:

1. Уменьшается протекающая реактивная энергия;
2. Уменьшается активное сопротивление применяемых проводов;
3. Уменьшаются потери на транспортировку активной мощности.

Оценим полезность мероприятий (табл. 3) при помощи характерных данных сроков окупаемости с учетом и без учета температуры.

Вводимые мероприятия являются целесообразными, так как срок окупаемости даже при минимальной длине линии и без учета температуры применяемого высокотемпературного провода меньше 5 лет, соответственно с увеличением длин проводов, ростом реактивной мощности компенсирующего устройства, учетом температуры применяемого провода, срок окупаемости стремительно уменьшается.

Вывод:

Одновременное применение высокотемпературных проводов и компенсация реактивной мощности с учетом температуры применяемых проводов ведут к значительному повышению пропускной способности линий и снижению потерь электроэнергии.

Таблица 3. Затраты и проверка окупаемости вводимых мероприятий направленных на уменьшение потерь электрической энергии и повышения пропускной способности сети с применением проводов повышенной пропускной способности и устройств компенсации реактивной энергии

Длина линии, км	Расчет без учета $t_{пр}$			Расчет с учетом $t_{пр}$		
	$Q_{ку, опт}$ квар	Стоимость УКРМ и стоимость линии, тыс. руб	$T_{ок}$, лет	$Q_{ку, опт}$ квар	Стоимость УКРМ и стоимость линии, тыс. руб	$T_{ок}$, лет
0,3	2250	518,8	4,22	2700	615,9	1,76
0,4	2250	528,8	2,79	2700	625,9	1,26
0,6	2700	645,9	1,88	3150	733,1	0,9
0,8	3150	753,1	1,49	3150	753,1	0,67
1	3150	773,1	1,18	3150	773,1	0,54

Затраты на приобретение проводов с повышенной пропускной способностью, а также затраты на вводимое мероприятие по компенсации реактивной мощности очень быстро окупаются при их эксплуатации.

Это доказывают результаты исследований по срокам окупаемости мероприятий по увеличению пропускной способности линий энергосистемы.

Таким образом, проведен расчет сроков окупаемости мероприятий по увеличению пропускной способности линий энергосистемы и мероприятий по снижению потерь энергии на примере использования высокотемпературных проводов и компенсации реактивной мощности, направленный на анализ и аудит энергопотребления и выработке методики применения высокотемпературных проводов и компенсации реактивной мощности.

Литература:

1. Гиршин С. С. [и др.]. Математическая модель расчета потерь мощности в изолированных проводах с учетом температуры // Омский научный вестник. — 2009. — № 3. — С. 176–179.
2. Гиршин С. С. [и др.]. Уточнение метода расчета температуры провода при постоянной нагрузке с учетом климатических факторов // Омский гос. техн. ун-т. — Омск, 2010. — С. 23. — Деп. в ВИНТИ 08.04.2010, N198-B2010.
3. Герасимова В.Г. Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 1 / В.Г. Герасимова, А.Ф. Дьякова, Н.Ф. Ильинского, В.А. Лабунцова, В.П. Морозкина, И.Н. Орлова, А.И. Попова, В.А. Строева. — М.: Изд-во МЭИ, 1995. — 440 с.
4. Макаров Е. Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4–35 кВ и 110–1150 кВ. В 5 т. Т. 2. — М.: ПапирусПро, 2003. — 640 с.
5. Петрова Е.В. [и др.]. Учет температурной зависимости сопротивления неизолированного провода при выборе мероприятий по снижению потерь энергии на примере компенсации реактивной мощности // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2013. — № 1. — С. 284–291.
6. Файбисович Д. Л. Справочник по проектированию электрических сетей. — М.: ЭНАС, 2009. — 392 с.
7. Радкевич, В.Н. Оценка снижения потерь активной мощности в трансформаторах при установке батарей низковольтных конденсаторов / В.Н. Радкевич, М.Н. Тарасова // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2014. № 5. С. 27–37.
8. Железко, Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии / Ю. С. Железко. М.: Энергоатомиздат, 1985. 224 с.
9. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. Минск: ИВЦ Минфина, 2015. 589 с.

Опыт применения «умных сетей» в России. Технология Smartgrid

Николаев Михаил Валерьевич, студент;
 Овсянников Андрей Юрьевич, студент;
 Марчинский Иван Юрьевич, студент
 Омский государственный технический университет

Smartgrids (Умные сети) как термин используется с недавних пор в качестве обозначения многих технических операций. Он используется для контроля и анализа электрических сетей. Отмечается, что smartgrid

при определённых модификациях может быть полезен для решения разнообразных задач. Во всех странах мира Smartgrid используется для установления связи между различными источниками энергии, подключения этих источников энергии к электрическим сетям и доведения энергии до потребителей, сочетая возможность расчёта себестоимости продукции и её распределения.

Ключевые слова: Smartgrids, умные сети, интеллектуальная сеть, энергия, энергетика, электрические сети.

Впервые термин Smartgrid — умная (интеллектуальная) сеть был введен в 2003 году в работе «Спрос надёжности будет управлять инвестициями» [2]. Также в данной работе были приведены некоторые функциональные и технологические определения интеллектуальных сетей и их преимущества перед обычными.

В России синонимами Smartgrid являются такие понятия, как «интеллектуальная сеть энергетика», «умная сеть», «интеллектуальная энергетическая система», «активно-адаптивная сеть энергетика» [12].

Общее понятие в разных определениях — использование цифровой обработки данных и связи с электросетью. Следовательно, ключевыми технологиями интеллектуальных сетей являются поток данных, а также управление информацией. Общего международного определения данной технологии на сегодняшний день нет [11].

На современный момент можно констатировать, что значительная часть российской энергосистемы имеет моральный и физический износ, что вызывает частые аварийные ситуации.

Схема управления энергетическими сетями была создана в XX веке, потому не соответствует современным эксплуатационным требованиям.

Цель работы состоит в рассмотрении опыта применения умных сетей (интеллектуальных сетей, SmartGrid) в России и за рубежом.

В задачи работы входит рассмотрение преимуществ использования SmartGrid, а также отечественных и зарубежных разработок в данном направлении.

Основой концепции SmartGrid является использование в общей энергосистеме большого числа различных распределённых источников энергии, к которым относятся маломощные станции и установки, которые работают, в том числе, и на возобновляемых энергоисточниках. Использование распределённых источников даёт возможность снижения потерь, возникающих в процессе перетоков, а также при транспортировке электроэнергии.

Решение этой задачи является актуальной в связи с ростом числа малых электростанций, использующих установки на биогазе. Из мировой практики следует, что использование биогаза в качестве топлива имеет следующие преимущества:

1) биогаз производится из возобновляемой биомассы, бытовых и промышленных отходов;

2) так как используются различные варианты сырья, то установки для производства биогаза могут строиться практически во всех районах, в которых сконцентриро-

вано сельскохозяйственное производство и связанные с ним отрасли промышленности;

3) в отличие от ветровых и солнечных электростанций, производство электроэнергии из биогаза остается стабильным в течение всего года;

4) использование таких методов переработки бытовых и промышленных отходов, а также биологического сырья, как сбраживание в биогазовых реакторах под действием термической газификации биомассы или сбором биогаза на полигонах ТБО, снижает негативное воздействие на окружающую среду.

Несмотря на то, что использование биогазовых технологий в авиации в ближайшее время является малоперспективным [9], оно является одним из наиболее рациональных путей обезвреживания органических отходов [14]. Использование термической газификации биомассы является альтернативой прямому сжиганию.

В конце 1980 годов за рубежом для биомассы были предложены и получили широкое распространение Интегрированные газификационные циклы (Integrated Gasification Combined Cycle — далее IGCC). Крупные программы в области IGCC проводятся в Швеции (TPS), США (JGT), Дании (Volund), Финляндии (Tampella, VTT), и др.

Строительство распределённой сети современных малых и средних электростанций позволит увеличить число рабочих мест в малых городах, тем самым, препятствуя переезду населения в крупные города.

Распределённые энергосистемы обладают повышенной безопасностью, так как в случае аварии, отключении подстанции или обрыве линии, возможно перераспределить мощности близлежащих электростанций, направив её на повреждённый участок.

Использование «умных» счетчиков, которые передают информацию в обоих направлениях, даёт возможность автоматизированного оперативного учёта потребления электроэнергии. Становится возможным использование дифференцированной по времени суток оплаты за потреблённую электроэнергию — в ночное время, когда потребление электроэнергии небольшое, по сниженным тарифам, а по обычным или повышенным тарифам — в дневное время, когда имеет место пиковые нагрузки и повышенное электропотребление.

Использование резервных установок для покрытия пиковых нагрузок только в ограниченные временные периоды вызывает удорожание электроэнергии из-за низкого эксплуатационного КПД подобных установок и ограниченного числа пусков. Применение «умных»

счетчиков, позволяющих производить раздельный учет электроэнергии, в зависимости от времени суток, позволяет потребителю снизить затраты, сократив расход энергии в часовой период, когда тариф максимален.

Помимо этого, при помощи специального приложения, потребитель получает возможность дистанционного управления потреблением энергии «умными» приборами, которые подключены к сети Smartgrid.

Также для энергосбытовой компании становится возможным более точно производить расчет платы потребителями и обнаруживать хищения. Если у потребителей имеются собственные установки для производства электроэнергии, они могут продавать ее в сеть, в частности, по повышенной цене в часы пиковой нагрузки.

Самая важная особенность системы состоит в возможности проведения диагностики и обслуживания сетей в зависимости от технического состояния. Системой выполняется сбор таких параметров, как качество энергии, напряжение, сила тока, провалы напряжения, времени провалов.

Использование автоматического анализа дает возможность узнать место возможной неисправности, направив туда ремонтную бригаду, тем самым предупредив более крупную неисправность и выход из строя оборудования.

На современном этапе ремонт выполняется с определенной периодичностью, в соответствии с требованиями нормативных документов (регламентов).

«Умной» сетью постоянно контролируется состояние оборудования, в частности, температура трансформаторов, а также выявляются проблемы на начальном моменте их возникновения [13, С. 72].

Благодаря вводу программы выигрыш также получают производители такого оборудования, как счетчики, новые типы реле, трансформаторы. Провода, в которых используются композиционные вставки, дают возможность пропускать большую мощность, не увеличивая количество проводов.

Подобные проекты уже реализованы в Бристоле и Глазго, Париже и Копенгагене, в Майами, Мельбурне, Сан Пауло и Сингапуре (компания SilverSpringNetworks) [6].

Один из крупнейших проектов по внедрения концепции Smartgrid на территории России реализуется в Белгороде. По всей территории Белгородской области вводится система «Гелиос», представляющая собой автоматизированную систему управления освещением [13, 10]. Данный пример является единственным в России, когда имеет место полная автоматизация и дистанционное управление сетью наружного освещения города и области. Эта система позволяет осуществить управление наружным освещением, постоянно контролировать состояние объектов уличного освещения, а также эффективно учитывать потребление электроэнергии.

Для «умного» учета энергии с использованием автоматизированной системы коммерческого учета, применяются интеллектуальные счетчики «Нейрон». Эти

счетчики дают возможность предотвратить хищение, применять до 8 типов тарифных зон, 2 типа дней недели (рабочие / выходные), 2 сезона [18]. Прибором выдерживается ток до 50 ампер, что выше максимально допустимой нагрузки, выдерживаемой счетчиками старого образца. Проверка работоспособности должна выполняться один раз в 10 лет. Срок службы оценивается в 40 лет. Потребитель имеет возможность получить значение напряжения сети на текущий момент, а также просмотреть статистику потребления электроэнергии за день, неделю или месяц [13, С. 85].

Электроснабжение белгородской области осуществляется «Белгород-энерго», являющейся филиалом ПАО «МРСК Центра». С 2009 по 2014 годы компания ввела целый комплекс автоматизированных систем и современного оборудования, которые позволяют оперативно реагировать на все события в энергосистеме, а также осуществлять эффективное управление всем комплексом. База данных единой системы управления активами предприятия, реализованной на базе программного обеспечения SAP хранит сведения о более чем миллионе единицах оборудования, состояние которых оценивается постоянной диагностикой. На отдельных подстанциях 35–110 кВ имеется система мониторинга и диагностики трансформаторов, которая позволяет проводить удаленный контроль и анализ технического состояния силового оборудования, а также обнаруживать неисправности на ранних стадиях. На каждой высоковольтной подстанции используется охранно-технологическое видеонаблюдение [8].

В качестве примера еще одного внедрения «умных» счетчиков можно назвать город Пермь. Ставилась задача отработать, а затем передать по всей России, процессы внедрения и функционирования новых технологий [15]. Было установлено порядка 50 тысяч приборов учета, выполнена наладка верхнего уровня информационно-вычислительного комплекса по учету электроэнергии. Была выполнена полная интеграция приборов 5 различных компаний и программного обеспечения. Окупаемость проекта оценена в 4,5 года. В результате реализации проекта было определено, что лучший вариант установки счетчиков — сетевая организация. В соответствии с Федеральным законом № 261 «Об энергосбережении», устанавливая современные приборы учета обязаны потребители [16].

На данный момент интерес к концепции Smartgrid наблюдается во многих странах. Очевидно, что требования разных районов к сети различны. Начало разработки системы было положено в Европе, чтобы включить в сеть большое количество источников возобновляемой энергии, потому что данные страны имеют ограниченные топливные ресурсы.

Так как использование солнечных и ветровых установок не позволяют получить стабильную мощность, потому что на их работу оказывают влияния погодные условия, в связи с этим необходимо применение интеллектуальной системы, выполняющей распределение

энергии между множеством источников и множеством потребителей. Современные накопители энергии дают возможность компенсировать недостаток мощности [11].

