

келтірілген. Ромб тәріздес қопсытқышты пайдаланғанда соқаның топыраққа еңгіштігі және тереңдікті сақтау тұрақтылығы артып, жер жыртудағы агротехникалық көрсеткіштер сақталғанда оның жалпы кедергі күші 17% төмендейді.

Кілт сөздер: корреляциялық функциялар, спектральдық тығыздықтар, кеңістікте динамометрлеу, вариация коэффициенттері, дисперсия, тарту кедергі күші, еңгіштігі және тереңдікті сақтау тұрақтылығы.

Nuralin B.N., Oleinikov S.B.

COMPARATIVE POWER CHARACTERISTIC OF DIAMOND- SHAPED AND CONVENTIONAL MOLDBOARD PLOW

Annotation

The article presents the results of tests of the comparative strength and characteristics of the diamond shaped and standard moldboard plow. Diamond shaped working bodies can improve running stability and depth reduce traction resistance by 17% compared to conventional bodies with the best agronomic performance.

Keywords: the correlation functions, spectral density, spatial dynamometric, ratios in variations, dispersion, traction resistance, running stability and deepening.

УДК 621.311.1

Шоколакова Ш.К., Дмитриев К.О., Тохтибакиев К.К., Саухимов А.А.

*АО «Атырау-Жарык»,
Некоммерческое АО «Алматинский университет энергетики и связи»,
Казахский национальный аграрный университет*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ К РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Аннотация

Возобновляемые источники электроэнергии (ВИЭ) вырабатывают постоянно колеблющуюся электрическую энергию от нуля (ночь, безветрие и пр.) до максимума (солнце в полдень, порывы ветра). Их растущее раскачивающееся «поведение» создает новые проблемы для стабильности энергосистемы и динамических процессов в ней. Для анализа таких сложных динамических процессов в «электрических сетях завтрашнего дня» необходимы специальные инструменты и методы. В статье рассмотрены вопросы верификации динамических характеристик ветровой электростанции (ВЭС) при подключении к сети 110 кВ для оценки возможности адаптации энергосистемы АО «Атырау-Жарык» к изменению энергобаланса в момент резких колебаний генерации мощности ВЭС.

Ключевые слова: динамическая устойчивость, характеристики ВЭС, НЧК, интеграция ВЭС.

Введение

На протяжении последних лет развитие сельского хозяйства для экономики Казахстана имеет огромное и приоритетное значение. Такие направления как животноводство, куриное хозяйство, рыбный промысел и т.д., эффективно могут развиваться в местах естественной среды обитания. Выгодные земельные угодья не всегда

находятся вблизи районных центров или городов, в этой связи появляется задача в обеспечении надежным и качественным электроснабжением удаленных потребителей. Проводимая Государственная политика в части внедрения зеленых и чистых технологий стимулирует строительство ВИЭ, таких как ВЭС, СЭС и малые ГЭС. По данным, представленным в работах, до конца 2020 года ожидается подключение более 3000 МВт от ВИЭ или 15% от общей установленной мощности генерирующих станции Республики Казахстан. В частности, в Атырауской области, ожидается подключение ВЭС «Карабатан» установленной мощностью 50 МВт к сети 110 кВ АО «Атырау-Жарык», СЭС «Индер» установленной мощностью 80 МВт к сети АО «KEGOC» двумя ВЛ 110 кВ к ПС «Индер», и подключение ВЭС «Забурунь» мощностью 52,8 МВт к сети 110 кВ АО «Атырау-Жарык» [1-6].

Несомненно, в данной ситуации именно ВИЭ могут стать эффективными, чистыми и экологичными источниками электроэнергии для развития сельского хозяйства в удаленных аулах и фермерских хозяйствах.