В США Smartgrid позиционируется как полностью автоматизированная система, которая объединяет энергетические мощности всей страны.

В Китае на первое место выдвигается вопрос безопасности, а упор делается на использование силовой электроники.

Нужно учитывать, что давно существуют и по отдельности хорошо зарекомендовали себя отдельные средства контроля, учета и управления. Современные «умные» счетчики и реле хорошо справляются со своими функциями. Требуется только объединить их в общую систему.

Рассмотрим существующие использования данных систем в отдельных странах мира.

Муниципалитетом города Майами в 2009 году было предложено вложить 200 миллионов долларов на установку «умных» счетчиков [7].

В западной части острова Оаху, в штате Гавайи используются две линии для передачи энергии. В планах заложена установка новых трансформаторов, которые свяжут северную и южную линии. В первоначальных планах говорилось об установке дополнительных трансформаторов и организации новых подземных линий для наиболее населенных районов. Но потом решение было изменено в сторону применения системы Smartgrid для автоматизации высоконагруженных сетей восточной части Оаху. Данная система со временем должна стать самовосстанавливающейся и давать больший энергетический эффект [3].

В городе Боудер, США, штат Колорадо, был реализован один из первых пилотных проектов. Данный город был выбран потому что имеет подходящую инфраструктуру, удобное географическое положение, население составляет 50 тысяч человек большинство из которых являются пользователями веб-ресурсов. Чтобы осуществить эксперимент были выбраны ключевые компоненты, такие как высокоскоростная система двусторонней связи в режиме реального времени, автоматизированные подстанции, сенсоры, источники распределенной генерации и домашние приборы управления электроэнергией [1].

При принятии решений выдвигались различные предположения относительно используемых материалов и оборудования. Стоимость проекта достигала 44,5 миллионов долларов [4]. В общем, проект принес работоспособную систему, но с населением была проведена недостаточная работа. Из-за чего многие жители не знали возможностей установленного в их домах оборудования и не использовали его, поэтому не были достигнуты предполагаемые позитивные изменения.

В настоящий момент на территории Европы реализуется более 280 исследовательских проектов. В качестве одного из наиболее успешных можно назвать введение системы в Дании на полуострове Ютландия. На данной территории имелось небольшое количество потребителей электроэнергии, 12 электроподстанций, 47

ветрогенераторов и 5 установок когенерации, которые экспериментально были объединены в виртуальную электростанцию. До того, как система была введена, полуостров не имел возможности собственным производством даже обеспечить собственные нужды, а после ввода — стало возможным даже поставлять энергию другим пользователям [17].

Уникальность японской электросети состоит в том, что в ее состав входят 2 отдельные сети, работающие на разных частотах и связанные между собой тремя станциями, на которых установлены преобразователи тока. На восточной сети установлено немецкое оборудование, и она работает на частоте 50 герц, а западная использует американское оборудование и работает на частоте 60 герц.

Япония поделена на 10 зон, каждая из которых обслуживается одной компанией, являющейся монополистом на этой территории. Соседние зоны имеют соединение. Такая система считается очень надежной.

Технология Smartgrid в Японии развивается по следующим причинам:

- 1) наличие большого количества солнечной энергии;
- 2) экономия энергии стимулируется крупными потребителями;
- 3) система напряжения регулярно модернизируется.

Япония является мировым лидером по инвестициям в развитие технологии Smartgrid, за последние десятилетия в ее развитие было вложено более миллиарда долларов.

В городе Йокогама проводился первый эксперимент, в ходе которого были объединены энергосистемы нескольких крупных зданий. Для того, чтобы комбинация электричества из общей сети и распределенных источников поддерживала оптимальный уровень потребления энергии предприятиями, вблизи фабрик были установлены небольшие генераторы и аккумуляторные батареи. Помимо этого некоторые дома оборудовались исходя из принципа энергосбережения с использованием оптимальной энергоэффективной системой освещения, отопления и кондиционирования воздуха.

Помимо этого в них устанавливались солнечные энергосистемы, аккумуляторные батареи, которые являлись основой «умных» блоков питания. Эксперимент был начат в начале 2013 года [5].

В Китае основная часть электрической энергии производится тепловыми станциями. Чтобы снизить выбросы углекислого газа наращиваются мощности «чистой» энергии, в том числе, с использованием гидро-, ядерных, ветровых и солнечных источников. Рост количества станций, не используемых ископаемые виды топлива, происходит постоянно, так как необходимо внедрять эффективную систему, которая позволит использовать распределенные источники в общей энергетической системе. В общем случае, система передачи электроэнергии характеризуется слабым развитием, потому что наиболее мощные станции удалены от восточного побережья, ко-

торое наиболее густонаселенное. Правительством предложено выполнить проектирование и построение трех главных линий электропередачи, каждая из которых к 2020 году должна передавать 20 гигаватт передаваемой мощности.

Технология Smartgrid в Китае внедряется с 1990-х годов. Основной упор должен делаться на силовую электронику, развитие цифровых интеллектуальных подстанций. Главные цели — достижение надежности и безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общими трудностями внедрения системы Smartgrid является недостаточное понимание того, что в сфере энергетики необходимы коренные перемены, так как имеются сложности объединения оборудования разных производителей в единую систему. Необходимы значительные финансовые вложения, которые окупятся только через длительное время. Потребителям нужно разъяснять возможности снижения денежных затрат, например, использовать скидку на электроэнергию в ночное время.

Есть успешные реализации локальных проектов систем освещения, учета электрической энергии, использование в сети распределенных источников энергии, имеющих малую мощность. Одновременно, в региональных масштабах для замены оборудования необходимы огромные денежные вложения. Эффективность использования крупной распределенной сети, включающей множество поставщиков энергии, на настоящий момент не доказана. Использование «умных» счетчиков дает возможность повысить точность расчетов с населением и снизить возможности хищения электроэнергии. Но большие выгоды можно получить только при правильной работе с потребителями.

Литература:

1. April Nowicki. Boulder's Smart Grid Leaves Citizens in the Dark. // Сайт GTM. Режим доступа: <http://www.greentechmedia.com/articles/read/Boulders-Smart-Grid-Leaves-Citizens-in-the-Dark>
2. Burr M. T. Reliability demands drive automation investments. // Fortnightly. TechnologyCorridor. 2003. Nov. 1. Режим доступа: <http://www.fortnightly.com/fortnightly/2003/11/technology-corridor>
3. Hawaiian Electric Company. Integrated automation helps improve grid reliability. // Сайт Siemens. Режим доступа: http://w3.usa.siemens.com/smartgrid/us/en/webinars/leadthecharge/Documents/Heco_CaseStudy.pdf
4. Mark Jaffe. Xcel's Smart Grid City plan fails to connect with Boulder. // The Denver Post BUSINESS. Режим доступа: http://www.denverpost.com/business/ci_21871552/xcel-smartgridcity-plan-fails-coonect-boulder
5. Project acronym GRID+. D1.5 — Map of Smart grids initiatives: international outreach. Projectno.: 282794. // EEGI. 01 October 2011. 132 p. Режим доступа: https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBsQFjAAahUKEwjR1cXXoJfJAhXI_nIKHSRvBi0&url=http%3A%2F%2Fwww.gridplus.eu%2FDocuments%2FDeliverables%2FD%25201.5%2520-2307-0595
6. Silver Spring Networks Selected for Comprehensive Smart City Deployment in Paris. // СайтSilverspring. Режим доступа: <http://www.silverspringnet.com/article/silver-spring-networks-selected-for-comprehensive-smart-city-deployment-in-paris/#.VjptrNLqiko>
7. Stern S. M. Smart-Grid: Technology and the Psychology of Environmental Behavior Change. // Chicago-Kent Law Review. 2011. Vol. 86. Iss. 1. (Symposium on Energy Law). Article 7. P. 139–160

На настоящий момент наиболее ценным является опыт Китая.

Основными целями должны стать:

- 1) автоматический контроль за показателями качества электроэнергии на всех участках цепи;
- 2) безопасность и бесперебойное снабжение энергией;
- 3) быстрое реагирование на возникающие неполадки, что позволит предотвратить аварийное развитие событий.

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что не является необходимым связывание в единую систему всех энергетических источников страны. Связывать нужно в локальных масштабах, соединяя некоторые соседние станции. Это позволит распределять энергию.

Виртуальные электростанции нужно только в районах, в которых расположено большое количество энергоисточников, использующих нетрадиционные виды топлива.

Для предупреждения развития аварийных ситуаций крайне важно проводить установку приборов для контроля состояние оборудования подстанций и сети.

Современные счетчики, которые позволяют более точно проводить расчеты с потребителями и снижать возможность хищения электроэнергии, успешно используются во всем мире. Целесообразность их установки уже подтверждена многими реализованными проектами. Для современного этапа технологического развития, необходимость использования подобных технологий является очевидной.

Чтобы проект внедрения технологии Smartgrid имел успешную реализацию, необходимо выполнение следующих условий:

- 1) государственная поддержка и контроль инвестиций в данную сферу;
- 2) разработка нормативно-правовой базы;
- 3) разъяснение конечным потребителям их прав и возможностей.

8. Белгородэнерго: о филиале. // Сайт компании ПАО «МРСК Центра». Режим доступа: <http://www.mrsk-1.ru/about/branches/belgorodenergo/about/>
9. Бурцев С. А., Самойлов М. Ю., Симаков М. В. Анализ экологических аспектов применения перспективных схем силовых установок ближне- и среднемагистральных самолетов // Безопасность в техносфере. М.: НИЦ ИНФРА-М. 2015. Т. 4. № 2. С. 67–72
10. Гелиос. Автоматизация. Эффективность. Экономия. // Официальный сайт ООО «ИВТБелГУ». Белгород. Режим доступа: <http://www.helios.su/>
11. Гуревич В. И. Интеллектуальные сети: новые перспективы или новые проблемы? Ч. 2. // Электротехнический рынок. 2011. № 1–2 (37–38). С. 90–97
12. Егоров В., Кужеков С. Интеллектуальные технологии в распределительном элек-тротехническом комплексе // ЭнергоРынок. 2010. № 6. С. 26–28. Режим доступа: <http://www.e-m.ru/er/2010-06/29619/>
13. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции SmartGrid. — М.: ИАЦ Энергия. 2010. — 208 с.
14. Куфтов А. Ф., Кузьмина Ю. С. Перспективы применения твердых топлив из биомассы // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. № 8.6с. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/216747.html>
15. Ледин С. С. Концепция «электроэнергия — товар» как катализатор развития SmartGrid. // Автоматизация в промышленности. 2012. № 4. С. 23–26
16. Опыт реализации проекта SMARTMETERING в Перми. // Сайт Информационного центра СРО НП «Энергострой». Режим доступа: <http://www.infocenterpro.ru/publications/1622090/>
17. Семёнов В. Технология Smartgrid и будущее мировой электроэнергетики // Электрик. Международный электротехнический журнал. 2013. № 12. С. 16–20
18. Счетчики электроэнергии Нейрон для систем АСКУЭ. // Сайт компании «Электро-мир». Белгород. Режим доступа: <http://www.electromirbel.ru/neuron>

Выбор электрогенераторов для ветроэнергетических установок

Нурахмет Ералы Ертаулы, магистрант;
 Гафаров Артур Айратович, магистрант;
 Бенке Майга Сергеевна, магистр;
 Ковалев Глеб Александрович, студент;
 Макаренко Виталий Андреевич, студент
 Омский государственный технический университет

В статье рассмотрены основные виды и конструкции электрогенераторов, применяемых в ветроэнергетических установках, а также проведен их анализ. Рассмотрены формулы для выбора генераторов ВЭУ, приведены основные параметры, характеризующие ВЭУ, описаны формулы для выбора генераторов ВЭУ. Указаны основные факторы, влияющие на выбор электрогенераторов. Подробно рассмотрены конструкции электрогенераторов с их отличительными функциями. Исследованы модели электрогенераторов с использованием электрических эквивалентных схем.

Ключевые слова: электрогенераторы, ветроэнергетическая установка, возобновляемые источники энергии.

Энергия ветра для производства электроэнергии сегодня является уже сформированной, конкурентоспособной и практически незагрязняющей технологией, широко используемая во многих странах мира. Системы преобразования энергии ветра стали координационным центром в исследовании возобновляемых источников энергии. Это не только из-за быстрого развития мощности ветряных генераторов, но и из-за улучшения электроники и их применение в получении энергии ветра. Эта статья имеет взаимосвязь с последними открытиями в системах преобразования энергии ветра, их классификации, выбор генераторов и их социальных, экономических и экологических преимуществ и недостатков, обзор вопросов присоединения распределенных ресурсов, включая ветровую энергию с электроэнергетическими системами.

Основными параметрами, характеризующими ВЭУ, являются: $P_{ном}$ - номинальная мощность; U_0 - начальная скорость, при которой ветроколесо начинает вращаться; $U_{ном}$ - номинальная скорость; U_{max} - максимальная скорость,

при которой ВЭУ выводится из рабочего режима; h - высота, на которой расположена ось ветроколеса; d - диаметр ветроколеса [1].

Электрическая мощность, вырабатываемая ВЭУ в зависимости от скорости ветра U , равна:

$$P(U) = P_{ном} \cdot \varphi(U), \quad (1)$$

Где $\varphi(U)$ — рабочая характеристика ВЭУ. Для многих ВЭУ она имеет следующий вид:

$$\varphi(U) = \begin{cases} 0, & U < U_0 \\ \left(\frac{U}{U_{ном}}\right)^3, & U_0 \leq U \leq U_{ном} \\ 1, & U_{ном} < U < U_{max} \\ 0, & U > U_{max} \end{cases} \quad (2)$$

Скорость ветра U — случайная непрерывная величина. Для аппроксимации результатов измерений скорости ветра обычно используют функцию распределения Вейбулла [2]:

$$F(U) = 1 - e^{-\left(\frac{U}{c}\right)^k}, \quad (3)$$

Где k — параметр формы, а c — параметр, близкий к средней скорости ветра \bar{U} .

Математическое ожидание и дисперсия распределения скорости ветра равны:

$$\bar{U} \int_0^{\infty} U \cdot f(U) \cdot dU = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right), \quad (4)$$

$$D = \int_0^{\infty} (U - \bar{U})^2 \cdot f(U) \cdot dU = c^2 \cdot \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right], \quad (5)$$

Где $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} \cdot e^{-t} \cdot dt$ — гамма-функция.

Метеорологические службы регистрируют параметры ветра на стандартной высоте флюгера h_ϕ (равной 10 м). Оси ветроколес современных ВЭУ находятся на высотах h от 10 до 100 м. Для определения средней скорости ветра на этих высотах используют приближенную эмпирическую формулу [1]

$$\bar{U}_h = \bar{U}_\phi \cdot \left(\frac{h}{h_\phi}\right)^b, \quad (6)$$

Где \bar{U}_ϕ — средняя скорость ветра на высоте флюгера. Для открытых мест

$b = 1/7 = 0,14$. Отметим, что увеличение высоты h не изменяет параметр k , а приводит только к увеличению параметра c на фактор $(h/h_\phi)^b$.

Мощность ветрового потока единичного сечения (удельная мощность) равна:

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho \cdot U^3, \quad (7)$$

где ρ — плотность воздуха. Величина $P_0 \cdot f(U)$ есть плотность распределения энергии ветра. Она имеет максимум при скорости ветра:

$$U_n = \left(\frac{k+2}{k}\right)^{\frac{1}{k}} \cdot c. \quad (8)$$

Номинальную мощность ВЭУ с горизонтальной осью вращения можно оценить по формуле [2, 3]

$$P_{ном} = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot \eta_p \cdot \eta_e \cdot C_p \cdot U_{ном}^3, \quad (9)$$

где $S = \frac{\pi d^2}{4}$ — площадь, ометаемая ветроколесом; η_p — КПД ротора ветроколеса; η_e — КПД электрогенератора; C_p — коэффициент мощности, который учитывает долю получаемой ветродвигателем мощности ветрового потока. Для ориентировочных расчетов можно приближенно принять: $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$; $\eta_p = 0,9$; $\eta_e = 0,95$; $C_p = 0,45$.

Условие выбора оптимальной ВЭУ можно записать в виде

$$\begin{cases} U_0 < \bar{U}, \bar{U} < U_{ном} \leq U_n, \\ U_{max} > U_{ном}, P_{ном} \approx 0,18 \cdot d^2 \cdot U_{ном}^3. \end{cases} \quad (10)$$

При выборе ВЭУ по соотношениям (10) следует также учесть зависимость величин \bar{U} и U_n от высоты расположения ветроколеса h .

Средняя мощность ВЭУ

$$\bar{P} = P_{ном} \cdot \bar{\Phi}, \quad (11)$$

где $\bar{\Phi}$ — среднее значение рабочей характеристики, которое можно интерпретировать как коэффициент использования располагаемой мощности ВЭУ. При использовании функции распределения Вейбулла получим

$$\bar{\Phi} = \int_0^{\infty} \varphi(U) \cdot f(U) \cdot dU = \left(\frac{c^3}{U_{ном}^3} \right) \left[\gamma \left(1 + \frac{3}{k} \left(\frac{U_{ном}}{c} \right)^k \right) - \gamma \left(1 + \frac{3}{k} \left(\frac{U_0}{c} \right)^k \right) \right] + e^{-\left(\frac{U_{ном}}{c} \right)^k} - e^{-\left(\frac{U_{max}}{c} \right)^k}, \quad (12)$$

Где $\gamma(a, x) = \int_0^x t^{a-1} \cdot e^{-t} \cdot dt$ — неполная гамма-функция.

Средняя производительность ВЭУ за период времени T составит [1,4]

$$\bar{W} = \bar{P} \cdot T. \quad (13)$$

Таким образом, выбор наиболее подходящей ВЭУ и оценка ее производительности сводится к статистической оценке параметров функции распределения Вейбулла k и c .

Известно, что выходная мощность генератора ветроэлектрической установки (ВЭУ) зависит от конструкции лопастей и кинетической энергии ветра [3]. Кинетическую энергию воздушного потока, со средней скоростью V , проходящего через поперечное сечение с площадью S , перпендикулярно скорости ветра, и массу воздуха m определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{кин} = \frac{mV^2}{2}, \quad (14)$$

где $m = \rho VS$; $\rho = 1,226 \text{ кг/м}^3$ — плотность воздуха соответствующая нормальным климатическим условиям: $t = 15^\circ \text{ C}$, давление равно 760 мм рт. ст (101,3 кПа); S — ометаемая площадь ветроколеса (ВК) с горизонтальной осью вращения, определяется по формуле:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (15)$$

где D — диаметр ветроколеса.

Если в (14) подставить значение массы воздуха m и ометаемой площади ветроколеса S , получим формулу для определения механической мощности ВЭУ:

$$N_{ВК} = 0,5\rho\xi D^2 V^3, \quad (16)$$

Где $\xi = 0,4...0,45$ — коэффициент использования энергии ветра.

Электрическая мощность ВЭУ:

$$P_{ВЭУ} = N_{ВК} \eta_{мех} \eta_{г}, \quad (17)$$

где $\eta_{мех} = 0,8...0,9$ — механическое КПД ветроагрегата; $\eta_{г} = 0,7...0,9$ — КПД генератора электроэнергии с учётом КПД стабилизатора напряжения.

После постановки всех указанных средних значений коэффициента в (17) и (16) получается ориентировочная формула для определения электрической мощности генератора ВЭУ:

$$P_{ВЭУ} = 0,68D^2V^3. \quad (18)$$

Как видно из формулы (18) электрическая мощность генератора ВЭУ в основном зависит от диаметра ветроколеса и скорости ветра. Известно также, что мощность генератора ВЭУ зависит также от формы и профиля лопастей [4]. В настоящее время широкое распространение получили ВЭУ с крыльчатками ВК и горизонтальной осью вращения.

Основными преимуществами ВЭУ с горизонтальной осью вращения ВК является то, что условия обтекания лопастей воздушным потоком постоянны, не изменяются при повороте ВК, а определяются только скоростью ветра. Благодаря этому, а также достаточно высокому значению коэффициента использования энергии ветра, ВЭУ крыльчатого типа в настоящее время получили наибольшее распространение. Здесь основным критерием является экономическая эффективность ВЭУ [5].

Мощность генератора ВЭУ пропорциональна скорости ветра в третьей степени. Поэтому при изменении скорости ветра в широком диапазоне происходят большие потери энергии в генераторах вследствие их низких КПД на малых нагрузках, а в асинхронных генераторах возникают, кроме того, большие реактивные токи, которые необходимо компенсировать. Для исключения этого недостатка в некоторых ВЭУ применяют два генератора с номинальными мощностями ВЭУ. При слабых ветрах первый генератор отключается. В некоторых ВЭУ малый генератор обеспечивает также возможность работы установки при малых скоростях ветра при пониженных оборотах с высоким значением коэффициента использования энергии ветра [6].

На выбор генератора ВЭУ оказывают влияние три основных фактора:

1) Выходная мощность (кВт), определяется только мощностью преобразователя (инвертора) и не зависит от скорости ветра, ёмкости аккумуляторов. Ещё её называют «пиковой нагрузкой». Этот параметр определяет максимальное количество электроприборов, которые могут быть одновременно подключены к системе электроснабжения. Невозможно одновременно потреблять больше электроэнергии, чем позволяет мощность инвертора. Для увеличения выходной мощности возможно одновременное подключение нескольких инверторов [4].

2) Время непрерывной работы при отсутствии ветра или при слабом ветре определяется ёмкостью АБ и зависит от мощности и длительности потребления. Если потребление электроэнергии происходит редко, но в больших количествах, то необходимо выбрать АБ с большой ёмкостью.

3) Скорость заряда АБ зависит от мощности самого генератора. Также этот показатель зависит от скорости ветра, высоты мачты, рельефа местности. Чем мощнее генератор, тем быстрее будут заряжаться АБ, а это значит, что быстрее будет потребляться электроэнергия из батарей. Более мощный генератор следует брать в том случае, если ветра в месте установки слабые или потребители потребляют электроэнергию постоянно, но в небольших количествах.

Одним из ограничивающих факторов в ветряных турбинах является сама конструкция генератора. Среди ученых нет единого мнения на наилучшую конструкцию ветряных турбин генератора. Существуют три основных типа генератора применяемых в ВЭУ, которые могут быть рассмотрены для различных систем ветротурбины:

- синхронные генераторы постоянного тока;
- синхронные генераторы переменного тока;
- асинхронные генераторы переменного тока.

В принципе, каждый может работать по фиксированной или переменной скорости. Из-за меняющегося характера ветровой энергии, это выгодно для работы ВЭУ с переменной скоростью, которая снижает физическую нагрузку на лопатки турбины и трансмиссии, улучшает аэродинамическую эффективность системы и крутящий момент переходного процесса.

Конструкция генератора постоянного тока

В машинах постоянного тока, магнитное поле возникает в статоре, якорь расположен на роторе. Статор включает в себя некое количество полюсов, которые возбуждаются либо постоянными магнитами, либо обмоткой постоянного поля.

Пример системы генератора ветра постоянного тока показан на рис. 1. Он состоит из ветровой турбины, генератора постоянного тока, с изолированным затвором биполярного транзистора, инвертора, контроллера, трансформатора и электросети. В генераторе постоянного тока, ток возбуждения (и, следовательно, магнитного поля) возрастает

с увеличением рабочей скорости, в то время как фактическая частота вращения ветродвигателя определяется балансом между крутящим моментом и моментом нагрузки. Ротор включает в себя проводники, намотанные на арматуру. Электроэнергия добывается с помощью щеток, соединяющих коммутатор, который используется для устранения генерируемой мощности переменного тока в напряжение постоянного тока. Они требуют регулярного обслуживания и являются относительно дорогостоящими из-за использования коммутаторов и щеток.

В общем, применение генераторов постоянного тока является необычным в турбине ветряных электрогенераторов разве, что в условиях низкого потребления энергии, где нагрузка физически близка к ветродвигателю, в отопительных системах или в зарядке аккумулятора.

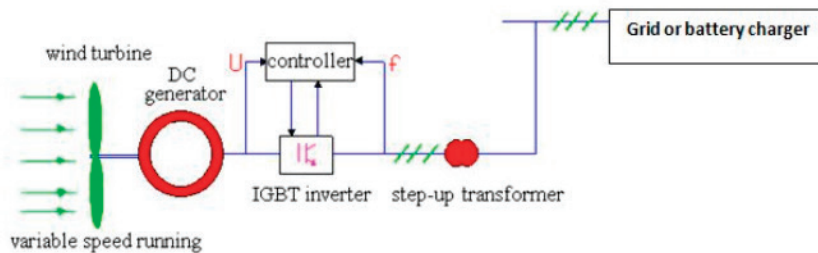


Рис. 1. Схема системы генератора постоянного тока

Конструкция синхронного генератора переменного тока

Синхронные генераторы обладают самой надежной конструкцией. С момента их появления они были широко изучены для выработки электроэнергии. Схема в разрезе обычного синхронного генератора показана на рисунке 2. В теории, реактивная характеристика мощности синхронного генератора может легко управляться с помощью цепи возбуждения для электрического возбуждения. При использовании фиксированной скорости синхронных генераторов, случайной скорости ветра колебания и периодических возмущений, вызванных башенным эффектом и естественным резонансом, компоненты будут переданы в электросеть. Как следствие, они требуют дополнительного демпфирующего элемента (например, гибкая муфта в приводе), или редуктор, установленный на пружине и в амортизаторах.

Когда они внедрены в энергосистему, синхронизация их частоты в сети требует аккуратной работы. Кроме того, они, как правило, более сложные, дорогостоящие и более склонны к отказу, чем асинхронные генераторы.

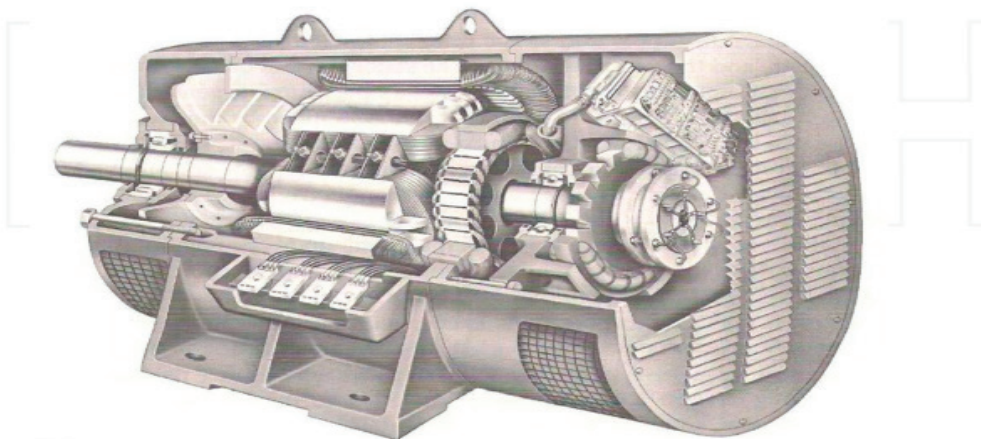


Рис. 2. Вид синхронного генератора в разрезе

В последние десятилетия, генераторы на постоянных магнитах постепенно используются в ветровых турбинах из-за их высокой мощности и низкой массы. Часто эти машины рассматриваются для выбора в малых ВЭУ. Структура генератора относительно проста. Как показано на рис. 3. Прочные постоянные магниты установлены на роторе для создания постоянного магнитного поля, и произведенная электроэнергия берется из якоря (статора) через использование коллекторных, контактных колец или щеток. Постоянные магниты могут быть установлены в цилиндрическом роторе из литого алюминия, чтобы снизить затраты. Принцип работы генераторов на постоянных магнитах аналогичен синхронному генератору за исключением того, что генераторы на постоянных магнитах могут работать асинхронно. Пре-

имущества генераторов на постоянных магнитах включают устранение коллектора, контактных колец и щеток, так что машины прочны, надежны и просты. Использование постоянных магнитов удаляет поле обмотки (и связанные с ним потери мощности), но делает управление на местах невозможно, а стоимость преобразователей может быть непомерно высокой для больших машин.