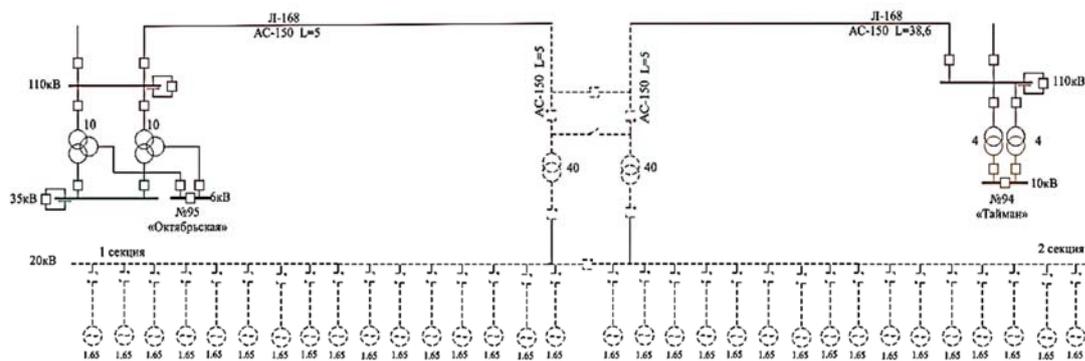
Материалы и методы

Однако, для эффективного развития энергобалансов каждого региона или области немаловажным фактором является интеграция ВИЭ в общую электрическую сеть. С появлением ВИЭ диспетчерское управление Атырауского энергоузла усложнится аварийными и послеаварийными режимами (КЗ, АПВ и пр.), связанное со сложностями прогнозирования генерации ВИЭ и нестабильностью выдаваемой мощности. В результате в слабых межсистемных связях, в т.ч. и после непродолжительных КЗ, могут появиться незатухающие низкочастотные колебания (НЧК) в пределах 0,1-3,0 Гц, способные нарушать динамическую устойчивость энергосистемы. Вопросы управления режимами, контроля устойчивости и обеспечения надежности в условиях нестабильной генерации от источников ВИЭ являются актуальными задачами для региональных распределительных сетей. В этой связи, эффективным решением в контроле режимов является демпфирование НЧК с использованием адаптивных алгоритмов по регулированию возбуждения ветроэлектроустановок (ВЭУ), при изменяющихся режимных параметрах прилегающей энергосистемы. Разработка реальной модели по адаптивному регулированию возбуждения подразумевает верификацию динамических характеристик ВЭС при различных возмущениях, таких как КЗ, отключение ВЛ и т.д., способность ВЭУ к поддержанию напряжения и частоты в соответствии с требованиями системного оператора (СО) с дальнейшей интеграцией в активно-адаптивную систему управления режимами на базе WAMS технологий для демпфирования НЧК [7-11].

В работе рассматривается изменение динамической устойчивости прилегающих сетей 110 кВ при подключении ВЭС «Забурунь» - 52,8 МВт в расщелку ВЛ 110 кВ «Тайман-Октябрьская» и балансировании со стороны Атырауской ТЭЦ.

Экспериментальная часть

Схема подключения ВЭУ к электрической сети 110 кВ приведена на рисунке 1. Суммарную мощность ВЭС 52,8 МВт составляют 32 генератора, мощностью 1,65 МВт каждый, типа Vestas V66 1.65 (Дания). Характеристики данного генератора приведены в таблице 1. Общий вид динамической структурной схемы подключения одного из ветроагрегатов к электрическим сетям АО «Атырау-Жарык» представлен на рисунке 2. Построение динамической модели выполнено в программной среде PSCAD (Power Systems Computer Aided Design), которая позволяет создавать реальные динамические модели энергосистем и симулировать колебательные, импульсные переходные процессы с учетом гармоник, шумов, суточное потребление и т.д. Результаты моделирования показаны на рисунках 3,4,5.



Примечания:

1. Номинальные мощности генераторов указаны в МВт, трансформаторов в МВА
2. Л-168 - номер линии,
АС-150 - марка и сечение провода,
L=38,6 - протяженность линии в км.
3. №95 - номер и наименование п/с
«Октябрьская»

Наименование	Существующие линии по состоянию 2015г.	Перспективное развитие электрических сетей
ВЛ 110 кВ	—————	-----
ВЛ 35 кВ	—————	-----
ВЛ 20 кВ	—————	-----
ВЛ 10 кВ	—————	-----
ВЛ 6 кВ	—————	-----

Рисунок 1. Схема внешнего подключения ВЭС -110/20 кВ к электрическим сетям 110 кВ.