Поскольку фактические скорости ветра переменны, генераторы на постоянных магнитах не могут генерировать электроэнергию с фиксированной частотой. Они должны быть подключены к электросети через преобразование переменного тока с помощью преобразователя энергии. Генерируемая мощность переменного тока (с переменной частотой и величиной) сначала выпрямляется в постоянный ток, а затем преобразуется обратно в мощность переменного тока (с фиксированной частотой и величиной). Целесообразно использовать эти машины с постоянными магнитами для непосредственного применения привода. Очевидно, что в этом случае они могут устранить проблемы с коробкой передач, которые вызывают большинство аварий ветровых турбин.



Рис. 3. В разрезе постоянный магнит синхронного генератора

Аналогом синхронных генераторов является высокотемпературный сверхпроводящий генератор (рис. 4) для нескольких мощностей. Машина содержит статор, сердечник с медной обмоткой, опорная конструкция, система охлаждения, криостат и внешний холодильник, электромагнитный экран и демпфер, подшипник, вал и корпус. В конструкции машины, механизмы статора, ротора, охлаждения и коробка передач могут представлять особые проблемы, с тем, чтобы сохранить обмотки в эксплуатационных условиях низких температур.

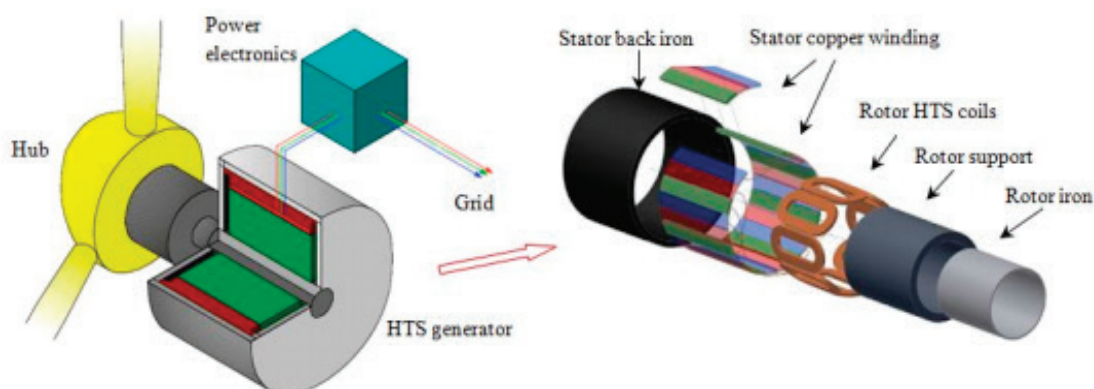


Рис. 4. Схема синхронного генератора

Сверхпроводящие катушки могут нести в 10 раз больше тока, чем обычные медные провода с пренебрежимо малыми потерями сопротивления на проводниках. Без сомнения, использование сверхпроводников позволит устранить все потери мощности цепи возбуждения и увеличит плотность тока, который сильно увеличит магнитные поля, что приведет к значительному снижению массы и размеров для ветрогенераторов. Таким образом, сверхпроводящие генераторы обеспечивают широкие перспективы в большой емкости и сокращения веса, возможно, подходит лучше для ветровых турбин мощностью 10 МВт или более. В 2005 году «Сименс» успешно запустила первый в мире сверхпроводящий генератор ветротурбины мощностью 4МВт. Тем не менее, есть много технических проблем, одна из которых срок службы, малообслуживаемых ветровых турбинных систем.

Асинхронные генераторы переменного тока

Для выработки электроэнергии обычно используются синхронные машины, энергетические системы современных ветровых установок используют индукционные машины. Эти асинхронные генераторы делятся на два типа: индукционные генераторы с фиксированной скоростью с короткозамкнутым ротором (иногда называют короткозамкнутые асинхронные генераторы) и двойные индукционные генераторы с намотанным ротором. Наглядные изображения с короткозамкнутого асинхронного генератора представлены на рисунках 5 и 6, соответственно, и их системы топологий дополнительно проиллюстрированы на рисунке 7.

При поставке энергии с трехфазной сети переменного тока статора, вращающееся магнитное поле устанавливается поперек воздушного зазора. Если ротор вращается со скоростью, отличной от синхронной скорости, создается сลิป, и цепь ротора находится под напряжением. Вообще говоря, индукционные машины просты, надежны, недороги и хорошо развиты. Они имеют высокую степень демпфирования и способны поглощать колебания скорости вращения ротора. Для фиксированной скорости вращения асинхронных генераторов, статор соединен с сеткой через трансформатор, а ротор соединен с ветротурбиной через редуктор. Скорость ротора считается фиксированной (на самом деле, варьируя в пределах узкого диапазона). До 1998 года большинство производителей ветряных турбин не строили их с фиксированной скоростью асинхронных генераторов мощностью 1,5 МВт и ниже. Эти генераторы обычно работают со скоростью 1500 оборотов в минуту для электрической сети 50 Гц, с трехступенчатой коробкой передач.

Асинхронные генераторы с короткозамкнутым ротором могут быть использованы в переменной скорости ветровых турбин, как и в управлении синхронных машин. Тем не менее, выходное напряжение не может контролироваться и реактивной мощности необходимо внешнее питание. Очевидно, что асинхронные генераторы с фиксированной скоростью ограничены, чтобы работать только в очень узком диапазоне дискретных скоростей. Другие недостатки машины связаны с размером машины, уровнем шума, низкой эффективностью и надежностью. Эти машины оказались причиной сбоев, требовали огромного обслуживания и последующее техническое обслуживание.

Асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором преобладал на рынке ветряных турбин до последних лет, не давший широкому внедрению асинхронные генератором с двойным питанием. В настоящее время, более 85% установленных ветряных турбин используют асинхронные генераторы с двойным питанием. В схемах асинхронных генера-

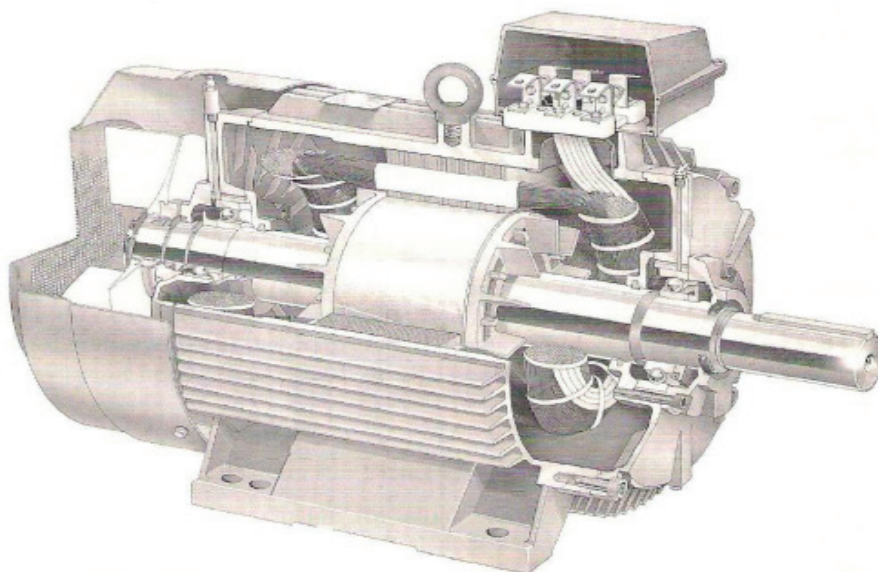


Рис. 5. Короткозамкнутый генератор в разрезе

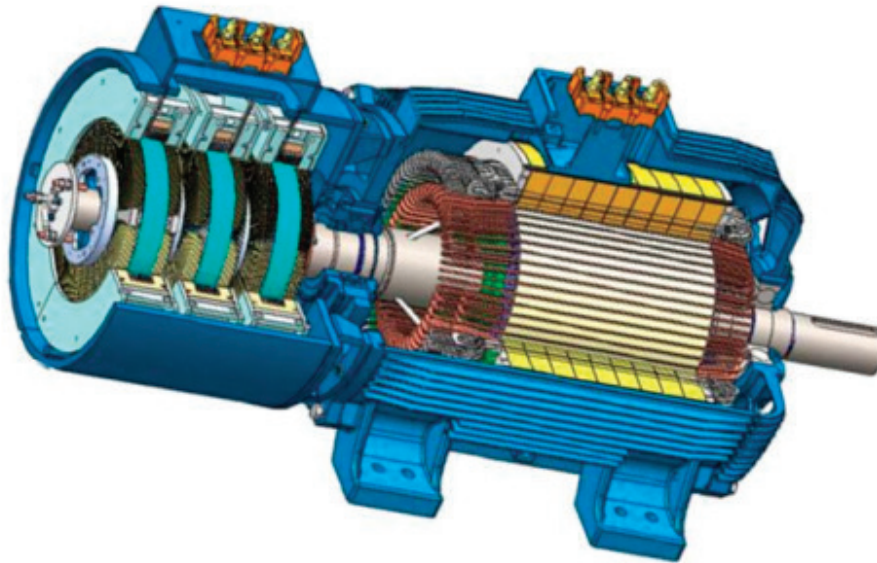
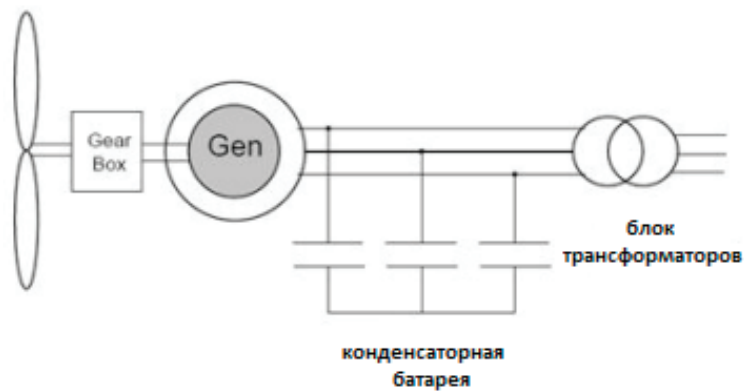
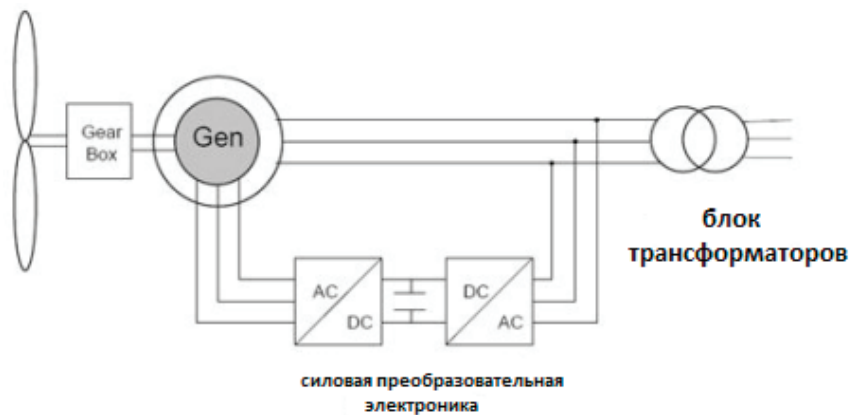


Рис. 6. В разрезе дважды кормили асинхронный генератор с вращающегося трансформатора



(а) асинхронный генератор с фиксированной скоростью



(б)

Рис. 7. Схемы двух систем индукционного генератора

торов с двойным питанием, статор напрямую подключен к сети через трансформаторы, и ротор подключен к сети через ШИМ-преобразователи энергии. Преобразователи могут контролировать роторные цепи тока, частоты и угла сдвига фазы. Такие асинхронные генераторы способны работать в широком диапазоне скольжения (обычно $\pm 30\%$ от син-

хронной скорости). В результате, они предлагают много преимуществ, таких как высокий выход энергии, уменьшение механических напряжений, колебаний мощности и управляемой реактивной мощности.

Асинхронные генераторы не зависят от нестабильности напряжения. Когда конденсаторы используются для компенсации коэффициента мощности, есть риск возникновения самовозбуждения. Кроме того, эффект демпфирования может привести к потерям мощности в роторе.

Как показано на рисунке 7(б), ротор асинхронного генератора с двойным питанием механически соединен с ветродвигателем через систему приводов, которые могут содержать высокоскоростные и низкоскоростные валы, подшипники и редуктора. Ротор питается от двунаправленного преобразователя источника напряжения. Таким образом, скорость и крутящий момент асинхронного генератора с двойным питанием можно регулировать путем контроля со стороны крыльчатки преобразователя. Еще одна особенность заключается в том, что асинхронный генератор с двойным питанием может работать при суб-синхронных и синхронных условиях. Статор всегда передает мощность в сеть, а ротор может отрегулировать мощность в обоих направлениях. Последнее связано с тем, что в широтно-импульсный преобразователь энергии способен передавать напряжение и ток при разных фазовых углах. В суб-синхронных условиях, роторный преобразователь работает как инвертор и сетевой конвертер в качестве выпрямителя. В этом случае активная мощность течет от сети к ротору.

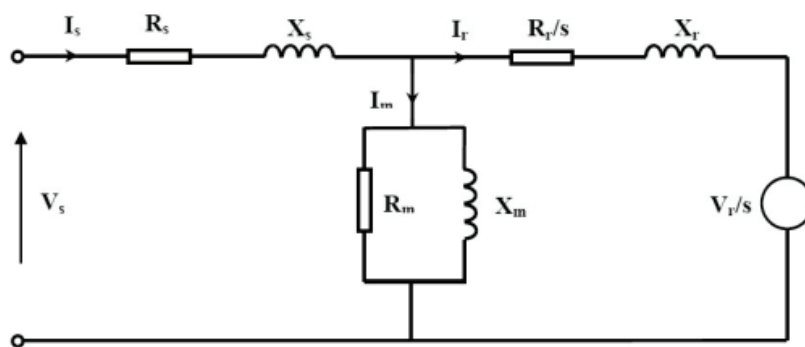


Рис. 8. Эквивалентная схема на каждую фазу асинхронного генератора с двойным питанием

Для анализа производительности асинхронного генератора с двойным питанием, всегда необходимо учитывать и анализировать его каждую фазу эквивалентной схемы, как показано на рисунке 8. Из этого рисунка видно, что асинхронный генератор с двойным питанием отличается от обычной индукционной машины тем что, в цепи ротора, напряжение источника добавляется для поддержания напряжения в цепи ротора.

$$\begin{bmatrix} V_s \\ V_r/s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + j(X_s + X_m) & -jX_m \\ -jX_m & R_r/s + j(X_r + X_m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_s \\ I_r \end{bmatrix} \quad (19)$$

P_{in} входной мощности можно суммировать из P_{out} выходной мощности и полной потери мощности P_{loss} . Последняя включает в себя потери статора P_{cu1} , потери ротора P_{cu2} , основные потери сердечника P_{core} , потери на трение P_{wf} и случайные потери нагрузки P_{stray} . Среди этих потерь, P_{cu1} предполагается, изменение в зависимости от квадрата тока статора I_s в то время как P_{cu2} изменяется в зависимости от площади ротора ток I_r . Случайные потери нагрузки можно разделить на две части: основная составляющая P_{jun} происходит на стороне статора и P_{har} на стороне ротора. Таким образом, P_{jun} пропорциональна I_s^2 в то время как P_{har} пропорциональна I_r^2 .

Общие потери определяются по формуле [12]

$$P_{loss} = 3I_s^2(R_s + R_{jun}) + 3I_r^2(R_r' + R_{har}) + P_{core} + P_{wf} \quad (20)$$

Эффективность асинхронного генератора с двойным питанием определяется [12]

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{3V_{out} \cos \phi_r}{6I_s(R_s + R_{jun} + R_r' + R_{har}) + 3V_{out} \cos \phi_r} \quad (21)$$

Эффективность может быть выражена в виде функции от тока нагрузки I_s и эта функция непрерывна и бесконечна. Следовательно, максимальная эффективность может быть найдена, если:

$$\frac{\partial \eta}{\partial I_s} = 0 \quad (22)$$

То есть, условие достижения максимальной эффективности для асинхронного генератора с двойным питанием соблюдается при:

$$P_{core} + P_{wf} = P_{cu1} + P_{cu2} + P_{stray} \quad (23)$$

Для того чтобы оптимизировать конструкцию асинхронного генератора с двойным питанием, то необходимо вывести численно или экспериментально ее потери и коэффициент полезного действия. Условие максимального возникновения эффективности показывает: когда потери в зависимости от нагрузки уравновешены.

Для контроля асинхронного генератора с двойным питанием составлена математическая модель, которая основана на синхронной системе отсчета следующим образом [12],

$$\begin{cases} v_{sd} = r_s i_{sd} + \frac{d\psi_{sd}}{dt} - \omega_s \psi_{sq} \\ v_{sq} = r_s i_{sq} + \frac{d\psi_{sq}}{dt} - \omega_s \psi_{sd} \end{cases} \quad (24)$$

$$\begin{cases} v_{rd} = r_r i_{rd} + \frac{d\psi_{rd}}{dt} - (\omega_s - \omega_r) \psi_{rq} \\ v_{rq} = r_r i_{rq} + \frac{d\psi_{rq}}{dt} - (\omega_s - \omega_r) \psi_{rd} \end{cases} \quad (25)$$

$$\begin{cases} \psi_{sd} = (L_s + L_m) i_{sd} + L_m i_{rd} \\ \psi_{sq} = (L_s + L_m) i_{sq} + L_m i_{rq} \end{cases} \quad (26)$$

$$\begin{cases} \psi_{rd} = (L_s + L_m) i_{rd} + L_m i_{sd} \\ \psi_{rq} = (L_s + L_m) i_{rq} + L_m i_{sq} \end{cases} \quad (27)$$

где r_s и r_r статора и ротора сопротивления; ω_s синхронная электрическая скорость в рад/сек. ω_r скорость ротора; Электромагнитный крутящий момент задается:

$$T_e = \frac{3}{2} PL_m (i_{sq} i_{rd} - i_{sd} i_{rq}) \quad (28)$$

В матричной форме уравнение для этой цепи

В асинхронных генераторах с двойным питанием, активная мощность используется для оценки выходной мощности и реактивной мощности и отвечает за его электрические характеристики в электрической сети. Асинхронные генераторы с двойным питанием требуют потребления некоторого количества реактивной мощности, чтобы начать вырабатывать свое магнитное поле. В случае соединения генератора с сетью, генератор получает реактивную мощность из самой сети [12].

Основной проблемой, описываемой в статье, является выбор электрогенератора для ВЭУ. В качестве генераторов в ВЭУ чаще используются асинхронные генераторы с короткозамкнутым ротором. Отличие, которых от синхронных генераторов является большая надежность, простота конструкции и малая масса, что необходимо для повышения надежности ветроэнергостановки.

В качестве электромеханического преобразователя ВЭУ в основном используют синхронные генераторы. При выборе генератора с постоянными магнитами на роторе необходимо учитывать высокую стоимость постоянных магнитов и возможность их размагничивания при возникновении коротких замыканий в нагрузке. Асинхронные генераторы (АГ) с короткозамкнутым ротором также перспективны для ВЭУ малой и средней мощности. В частности, при использовании АГ отпадает необходимость в настройке генераторов на параллельную работу, повышается надёжность за счёт отказа от щётчных контактов, как в АГ двойного питания. Снижается стоимость ВЭУ. Компонировка предполагает возможность использования как горизонтально-осевых ветроколёс, так и вертикально-осевых, например, быстроходных роторов Дариуса. Вентильное возбуждение асинхронных генераторов позволяет более эффективно осуществлять запуск генератора, а также требует меньших габаритов, чем конденсаторное. Разработана инновационная конструкция электрических машин, улучшающая их массогабаритные и энергетические характеристики. Оригинальность заключается в выполнении лобовых частей обмотки статора, где применяются проводники переменного сечения. В этом случае,

лобовые части представляют собой как бы части окружностей, сгруппированные из нескольких проводников. Сечение проводников лобовых проводников равно сечению активных проводников, а проводники, их соединяющие, имеют в два раза меньшее сечение.

Заключение

Проектирование и успешное функционирование систем преобразования энергии ветра (СПЭВ) является очень сложной задачей и требует навыков многих междисциплинарных навыков, например, гражданское строительство, машиностроение, электротехника и электроника, географии, аэрокосмической, окружающей среды и т.д. Производительность СПЭВ зависит от подсистем, как ветровая турбина (аэродинамическая), шестерни (механические), генератор (электрический); в то время как наличие ресурсов ветра регулируются климатическими условиями соответствующего региона, для которых опрос ветра чрезвычайно важно использовать энергию ветра. Эта статья представляет собой ряд вопросов, связанных с выработки электроэнергии из СПЭВ например, факторы, влияющие на энергию ветра, их классификация, выбор генераторов, основные конструктивные соображения в аэродинамической конструкции турбины, проблемы, связанные с сетевыми соединениями, ветро-дизельных автономных энергетических систем гибридных, регулирования реактивной мощности системы ветра, экологические аспекты производства электроэнергии, экономики ветра выработка электроэнергии и последняя тенденция производства ветровой энергии от береговых участков выходящих.

Литература:

1. Константинов, В. Н. Выбор ВЭУ и оценка их производительности / В. Н. Константинов, Р. С. Абдрахманов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — 2005. — № 11–12. — С. 48–52.
2. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. — М.: Энергоатомиздат. — 1990. — 388 с.
3. Григораш О.В., Степура Ю. П., Сулейманов Р. А. Возобновляемые источники электроэнергии. — Краснодар, 2012. — 272 с.
4. Григораш О.В., Божко С.В., Попов А. Ю. Автономные источники электроэнергии: Состояние и перспективы. — Краснодар, 2012. — 174 с.
5. Григораш, О.В. К расчету экономической эффективности ветроэлектрических установок / О.В. Григораш, Р. А. Сулейманов, А.В. Квитко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2011. — № 33. — С. 192–195.
6. Федянин, В. Я. Оценка параметров ветроагрегатов, определяющих эффективность выработки электроэнергии / В. Я. Федянин, В. А. Мещеряков // Вестник Алтайской науки. — 2008. — № 2. — С. 122–127.
7. Грачев, П. Ю. Перспективы применения инновационных генераторов переменного тока в автономных ВЭУ / П. Ю. Грачев, Е. Е. Горбачев, А. С. Табачинский // Инновации в сельском хозяйстве. — 2016. — № 5(20). — С. 259–264.
8. Андриенко, П. Д. Использование высокочастотных генераторов для повышения мощности ВЭУ с аэродинамической мультипликацией / П. Д. Андриенко, В. П. Метельский, И. Ю. Немудрый // Электротехнические и компьютерные системы. — 2013. — № 10(86). — С. 45–49.
9. Грачев, П. Ю. Особенности инновационных проектов ВЭУ и микроГЭС с асинхронными генераторами / П. Ю. Грачев, М. Л. Костырев, П. А. Кунцевич, Н. Н. Конохов // Инновации в сельском хозяйстве. — 2014. — № 3(8). — С. 52–56.
10. Велькин, В. И. Разработка конструкции роторно-лепестковой ВЭУ с тихоходным безредукторным генератором / В. И. Велькин, В. А. Дмитриевский, В. А. Прахт, А. И. Якимов, Ю. А. Якимов // Международный научный журнал альтернативная энергетика и экология. — 2012. — № 3. — С. 72–76.
11. Omid Alavi, Behzad Vatandoust Economic Selection of Generators for a Wind Farm/ Omid Alavi, Behzad Vatandoust// Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEI). — 2015. — V. 1. — No. 3 — P. 121–128
12. Wenping Cao, Ying Xie and Zheng Tan Wind Turbine Generator Technologies/ Wenping Cao, Ying Xie and Zheng Tan//INTECH open science/open minds/ — 2012.
13. M. Bencherif, B.N. Brahmi, A. Chikhaoui Optimum selection of wind turbines/ M. Bencherif, B.N. Brahmi, A. Chikhaoui// Science Journal of Energy Engineering. — 2014. — No. 2(4). — P. 36–46.

Использование магнитных подвесов в ветроэнергетических установках

Скороходов Вячеслав Игоревич, студент;
Шкандюк Денис Олегович, студент;
Киселёв Глеб Юрьевич, студент;
Жиленко Дмитрий Михайлович, студент
Омский государственный технический университет

В статье рассмотрены основные проблемы ветроэлектрических установок (ВЭУ) и применение магнитолевитации, магнитных подвесов, для решения некоторых из них. Рассмотрены виды магнитных подвесов и их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: энергосбережение, ветроэлектрические установки, ВЭУ, вертикально осевые, горизонтально осевые, магнитолевитация.

По мере развития человечеством науки и техники, разработкой новых устройств и увеличения количества потребителей возрастает необходимость в качественных и недорогих источниках энергии. Так же сейчас очень важным стал вопрос экологической чистоты вырабатываемой энергии, что привлекло особое внимание к нетрадиционной энергетике, энергетике, основанной на использовании возобновляемых источников энергии. Очень популярным направлением сейчас является развитие одного из направлений нетрадиционной энергетике — ветроэнергетических установок (ВЭУ) [1].

Сегодня ВЭУ подразделяются на 2 типа [1]:

1) ВЭУ с горизонтальной осью вращения — ротор располагается в сторону ветрового потока. Что является основной проблемой, так как даже лучшим устройствам, в своем роде, необходимо слишком много времени, чтобы приспособиться к изменению направления ветра [2–3].

2) ВЭУ с вертикальной (ортогональной) осью вращения — ротор расположен перпендикулярно потоку ветра. Главным преимуществом таких установок является отсутствие необходимости ориентации на ветряной поток. Такие установки способны работать даже при малых скоростях ветра, но имеют малых КПД. Однако такие установки имеют и ряд проблем [2–3].

Во-первых, с ростом габаритных размеров установки растет и сила, которую необходимо приложить, чтобы установка вошла в рабочий режим [4]. Отсюда вытекает и вторая проблема, растет нагрузка на опорные подшипники, что ведет к растрате энергии, а иногда даже к выходу ВЭУ из строя.

Решение проблемы

Решением обеих проблем является использование явления магнитной левитации. Магнитные подвесы могут полностью избавить нас от необходимости использования опорных подшипников. Технология магнитных подвесов основывается на достижениях в области электромагнетизма, обработки сигналов, статики и динамики и развивалась вместе с ними. Эта технология основана на силах взаимного отталкивания (притяжения) магнитных полей

благодаря чему в этих подшипниках исключается механический контакт, что является его главным преимуществом увеличивая срок службы, уменьшая потери мощности. Таким образом, эти подвесы находят широкое применение во многих областях и устройствах где нужно уменьшить механическое воздействие между быстро движущимися частями [2].