Таблица 1 - Паспортные данные ветрогенератора типа VESTAS V66 1.65

Наименование	Характеристики
Тип ветрогенератора	Vestas V66 1.65
Номинальная мощность, МВт	1,65
Минимальная скорость, м/с	4
Максимальная скорость, м/с	25
Диаметр ротора, м	66
Ометаемая площадь, м ²	3 421
Число лопастей	3
Частота, Гц	50
Напряжение, В	690
Высота башни, м	60/78

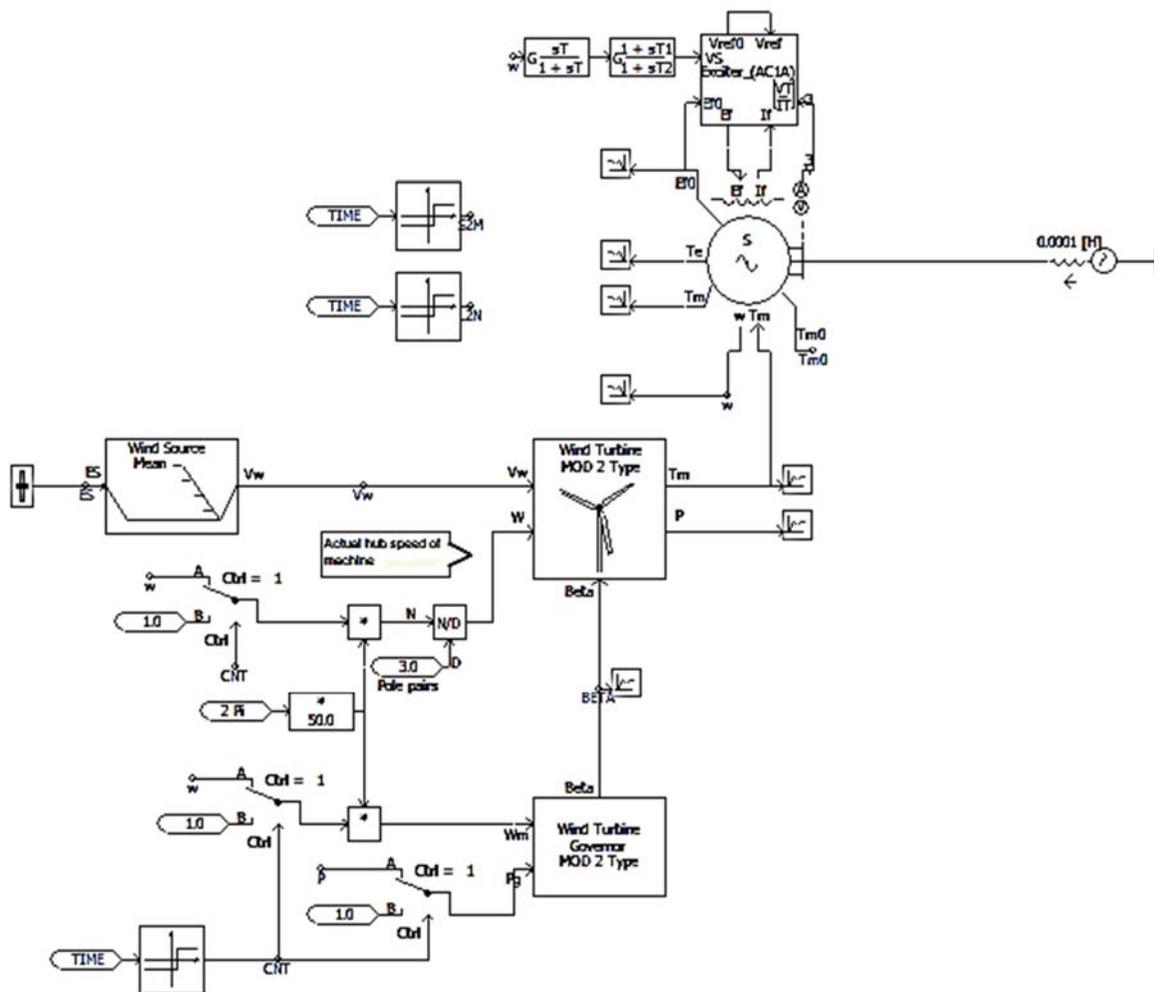


Рисунок 2. Структурная схема ветроагрегата при подключении к электрическим сетям АО «Атырау-Жарык»

Расчеты были проведены для случая возникновения трехфазного к.з на шинах 110 кВ ПС Октябрьская. Контролируемыми параметрами являлись P, Q и U на генераторах.

Результаты и обсуждения

В соответствии с требованиями «Системного оператора в части обеспечения интеграции ВЭС с энергосистемой» в случае возникновения КЗ при падении напряжения до $0,2U_{ном}$ необходимо поддержание работоспособности ветроустановок в течение 0,8 сек за счет выдачи реактивной мощности. В данном случае для выбранного типа ветроустановки (Vestas V66 1.65) поддержание напряжения осуществляется за счет системы OptiSpeed, которая обеспечивает возможность плавного регулирования генерации и потребления реактивной мощности в зависимости от выдаваемой активной мощности в пределах $\cos(\varphi)$ от 0.98 инд. до 0.96 емк. с ограничением в 1000 кВар путем регулирования скорости вращения ротора генератора в пределах 60 %. Вращение ротора генератора регулируется с применением технологии *OptiTip Pitch regulation*, обеспечивающей микропроцессорное управление шагом винта для поддержания оптимальных углов лопастей по отношению к ветровому потоку, в результате регулирования и контроль выдачи активной мощности осуществляется поворотом лопастей ротора на определенный угол, называемый углом питч регулирования. Как показывают кривые (рисунок 3) напряжения во время трехфазного короткого замыкания на 5-ой секунде (длительность К.З

0,02 сек) происходит характерный провал напряжения, с соответствующими колебаниями вращения ротора ветрогенератора (рисунок 4) [9,12].

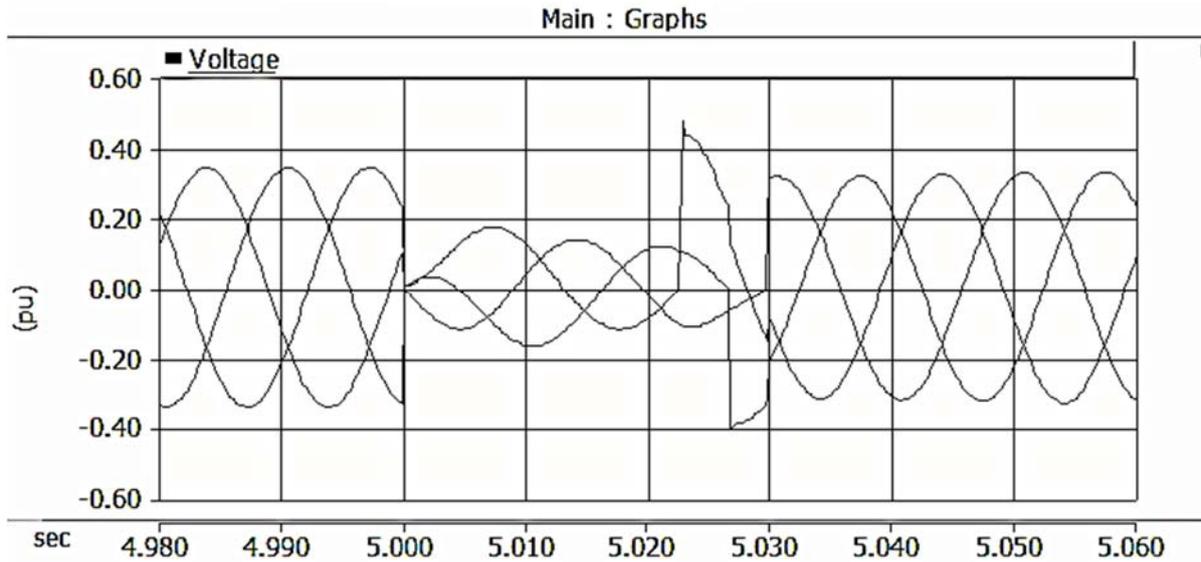


Рисунок 3. Уровень напряжения при к.з на шинах 110 кВ ПС Октябрьская

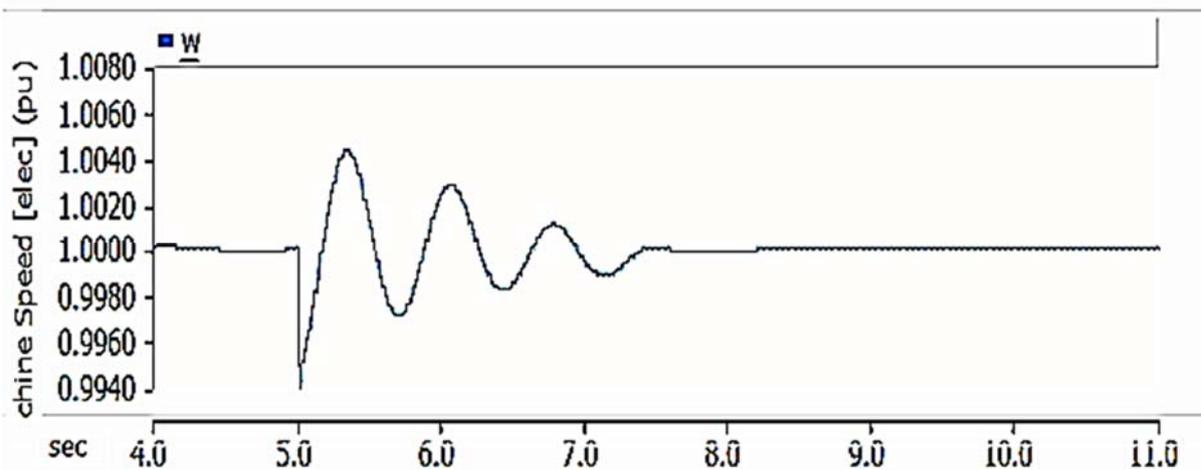


Рисунок 4. Изменение скорости вращения ветрогенератора при К.З на шинах 110 кВ ПС Октябрьская

В момент возникновения К.З на шинах 110 кВ происходит характерный провал напряжения. активная мощность резко падает до минимального значения (рисунок 3). В результате разница между механической и электрической мощностью вызывает увеличение скорости вращения ротора, в связи с чем, ротор по инерции продолжает ее развивать и генерация мощности резко возрастает (рисунок 4). Далее наблюдается характерное затухание колебания и в среднем через 0,1 сек, значение мощности принимает доаварийный уровень, наблюдается сохранение результирующей динамической устойчивости контролируемых параметров. Во время возникновения КЗ скорость вращения ротора увеличивается, что является причиной возникновения отрицательного скольжения. Это происходит за счет падения мощности практически до нулевого значения (рисунок 5).