Так многие страны уже широко используют их для создания скоростных поездов (скорость которых может достигать 500 км/ч). Это такие страны как: Германия, Япония, Китай. Так же эта технология используется в аэрокосмической отрасли. Лучших результатов здесь добились в США и Японии. В США с помощью магнитных подшипников разработали искусственный сердечный насос. В энергетике эти подвесы используются для уменьшения трения, шума, потерь и пускового момента, что позволяет получать энергию при меньшей скорости ветра (относительно обычных подшипников) уменьшая время простоя ветрогенератора.

В зависимости от места применения используют:

— Электромагнитный подвес (ЭМП) используется ЭМ с изменяемой магнитодвижущей силой взаимодействующий с непрерывным феррорельсом.

— Электродвижущий подвес (ЭДП) их действие опирается на явление отталкивания источника магнитного поля и проводником, при их взаимном движении. Магнитное поле — управляемо. Система контролирует положение ротора и регулирует его подвеску.

— Подвес на постоянных магнитах (ППМ) наиболее прост, по своей конструкции, и экономичен. Он не нуждается в дополнительных источниках энергии для создания магнитного поля, имеет низкие потери мощности. Минусом такого подшипника является низкая грузоподъемность.

В общем, выбор и сравнение магнитных подвесов в основном проводят по оценке их левитационного качества вычисляемого по формуле:

$$\eta_L = \frac{F_n(v)}{F_T(v)} \quad (1)$$

где $F_{пр}$ — сила притяжения, $F_{от}$ — сила отталкивания, F_T — сила торможения, F_n — подъемная сила, F_p — ре-

зультирующая сила. Подробнее об оценке левитационных качеств магнитных подвесов можно узнать из работы Liu Shuqin [2].

Главной проблемой создания неконтактных подвесов является обеспечение устойчивости движения вращающегося тела. Из истории развития магнитных подвесов — зачастую они были неработоспособными по причине возникновения вихревых токов в материале вращающегося тела. Тогда возникла необходимость изучения влияния магнитного трения на устойчивость вращающегося ферромагнитного тела [7]. Исследования показали, что причиной неустойчивости являются силы, лежащие в плоскости, перпендикулярной оси симметрии поля и направленные перпендикулярно вектору смещения центра масс относительно оси подвеса. Такая же проблема возникла в электрических машинах, тогда В. В. Болотин показал, что в уравнениях возмущенного движения появляются циркуляционные (псевдогироскопические) силы. Проблема устойчивости прямолинейного движения возникает при создании высокоскоростного транспорта с электродинамическим подвесом.

Дальнейшие работы по увеличению точности устройств и улучшение устройств с неконтактным подвесом требуют учета гистерезисных явлений. Сейчас в приборах с магнитными подвесами используют либо ферромагнитные материалы, имеющие высоким удельным сопро-

тивлением, либо шихтованные материалы для валов магнитных подшипников и для высокоскоростного наземного транспорта с неконтактными подвесами. В этих материалах гистерезисные потери могут превышать потери на вихревые токи. Нахождение этих величин и учет влияния на динамику объекта становится важным звеном инженерных расчетов [7].

На данный момент основные исследования применения магнитных сосредоточены на горизонтально осевых ВЭУ [2] для них популярным являются ППМ. Их как правило изготавливают из NdFeb (неодим-железо-бор) это лучший выбор благодаря высокой величине магнитного поля и низкой цене.

Заключение

В итоге, магнитные повесы являются качественной заменой опорных подшипников, давая ВЭУ множество плюсов и ликвидируя некоторые её минусы:

- 1) ЭМП уменьшают скорость запуска ВЭУ и время вхождения в рабочий режим.
- 2) При применении ЭМП, благодаря магнитной подушке, уменьшает трение, вследствие чего увеличивается КПД ВЭУ.
- 3) При уменьшении трения возрастает срок службы установки.

Литература:

1. Бубенчиков А.А., Артамонова Е. Ю., Дайчман Р.А., Файфер Л.А., Катеров Ф.В., Бубенчикова А.А. Применение ветроэнергетических установок с концентраторами ветровой энергии в регионах с малой ветровой нагрузкой // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2015. — № 5–2 (36). — С. 31–35.
2. Бубенчиков А.А., Артамонова Е. Ю., Дайчман Р.А., Файфер Л.А., Катеров Ф.В., Бубенчикова Т.В. Применение ветроколес и генераторов для ветроэнергетических установок малой мощности // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2015. — № 5–2 (36). — С. 35–39.
3. Бубенчиков А.А., Артамонова Е. Ю., Р.А. Дайчман Р.А., Файфер Л.А., Катеров Ф.В., Бубенчикова Т.В. Проблемы применения ветроэнергетических установок в регионах с малой ветровой нагрузкой // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2015. — № 5–2 (36). — С. 39–43.
4. Пархоменко Т.А. Параметры, повышающие эффективность работы вертикально-осевой ветроэнергетической установки / Т.А. Пархоменко. // *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*. — 2011. — № 10(87). — С. 54–57.
5. Козорез В.В. Динамические системы магнитновзаимодействующих свободных тел / В.В. Козорез. — К.: Наук. думка, 1981. — 140 с.
6. Писаревский Ю.В. Разработка магнитных левитационных подшипниковых узлов для использования в вертикально-осевых ветроэнергетических установках малой мощности / Ю.В. Писаревский, П.Ю. Беляков, А.Ю. Писаревский и др. // *Электротехнические комплексы и системы управления*. — 2014. — № 3. — С. 53–56.
7. Влияние магнитного трения на динамику твердого тела в неконтактном подвесе [Электронный ресурс] // *Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat*. — URL: <http://www.dissercat.com/content/vliyaniye-magnitnogo-treniya-na-dinamiku-tverdogo-tela-v-nekontaktnom-podvese> (дата обращения: 13.11.2016)
8. Chaware K. D. Experimental Investigation of Windmill to Generate Electric Power using Magnetic Levitation: A Review / K. D. Chaware, Dr. P. V. Washimkar, N. N. Wadaskar // *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*. — 2016. — № 3. — С. 40–42.
9. Поляхов Н.Д. Обзор способов практического применения активных магнитных подшипников / Н.Д. Поляхов, А.Д. Стоцкая. // *Научное приборостроение*. Т. 22. — 2012. — № 4. — С. 5–18.

Разработка электрического термопреобразователя от солнечного коллектора

Скороходов Вячеслав Игоревич, студент;
Шкандюк Денис Олегович, студент;
Киселёв Глеб Юрьевич, студент
Омский государственный технический университет

В данной статье рассмотрено описание термопреобразователя для измерения температуры, его виды, таблица основных характеристик, места эксплуатации, виды устройств, в которых он применяется с подробным описанием работы, также составлена основная формула для определения значения термоэлектродвижущей силы, рассмотрен ряд достоинств и недостатков с подробным рассмотрением.

Ключевые слова: термопреобразователь, солнечный коллектор, измерение температуры.

Востребованность альтернативных источников энергии ставит новые цели в улучшении способов преобразования, и хранения электрической энергии. Одним из альтернативных источников энергии является солнечная [1]. Её преобразовывают с помощью коллекторов, в основе которых лежит электрический термопреобразователь. Это устройство, предназначенное для измерения температуры, состоящее из двух неоднородных проводников, контактирующих друг с другом в одной или нескольких точках, которые иногда соединяют компенсационные провода. В тот момент времени, когда на одном из участков изменяется температура, создается установленное напряжение.

Электрические термопреобразователи также имеют другое название — термопары (рис. 1) [2]. Термопары в основном используют для контроля температур веществ, имеющие разнообразные агрегатные состояния, а также для преобразования температуры в энергию, в частности, в электрический ток [3].

Существует два основных вида подключения термопары к приборам измерения и преобразования (рис 2). В первом случае прибор подключен непосредственно к свободным концам термоэлектродов (а), а во втором в разрыв одного термоэлектрода (б) [4].

Величину термо-ЭДС можно определить по следующей формуле:

$$E_{\tau} = K_{\tau} (T_1 - T_2), \quad (1)$$

где K_{τ} — постоянный коэффициент пропорциональности [5].

Основным назначением электрических термопреобразователей является высокоточное определение температуры физических объектов различного строения и сред с разными агрегатными состояниями. Также термопары используют для автоматизированных систем в роли контроллеров температуры. Измерение температур с помощью термопар получило широкое распространение из-за надежной конструкции датчика, возможности работать в широком диапазоне температур и дешевизны.

Для создания термопары применяют чистые материалы и различные сплавы с высоким электрическим сопротивлением. На данный момент времени самая эффективная высокотемпературная термопара-это сплав вольфрам-рений, её предельная температура измерений равна 2500°С [6]. Особенностью их использования является необходимость устранения окислительной атмосферы, разрушающей проволоку. Для вольфрам-рениевых термопар используют специальные герметичные кон-



Рис. 1. Термопара

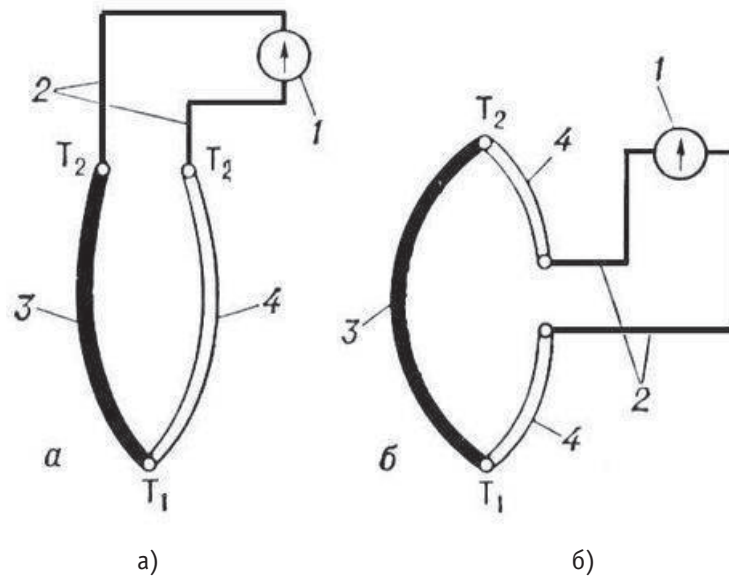


Рис. 2. Схемы подключения термопары к приборам измерения и преобразования.
 1 — прибор измерения или преобразования; 2 — соединительные провода; 3, 4 — термоэлектроды;
 T_1, T_2 — температуры «горячего» и «холодного» спаев

струкции чехлов, заполненные инертным газом, а также танталовые и молибденовые чехлы с неорганической изоляцией из оксида бериллия и оксида магния. Одно из важных применений вольфрам-рениевых термопар состоит в измерении температур в ядерной энергетике в присутствии потока нейтронов.

Как и любое устройство термопара имеет свою основную характеристики, которыми являются:

- градуировочная характеристика — обуславливает значение зависимости между температурой рабочего спаев и значением термоЭДС термопары;
- чувствительность;
- погрешность

Термопара имеет следующие причины погрешности: отклонение от стандарта характеристик термопары; непостоянство характеристики термопары с течением времени; у защитной арматуры в процессе лученспуска и теплопроводности происходит потеря тепла; температура свободных концов отклоняется от градуировочных значений; инерция, происходящая от тепла;

От стандартных значений характеристик термопары отклоненные характеристики, обуславливаются следующими причинами: термоэлектроды имеют в составе разнородные сплавы, напряжениями, вызванными механическими способами и др.

В таблице 1 представлены наиболее распространенные виды термопар, применяемых в различных сферах [7].

Термопары в настоящее время нашли широкое применение в промышленности и бытовой сфере. Их стали применять для контроля температуры двигателей разного назначения, электрических и газовых котлов, в автономных системах отопления. В 20–30-х годах прошлого столетия термопары имели совсем необычное применение. Они пи-

тали радиоприемники простейшего исполнения, а также некоторые другие приборы имеющие малый ток.

Электрические термопреобразователи используются в насадочных колоннах, где они измеряют температуру разделяемого либо перерабатываемого вещества [8]. Применяется также в установках для исследования термоосмотического течения воды в пористых стеклах [9]. В установках для измерения токов разрядки, где термопара измеряет температуру в измерительной ячейке установки [10].

Термопара применяется в системе газ-контроль. При возникновении утечки газа специальное устройство, состоящее из термопары и электромагнитного клапана, перекрывает подачу газа в устройстве, что обеспечивает безопасность работы. Принцип работы механизма таков: спай термопары находится непосредственно в месте горения газа, тем самым на другом конце образуется слабый электрический ток, поддерживающий электромагнитный клапан открытым. Как только происходит прекращение горения газа, спай охлаждается и тем самым электрический ток на других концах ослабевает и вовсе пропадает, что позволяет внутреннему механизму привести клапан в закрытое положение, предотвращая утечку газа.