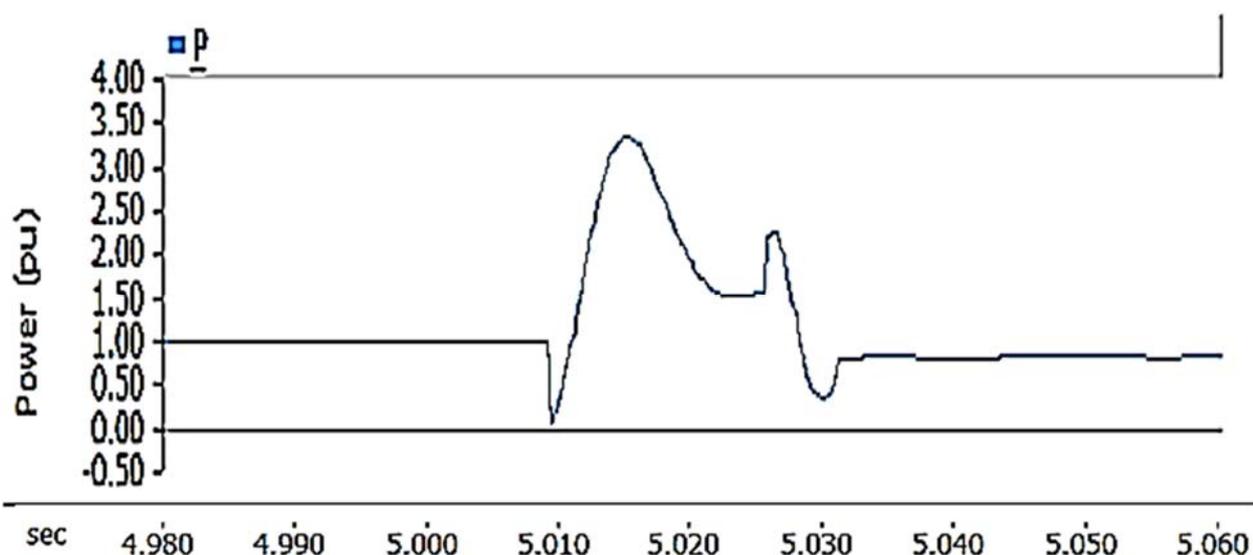


Рисунок 5. Изменение активной мощности при КЗ на шинах 110 кВ

В результате модуль *OptiTip Pitch regulation* уменьшает шаг лопаток для снижения механической энергии и модуль *OptiSpeed* выдает необходимую реактивную мощность в сеть. Таким образом, анализ устойчивости показывает способность ветроагрегата поддерживать напряжение в момент возникновения аварийных режимов. Амплитуда колебания ВЭУ составляет 3,5 МВт на одну установку, в течение времени провала напряжения поддерживается работоспособность ВЭУ за счет регулирования реактивной мощности. Полученные характеристики поведения ВЭУ при КЗ позволяют оценить уровень колебаний активной мощности ВЭУ для последующей оценки возможности демпфирования НЧК по ВЛ 110 кВ «Тайман – Октябрьская».

Выводы

Исследования динамических характеристик показывают, что после не продолжительного КЗ со стороны распределительной сети 110 кВ энергосистема на отрезке «Октябрьская-Тайман» сохраняет динамическую устойчивость в течение одного периода. Технология регулирования реактивной мощности выбранного ветрогенератора от 0.98 инд. до 0.96 емк. позволяет использовать его характеристики для демпфирования межзональных низкочастотных колебаний в диапазоне 0,22-0,4 Гц. Возможность контроля поведения энергосистемы в целом позволяет обеспечить уровень наблюдаемости и оперативную реакцию на динамические явления, которые были не достижимы в традиционных системах EMS.

Литература

1. Усманов А.С., Голиков В.А., Утемуратов Ж.Ж. /Состояние технического обеспечения агропромышленного комплекса Казахстана /Международная агроинженерия: научно-технический журнал. 2015 – Вып.4. – Алматы: КазНИИМЭСХ. -С. 46-54;
2. Осадчий Г.Б. /Возможности комбинированных биогазовых установок, использующих возобновляемые источники энергии с 26-35/ Международная агроинженерия: научно-технический журнал. – Вып.1. – Алматы: КазНИИМЭСХ, 2015;
3. Нурғалиев К.С. /Harvest of the bean and grass mixture under the use of the mineral fertilizers in the mountain zone// Известия НАН РК, 2012, 2. - С. 3-4;
4. Закон Республики Казахстан «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 29.10.2015 г.);

5. Соколов С.Е, Тохтибакиев К.К, Саухимов А.А, Нурутдинова А.Т. /Повышение пропускной способности транзита «Север-Юг» с использованием управляемых статических компенсаторов/ Вестник АУЭС 2014 г. №1. -С.18-27;
6. Схема развития НЭС Казахстана до 2020 года. www.kegoc.kz;
7. Жуков А.В, Сацук Е.И., Дубинин Д.М., Опалев О.Л., Уткин Д.Н. ОАО «СО ЕЭС» /Мониторинг низкочастотных колебаний в ЕЭС России по данным СМПП/ Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем 01 – 05 июня 2015 г., Сочи;
8. Жуков А.В., Опалев О.Л., Захаров Ю.П., Коваленко П.Ю., Юдин А.В. /Модальный анализ низкочастотных колебаний в энергосистеме/ Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем, Екатеринбург, 3 – 7 июня 2013 г.;
9. Требования системного оператора в части обеспечения интеграции ВЭС с энергосистемой/ www.kegoc.kz;
10. Тохтибакиев К.К, Саухимов А.А. /Контроль пропускной способности межсистемных связей НЭС Казахстана в реальном времени с использованием системы синхронизированных векторных измерений»/4-ая Международная конференция «Интеллектуальные Энергетические системы-ESS'15» г.Киев, Украина 9.06-12.06.2015г. Киевский политехнический институт;
11. Тохтибакиев К.К., Саухимов А.А., Шубекова К.К, Нуртаза Н.Н., Дидоренко Е.В.// Активно-адаптивная система контроля пропускной способности транзита «Север-Юг» 500 кВ ЕЭС Казахстана на базе WAMS технологий// Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление: сб.статей всероссийской конференции. - Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. - С.10-21. - ISBN 978-5-93908-138-2.
12. Технические характеристики Vestas 66/1, 65 МВт./ <https://www.vestas.com/>

Shokolakova Sh.K., Dmitriyev K.O., Tohtibakiyev K.K., Saukhimov A.A.

RESEARCH OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF WIND POWER PLANTS CONNECTING TO DISTRIBUTION GRID

Annotation

Renewable energy sources (RES) produce constantly fluctuating electricity from zero (the night, no wind and so forth.) to the maximum (in the midday sun, wind). Their growing swinging "behavior" creates new challenges for grid stability and dynamic processes in it. For the analysis of complex dynamic processes, "electric grids of tomorrow" requires special tools and techniques. The paper deals with the verification of dynamic characteristics of wind power plants (WPP) when connecting to the 110 kV grid to assess the possibility of adaptation of JCS "Atyrau-Zharyk" to change the energy balance at the time of sudden power generation WPP fluctuations.

Keywords: dynamic stability, characteristics of WPP, low-frequency oscillations, WPP integration.

Шоколакова Ш.К., Дмитриев К.О., Тохтибакиев К.К., Саухимов А.А.

ТАРАТУ ЖЕЛІЛЕРІНЕ ҚОСУ КЕЗЕНДЕГІ ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНСАСЫНЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРДЫ ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа

Жанартылатын электр энергия көздері (ЖЭК) нөлден (түн, желсіз және т.б.) максимумға (күн, желдің екпіні) дейін үнемі ауытқитын электр энергиясын өндіреді. Олардың өсіп тербелетін жағдайы энергия жүйесінің тұрақтылығы үшін жаңа мәселелерді және ондағы динамикалық үрдістерді жасайды. Осындай «ертеңгі электр желілерінің» қиын динамикалық үрдістерді талдау үшін арнайы аспаптар мен тәсілдер қажеті. Мақалада ЖЭК қуатының генерация лануының кенеттік тербелістер моментінде энергия теңгерімінің өзгеруіне «Атырау-Жарық» АҚ энергия жүйесінің бейімделу мүмкіндігінің бағасы үшін 110кВ тораптарына қосу кезіндегі жел электр стансаларының (ЖЭС) динамикалық сипаттамаларын анықтау сұрақтары қарастырылған.

Кілт сөздер: динамикалық тұрақтылық, ЖЭС сипаттамалары, төмен жиілікті тербеліс, ЖЭС интеграциясы.