Любое техническое устройство имеет свой ряд достоинств и недостатков. Электрический термопреобразователь имеет следующие достоинства:

- высокая точность измерения значений температуры (вплоть до $\pm 0,01^\circ\text{C}$), что позволяет точно определять температуру;
- большой температурный диапазон измерения: от -250°C до $+2500^\circ\text{C}$, применение возможно при любом агрегатном состоянии вещества;
- простота конструкции, не будет возникать затруднений при установке;

Таблица 1. Виды термопар

Тип термопары	Буквенное обозначение НСХ*	Материал термоэлектродов		Коэффициент термоЭДС, мкВ/°С (в диапазоне температур, °С)	Диапазон рабочих температур, °С	Предельная температура при кратковременном применении, °С
		положительного	отрицательного			
ТЖК	J	Железо (Fe)	Сплав константен (45% Cu + 45% Ni, Mn, Fe)	50–64 (0–800)	от –200 до +750	900
ТХК	L	Сплав хромель (90,5% Ni + 9,5% Cr)	Сплав копель (56% Си + 44% Ni}	64–88 (0–600)	от –200 до +600	800
ТПП10	S	Сплав платина-родий (87% Pt — 13% Rh)	платина (Pt)	10–14 (600–1600)	от 0 до +1300	1600
ТПР	B	Сплав платина-родий (70% Pt — 30% Rh}	Сплав платина-родий (94% Pt-6%Rh)	10–14(1000–1800)	от 600 до+1700	1800
ТВР	A-1 A-2 A-3	Сплав вольфрам-рений (95% W — 5% Re)	Сплав вольфрам-рений (80% W-20% Re)	14–7 (1300–2500)	от 0 до +2200 от 0 до +1800 от 0 до +1800	2500

— низкая стоимость, что существенно облегчает ее внедрение;

— высокая надежность, что означает выход устройства из эксплуатации сведено к минимуму.

И, следовательно, у него есть свои недостатки, которыми являются:

— необходима индивидуальная градуировка термопары для произведения высокоточного измерения температуры (до $\pm 0,01^\circ\text{C}$);

— нелинейная зависимость термоЭДС от температуры. Возникают проблемы при выработке вторичных преобразователей сигнала;

— в результате резких перепадов температур появляются термоэлектрические неоднородности, напряжения, вызванные механически;

— появляется эффект «антенны» при значительной длине термопарных и удлинительных проводов, для уже существующих электромагнитных полей.

Литература:

1. Бубенчиков А.А., Николаев М.И., Киселёв Г.Ю., Есипович Н.В., Феофанов М.К., Шкандюк Д.О. Возможность применения солнечной энергии на территории России и Омской области // Современная наука и практика. — 2015. — № 4 (4). — С. 85–89.
2. Рогельберг И.Л. Сплавы для термопары: справочное издание / И.Л. Рогельберг, В.М. Бейлин. — М.: Металлургия, 1983. — 360 с.
3. Сосновский Л.Г. Измерение температур / Л.Г. Сосновский, Н.И. Столяров. — М.: Издательство комитета стандартов, мер и измерительных приборов, 1970. — 260 с.
4. Крамарухин Ю.Е. Приборы для измерения температуры / Ю.Е. Крамарухин. — М.: Машиностроение, 1990. — 208 с.
5. Крамарухин Ю.Е. Общий курс физики.Т.3. Электричество / Ю.Е. Крамарухин. — М.: Наука, 1977. — 704 с.
6. Куритнык И.П. Материалы высокотемпературной термометрии / И.П. Куритнык, Г.С. Бурханов, Б.И. Стаднык. — М.: Металлургия, 1986. — 205 с.
7. Журавлева Л.В. Электроматериаловедение / Л.В. Журавлева — М.: ПрофОбрИздат, 2001. — 312 с.
8. Вольфович С.И. Методы и процессы химической технологии / С.И. Вольфович, Н.М. Жаворонков, И.А. Пospelов. — Москва-Ленинград: «Академия наук СССР», 1955. — 234 с.
9. Дерягин Б.В. Поверхностные силы / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев, В.М. Муллер. — М.: Наука, 1985. — 389 с.
10. Лушейкин Г.А. Полимерные электреты / Г.А. Лушейкин. — М.: «Химия», 1976. — 224 с.

Анализ эффективности съёма энергии солнца в системе солнечный коллектор — солнечная панель

Бычков Иван Андреевич, студент
Черкасова Татьяна Анатольевна, студент,
Манакова Елена Алексеевна, студент;
Гаилов Иван Андреевич, студент
Омский государственный технический университет

В статье рассмотрены перспективы использования солнечной энергии на территории России и Омской области в частности, применение зарубежных разработок.

Ключевые слова: солнечная энергетика, коллекторы, СЭС, СФЭУ, применение.

Солнце является незаменимым источником энергии. Без солнечной энергии не происходили бы все физические явления, происходящие на земле. Солнце служит преобразователем многих видов энергии, к примеру можно привести тепловую и электрическую энергию.

Солнце как источник энергии

С каждым днем количество мировых запасов органического топлива уменьшается и скоро человечество придет к тому, что ископаемого топлива просто не останется, поэтому все страны активно ищут спасение от надвигающейся на Землю катастрофы. Человечество придумало эффективное применение солнечной энергии, которое используют для бытовых нужд и деятельности предприятий [1]. Солнце отдает нам определенное количество энергии, при этом идет определенное количество отражающей энергии обратно, идет испарение воды, в результате чего происходит круговорот веществ в природе, и малое количество энергии идет на образование фотосинтеза у зеленых растений.

Процессы при возникновении солнечной энергии

Полезная энергия может преобразовываться с помощью Солнечной радиации, используя такие системы как активная и пассивная. В данный момент постоянно совершенствуются новые разработки фотоэлектрических систем, которые имеют способность преобразовывать электричество из солнечной радиации.

Полезная энергия, образованная солнечной радиацией, преобразуется в другие виды энергии, например, энергию ветра и воды. Энергия солнца имеет способность управлять погодными условиями на Земле. Происходит круговорот веществ в природе, к примеру можно привести поглощение солнечной энергии морями и океанами, вода в которых нагревается и испаряется, после чего в виде осадков выпадает на землю, тем самым питая гидроэлектростанции [2]. Поглощая солнечный свет, зеленые растения образуют фотосинтез в результате чего образуются органические вещества, из которых можно получить другие виды энергии. В итоге солнечная энергия

является незаменимым средством для обеспечения всех живых организмов другими видами энергии.

Пассивная энергия

Разрабатываются проекты с максимальным учетом мест с благоприятными климатическими условиями, также применяются технологии и материалы для обогрева, освещения и охлаждения помещения за счет солнечной энергии [3]. При строительстве дополнительного энергооборудования, может быть уменьшение энергозатрат. Пассивные солнечные помещения должны быть экологически чистыми, направлены к югу, сама конструкция здания является поглотителем солнечной Энергии.

Активная энергия

С помощью солнечных коллекторов, которые поглощают солнечную энергию, а также солнечных систем происходит активное использование солнечной энергии [4].

Понятие о солнечных коллекторах

Применение солнечных коллекторов является эффективным преобразователем солнечной энергии в электрическую, тепловую для использования бытовых нужд, для обогрева жилых помещений, подогрева воды и др. Солнечные коллекторы являются незаменимым прибором для процессов возникновения тепла.

Обыкновенный солнечный коллектор устанавливают на крышах жилых помещений, окрашивают коллекторы всегда в черный цвет для полного поглощения солнечной радиации. Коллекторы могут использовать в качестве минитеплиц, которые накапливают тепловую энергию под панелью, которая состоит из стекла, коллекторы стараются делать с большой площадью потому, что солнечная радиация распределяется по поверхности. На мировом рынке продаж, рассматриваются коллекторы различных размеров и моделей.

Солнечные коллекторы должны использоваться в определенных местах, где находится большое количество солнечной радиации. Эффективнее всего установ-

ливать коллекторы в пустынных местах или южных широтах, при этом будет эффективное получение солнечной энергии. При установлении солнечных коллекторов в северных широтах, наблюдается недостаток солнечной энергии, а значит меньше полученной энергии, поэтому в северных широтах не выгодно устанавливать коллекторы [5]. Также можно отметить их немалую стоимость, покупая коллекторы в северных частях Земли, потребители не будут в выгодных условиях из-за неблагоприятных погодных условий. В зимнее время года не рекомендуется установка солнечных коллекторов.

Использование солнечной энергии зарубежными странами

На рынке продаж солнечной электроэнергии очень конкурентоспособно, первое применение солнечной энергии, возникает в 1980 году. США является самой энергозатратной страной в мире, потому что использование солнечной энергии им крайне необходимо, поэтому в США было установлено большое количество солнечных электрических станций суммарной мощностью более 450 мегаватт.

Технология СЭС является самой развитой отраслью приобретения энергии. Крупные солнечные электростанции расположены в Американском штате Калифорния, их суммарная мощность более 355 мегаватт [6]. На сегодня во всем мире начаты проекты по разработке СЭС для выработки электрической энергии, такие страны как Индия, Египет, Мексика и другие уже начали строительство данных электростанций и было выделено финансирование.

Использование солнечной энергетики в России

Более улучшенные и надежными преобразователями электрической энергии являются фотоэлектрические установки, их принцип действия основан на методе прямого преобразования, где солнечная энергия сначала преобразуется в тепловую, после этого в термодинамическом цикле преобразуется в механическую, привод в генераторе преобразуется в электрическую.

В России потенциал получения солнечной энергии в течение нескольких дней, фактически превышает го-

довой запас электроэнергии воспроизводимый другими электростанциями в течение года. Самый большой потенциал солнечной энергии расположен на юго-западе России, Южной Сибири и на Дальнем Востоке.

Россия обладает достаточно продвинутыми технологиями по получению солнечной энергии из солнечной радиации, разработано достаточное количество предприятий, которые основаны на технологии фотоэлектрических преобразователей [7].

Использование солнечной энергии в Омской области

Ориентирование в пространстве играет важную роль в строительстве солнечной электростанции, отслеживание перемещения солнца, длительность попадания солнечной радиации на коллекторы и другое. Рассматривая Омскую область, этот регион, как вся средняя полоса России не были широко рассмотрены для эффективного электроснабжения производственной и хозяйственной деятельности человека [8]. Для Омска использование летом СЭС крайне невыгодно, так как время облучения менее десяти часов, а с зимними погодными условиями подавно. В Омске в среднем всего 57 дней в году без солнца, при 42 днях без солнца зимой. В итоге использование СЭС в Омске не выгодное и затратное.

Заключение

В статье были рассмотрены несколько современных разработок, применения солнечной энергии в качестве энергоресурса. В настоящее время разрабатываются новые космические проекты, имеющие целью исследование Солнца, проводятся наблюдения, в которых принимают участие десятки стран. Большое внимание нужно уделить и тому, что производство энергии, являющееся необходимым средством для существования и развития человечества, оказывает воздействие на природу и окружающую человека среду. С развитием солнечной энергетики будут изучаться новые исследования получения и образования солнечной энергии. В данный момент ученые разрабатывают проекты получения солнечной радиации в космосе, в теории этот метод должен быть максимально эффективным.

Литература:

1. Абдуллина Р. Солнце — источник энергии [Электронный ресурс] URL: <http://altenergiya.ru/sun/solnce-kak-istochnik-energii.html> (дата обращения 08.10.2016)
2. Лаврус В. С. Источники энергии /Серия «Информационное Издание»1997 [Электронный ресурс] URL: http://alexeynickulin.narod.ru/solnechnaya_energy.htm (дата обращения 08.10.2016)
3. Пассивное использование солнечной энергии [Электронный ресурс] <http://reidb.ru/look/1975727.html> (дата обращения 08.10.2016).
4. Жуков Г. Ф. Активное использование солнечной энергии, солнечные коллекторы [Электронный ресурс] URL: <http://www.bestreferat.ru/referat-215688.html> (дата обращения 09.10.2016).
5. Дементьев Б. А. Ядерные энергетические реакторы [Электронный ресурс] URL: <http://www.bestreferat.ru/referat-215688.html> (дата обращения 10.10.2016).

6. Солнечные тепловые электростанции [Электронный ресурс] URL: <http://solarb.ru/teplovye-solnechnye-elektrostantsii> (дата обращения 10.10.2016).
7. Солнечная энергетика России, факторы [Электронный ресурс] URL: http://esco-ecosys.narod.ru/2012_1/art139.htm (дата обращения 11.10.2016).
8. Осадчий Г.Б. Использование солнечной энергии в Омской области: [Электронный ресурс] URL: <http://kedr.primorye.ru/biblio/house/aktualnost/> (дата обращения 11.10.2016).

Применение редукторов в ветроэнергетических установках

Манакова Елена Алексеевна, студент;
 Гаилов Иван Андреевич, студент;
 Бычков Иван Андреевич, студент;
 Черкасова Татьяна Анатольевна, студент;
 Бубенчиков Антон Анатольевич, кандидат технических наук
 Омский государственный технический университет

В статье рассматриваются редукторные и без редукторные ВЭУ. Описываются их преимущества и недостатки, а также их принцип действия. Изучены несколько примеров без редукторных ветроустановок. Сравнение двух типов ВЭУ и выявление более выгодного типа.

Ключевые слова: редуктор, ВЭУ, альтернативный источник энергии

Ветер, как альтернативный источник энергии, в последнее время приобретает все большую популярность. Одними из важнейших характеристик, которые определяют ценность этого природного явления, представляют собой его направление и скорость. Но в виду непостоянства природных условий приходится прибегать к разного рода техническим приемам для устранения имеющихся проблем. Одной из таких проблем в ветроэнергетике является небольшая скорость вращения ветродвигателя, причем, чем больше габариты установки, тем сильнее проявляется этот недостаток. Решением, отчасти, может служить механический редуктор или, по-другому, мультипликаторы.

В статье [1] описано разделение ветроэнергетических установок на редукторные и безредукторные.

Достоинства и недостатки редукторных ВЭУ:

+ Позволяют получать большие моменты на единицу массы;

+ Имеют сравнительно небольшую стоимость;

— Низкий КПД;

— Относительно быстро выходят из строя;

— Создают высокий уровень шума;

Достоинства и недостатки безредукторных ВЭУ:

+ Низкий уровень шума;

+ Могут работать при малых скоростях ветра;

+ Долговечны;

+ Конструкция позволяет избежать потерь, характерных редукторным ветроэнергетическим установкам;

— Высокая цена;

Механические редукторы имеют довольно простой принцип действия, но сами по себе весьма сложные устройства. Они служат механизмом для передачи и пре-

образования крутящего момента. Для преобразования вращения вала ветродвигателя используется механическая передача.

Редукторы бывают с различным типом используемой передачи:

— Цилиндрические — надежны и имеют длительный ресурс эксплуатации. Такие редукторы применяются при сложных режимах работы, для преобразования и передачи больших мощностей, эффективны при непрерывных промышленных процессах. КПД такого редуктора может достигать 98%, это зависит от его передаточного числа.

— Червячные — устройства с механической передачей от винта, или так называемого «червяка», на зубчатое колесо (червячное колесо). У таких редукторов высокое передаточное отношение, большое тепловыделение и относительно низкий КПД. При серьезных нагрузках такой тип редукторов не используется.

— Планетарные — они имеют большую нагрузочную способность, небольшой вес, люфт и сравнительно малые габариты, а также позволяют получить большие передаточные числа.

— Конические — этот тип редукторов применяют в том случае, если есть необходимость в изменении направления кинетической передачи. Могут непрерывно работать при высоких оборотах.

— Комбинированные — несколько передач, находящихся в одном корпусе. Они имеют выгодное соотношение технических характеристик, габаритов и стоимости.

Безредукторные ВЭУ предусматривают установку электромагнитного подвеса ротора. Это решает ряд про-

блем: износ рабочих поверхностей, вибрации, шумность, затраты энергии на трение, затраты на смазочные материалы. БРВЭУ состоит из центральной трубы ротора, лопастной системы, нескольких электромагнитных подшипников с системами управления, осевой электромагнитной опоры, электрогенератора и статора. В статье [2] приводится расчет математической модели БРВЭУ.

В статье [3] рассматривается расчёт математической модели ВЭУ, включающей в себя: ветродвигатель крыльчатого типа, синхронный генератор с постоянными магнитами и мостовой неуправляемый выпрямитель. Такие расчеты позволяют достаточно точно описать отдельные аспекты исследуемых объектов и создавать на их основе экспериментальные образцы для испытаний. Рассмотрим каждую из моделей в отдельности.

Модель ветродвигателя крыльчатого типа. Расчет аэродинамических показателей производится для каждого элемента лопасти с учетом профиля и угла атаки воздуха. Наилучшие АДХ достигаются при нулевом угле установки лопасти, но на практике установочный угол со-

ставляет 10–15°, дабы обеспечить достаточную прочность ветроколеса.

Модель синхронного генератора. В структурной основе его лежит система уравнений Парка-Горева. В состав электроэнергетической системы включены генераторы, регуляторы напряжения, нагрузка и т.д.

Также в статье представлена схема расчета *модели мостового выпрямителя*.

Немаловажным фактором работы ВЭУ являются колебания скорости ветра. В динамических расчетах установки используют несколько моделей динамики воздушного потока. Работа ВЭУ происходит в условиях турбулентности воздушного потока, поэтому моделирование влияния последней на работу ветроустановки очень важно.

После сравнения редукторных и безредукторных ветроэнергетических установок можно сделать вывод, что, несмотря на все свои недостатки, редукторные установки еще не скоро будут вытеснены безредукторными, но и в силу своих особенностей могут остаться конкурентоспособными еще долгое время.

Литература:

1. ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА. ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ // Научный форум. URL: <http://www.scienceforum.ru/2016/pdf/21528.pdf> (дата обращения: 7.12.2016).
2. Митенков Ф. М., Овчинников В. Ф., Николаев М. Я. Моделирование динамики вертикально-осевой ветроэнергетической установки на электромагнитном подвесе. // Проблемы прочности и пластичности. — Нижний Новгород: Нижегородский гос. техн. ун-т., 2012. — С. 184–189.
3. Колосов Р. В., Титов В. Г. Моделирование ветроэнергетических установок // Вестник Чувашского университета. — 2014. — № 2. — С. 27–32.

Целесообразность внедрения технологий Smart Grid в сети с альтернативными источниками энергии

Манакова Елена Алексеевна, студент;
 Гаилов Иван Андреевич, студент;
 Бычков Иван Андреевич, студент;
 Черкасова Татьяна Анатольевна, студент
 Омский государственный технический университет

В статье рассматриваются положительные эффекты при работе ВЭУ с сетью от использования так называемых Smart Grid. Описаны такие проблемы при работе с электрической сетью ветроустановок как не синусоидальность, проблемы с включением, а также неравномерная нагрузка. Вместе с этим в статье рассказывается как сети Smart Grid справляются с этими проблемами.

Ключевые слова: Smart Grid, ВЭУ, электрическая сеть, проблемы с подключением.

За последние 100 лет производство и потребление электроэнергии почти не изменилось: производство на электростанции, передача по ЛЭП и потребление. Из-за использования данной схемы перегрузка сети достигает 80 процентов, что влечет за собой многие проблемы в виде выхода из строя различных элементов цепи.

В конце девяностых годов появились так называемые «умные сети», они были призваны снизить убытки, которые появлялись из-за недочета электроэнергии. Ставились «умные» счетчики, которые сами считывали информацию у потребителя и отправляли ее производителю. На данный момент умные сети развиваются и представ-

ляют собой целый комплекс мер и нововведений по улучшению безопасности экологичности, надежности производства и доставки электроэнергии, а также повышения ее качества. В этих сетях используются как традиционные, так и нетрадиционные источники энергии такие как солнечная и ветроэнергетика. На сегодняшний день ветроэнергетика получила большое распространение в мире и с каждым годом процент ее участия увеличивается. С развитием Smart Grid ветроэнергетика получит еще большее распространение.

Режим параллельной работы с сетью, когда ВЭС (ветроэнергетическая станция) включается параллельно сети. В этом режиме требования по выработке высококачественной электроэнергии выполняется механическими и электрическими способами. Механическим способом является поддержание вращения ротора с определенной скоростью. Такого эффекта добиваются при работе ВЭУ в режиме ограниченной мощности. Следовательно, большинство времени ВЭУ ожидает ветров больше номинального значения, что экономически оказывается невыгодно. В наши же дни распространен электрический способ. Выполняется он с помощью машино-вентильных систем с асинхронизированными синхронными генераторами или подключения статического преобразователя частоты в цепь статора ВЭУ.

Для такого режима работы должны выполняться следующие нормативные технические требования: работоспособность, автопуск и синхронизация, регулирование мощности и частоты вращения ротора, датчики по контролю за неисправностью, формирование и выдача команд для управления элементными системами ВЭУ.

При работе ВЭУ с сетью могут наблюдаться следующие проблемы в эксплуатации:

1) Проблемы с включением

При включении ВЭУ в сеть могут наблюдаться такие неполадки как большие токи и частота неподходящая для сети. Такие неполадки могут вызвать серьезные проблемы в электрической сети. Smart Grid предлагает решение связанное с одним из ключевых достоинств этой системы — быстрый и незаметный для потребителя переход на другие источники питания. Так как Smart grid предлагает распределенную генерацию (много малых источников энергии расположенных недалеко друг от друга для более стабильной подачи электроэнергии и удобства переключения «умной» сети между ними) то нейронные сети, которые управляют данными сетями смогут без проблем и опасностей переключать потребителя.

2) Не синусоидальность

Не синусоидальность появляется в сети благодаря применению электрооборудования с нелинейной вольт-ам-

перной характеристикой. Такое оборудование потребляет ток несинусоидальной формы, искажая синусоиду питающего напряжения, поэтому электрооборудование с нелинейной вольт-амперной характеристикой будет являться генератором высших гармоник тока. Прежде всего источники искажения качества электрической энергии по несинусоидальности напряжения и тока стоит разделить на две группы: нелинейные электроприемники и нелинейные элементы сети. К первым в связи с широким внедрением современного электрооборудования в производство и быт сельского хозяйства можно отнести частотно — регулируемый привод, электронные выпрямительные устройства, люминесцентные лампы, газоразрядные лампы. Главной причиной искажений в коммунально-бытовом секторе являются электронные технические средства (телевизионные приемники), те же люминесцентные и газоразрядные лампы и др., которые создают при своей работе невысокий уровень гармонических искажений на выходе, но общее количество таких ЭП велико.

К нелинейным элементам сети можно отнести силовые трансформаторы, реакторы, т.е. устройства имеющие нелинейную ветвь намагничивания — это трансформаторы, например

3) Неравномерностью нагрузок

Так как работоспособностью ветроустановок зависит от климата и потоков ветра, то нагрузка у ВЭУ имеет неравномерный характер. Для предотвращения нехватки электроэнергии и порчи приборов и кабелей в Smart Grid предусмотрены умные счетчики, которые могут в реальном времени и с большой точностью определять потребляемое количество электроэнергии и увеличивать мощность если потребуется (то есть несколько генераторов энергии будут работать вместе для потребителя). Или при отсутствии ветра сеть так же будет переключать потребителя на активный источник питания. Все это делает поставку энергии более стабильной

Рассмотрев все признаки, приведенные в статье, мы можем сделать вывод, что система Smart Grid не просто повышает безопасность и быстродействие работы с потребителями, но и экономически выгодна, так как может покрывать запросы потребителей в реальном времени благодаря чему не происходит потерь электроэнергии при неиспользовании. В том числе для повышения конкурентоспособности промышленного предприятия необходимо повышать эффективность эксплуатации его системы электроснабжения с помощью динамического управления электропотреблением, а для такого управления эффективней всего использовать сети Smart Grid. Повышение качества электроэнергии, ее экологичности и экономическая эффективность доказывают, что такие системы полезны и будут внедряться.

Литература:

1. Манусов В.З., Ядагаев Э.Г. Особенности параллельной работы ветроэлектростанций и электроэнергетических систем // VIII Всероссийская конференция «Молодежь и наука». — Новосибирск: Сибирский федеральный университет, 2012.

2. Несинусоидальность напряжения // Теслафирм. URL: <http://www.teslafirm.ru/non-sinusoidal/> (дата обращения: 7.12.2016).
3. Бондаренко В.Е., Черемисин Н.М., Черкашина В.В. Исследование процесса управления режимами работы электрических сетей в современных условиях // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2015. — № 8.
4. Крысанов В.Н., Руцков А.Л. Прогнозное планирование потребления электроэнергии энергоемкими промышленными предприятиями деревообрабатывающей отрасли при помощи нейро-нечётких сетей // Лесотехнический журнал. — 2014. — № 3.
5. Фишов А.Г., Мукатов Б.Б. Реконфигурация электрических сетей с распределенной генерацией и мультиагентным управлением // Известия Томского политехнического университета. — 2015. — № 9.

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

Международный научный журнал
Выходит еженедельно

№ 28.2 (132.2) / 2016

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор:

Ахметов И. Г.

Члены редакционной коллегии:

Ахметова М. Н.
Иванова Ю. В.
Каленский А. В.
Куташов В. А.
Лактионов К. С.
Сараева Н. М.
Абдрасилов Т. К.
Авдеюк О. А.
Айдаров О. Т.
Алиева Т. И.
Ахметова В. В.
Брезгин В. С.
Данилов О. Е.
Дёмин А. В.
Дядюн К. В.
Желнова К. В.
Жуйкова Т. П.
Жураев Х. О.
Игнатова М. А.
Калдыбай К. К.
Кенесов А. А.
Коварда В. В.
Комогорцев М. Г.
Котляров А. В.
Кузьмина В. М.
Курпаяниди К. И.
Кучерявенко С. А.
Лескова Е. В.
Макеева И. А.
Матвиенко Е. В.
Матроскина Т. В.
Матусевич М. С.
Мусаева У. А.
Насимов М. О.
Паридинова Б. Ж.
Прончев Г. Б.
Семахин А. М.
Сенцов А. Э.
Сенюшкин Н. С.
Титова Е. И.
Ткаченко И. Г.

Фозилов С. Ф.

Яхина А. С.

Ячинова С. Н.

Международный редакционный совет:

Айрян З. Г. (Армения)
Арошидзе П. Л. (Грузия)
Атаев З. В. (Россия)
Ахмеденов К. М. (Казахстан)
Бидова Б. Б. (Россия)
Борисов В. В. (Украина)
Велковска Г. Ц. (Болгария)
Гайич Т. (Сербия)
Данатаров А. (Туркменистан)
Данилов А. М. (Россия)
Демидов А. А. (Россия)
Досманбетова З. Р. (Казахстан)
Ешиев А. М. (Кыргызстан)
Жолдошев С. Т. (Кыргызстан)
Игисинов Н. С. (Казахстан)
Кадыров К. Б. (Узбекистан)
Кайгородов И. Б. (Бразилия)
Каленский А. В. (Россия)
Козырева О. А. (Россия)
Колпак Е. П. (Россия)
Курпаяниди К. И. (Узбекистан)
Куташов В. А. (Россия)
Лю Цзюань (Китай)
Малес Л. В. (Украина)
Нагервадзе М. А. (Грузия)
Прокопьев Н. Я. (Россия)
Прокофьева М. А. (Казахстан)
Рахматуллин Р. Ю. (Россия)
Ребезов М. Б. (Россия)
Сорока Ю. Г. (Украина)
Узаков Г. Н. (Узбекистан)
Хоналиев Н. Х. (Таджикистан)
Хоссейни А. (Иран)
Шарипов А. К. (Казахстан)

Руководитель редакционного отдела: Кайнова Г. А.

Ответственный редактор спецвыпуска: Шульга О. А.

Художник: Шишков Е. А.

Верстка: Голубцов М. В.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

почтовый: 420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231;

фактический: 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

E-mail: info@moluch.ru; <http://www.moluch.ru/>

Учредитель и издатель:

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297