

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЮЖНОГО РЕГИОНА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 110 КВ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ВЛ – 400 КВ МГРЭС – ВУЛКАНЕШТЫ

В.М. Постолатий, Е.В. Быкова

Институт энергетики АНМ

Аннотация: Рассмотрены режимы энергосистемы Молдовы при выделении из ее схемы на самостоятельную работу ВЛ-400 кВ Молдавская ГРЭС – Вулканешты для планируемого экспорта электроэнергии частью выделенных энергоблоков Молдавской ГРЭС в энергосистему Румынии.

Ключевые слова: энергосистема, автотрансформатор, генерирующие источники, уровни напряжения.

Cercetarea regimurilor Sectorului de Sud al rețelelor electrice 110 kv la deconectarea LEA-400 kv CTE – Moldovenească – Vulcănești

V. M. Postolati, E. V. Bicova

Institutul de Energetică al Academiei de Științe a Moldovei

Rezumat: Au fost cercetate regimurile de funcționare al sistemului energetic a Moldovei pentru cazul funcționării în regim independent al LEA – 400 kV „ CTE – Moldovenească – Vulcănești ” pentru asigurarea exportului de energie electrică de o parte din blocurile CTE Moldovenească spre sistemul energetic al României.

Cuvinte cheie: sistemul energetic, autotransformator, surse de generare, nivel de tensiune.

Investigation of power regimes of Southern Electrical Networks of 110 kV in case of disconnecting of the high voltage electric transmission line of 400 kV of Moldavian condensed power plant (MCPP) – Vulcaneshty

V. M. Postolaty, E. V. Bicova

Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova

Abstract: In the research paper it was studied regimes of functioning for the Moldavian Power Systems for situation of independent working of High Voltage Electric Transmission Line of 400 kV „ Moldavian Condensed Power Plant (MCPP) – Vulcaneshty”. Separated unit of MCPP will supply electricity to Power System of Romania.

Keywords: energy system, autotransformer, energy generation sources, level of voltages.

Введение.

Настоящая работа выполнена в связи с постановкой задачи передачи мощности по ВЛ-400 кВ МГРЭС – Вулканешты – Исакча с выделением части энергоблоков Молдавской ГРЭС, работающих на шины 400 кВ, на автономную работу с энергосистемой Румынии,

Выделенные энергоблоки на МГРЭС в данном случае будут работать синхронно с энергосистемой Румынии, остальные энергоблоки МГРЭС останутся работающими параллельно и синхронно с энергосистемой Молдовы и Украины.

Сложность состоит в том, что на транзитной подстанции «Вулканешты» через имеющиеся два автотрансформатора 400/110/35 кВ питается часть нагрузки Юга Республики Молдова, а также Украины.

От шин 110 кВ подстанции Вулканешты 400/110/35 отходит 10 ВЛ-110 кВ (рис. 1), по которым осуществляется электроснабжение по сети 110 кВ потребителей Юга Молдовы, а также части южного региона Украины. По этим же ВЛ-110 кВ через сеть 110 кВ обеспечивается синхронная связь подстанции 400/110 кВ с энергосистемами Молдовы (рис.2) и Украины.

Так как энергосистемы Молдовы и Украины не имеют синхронной связи с энергосистемой Румынии, то для осуществления транзита мощности части выделенных энергоблоков МГРЭС необходимым является условие отключения автотрансформаторов 400/110/35 кВ на подстанции Вулканешты.

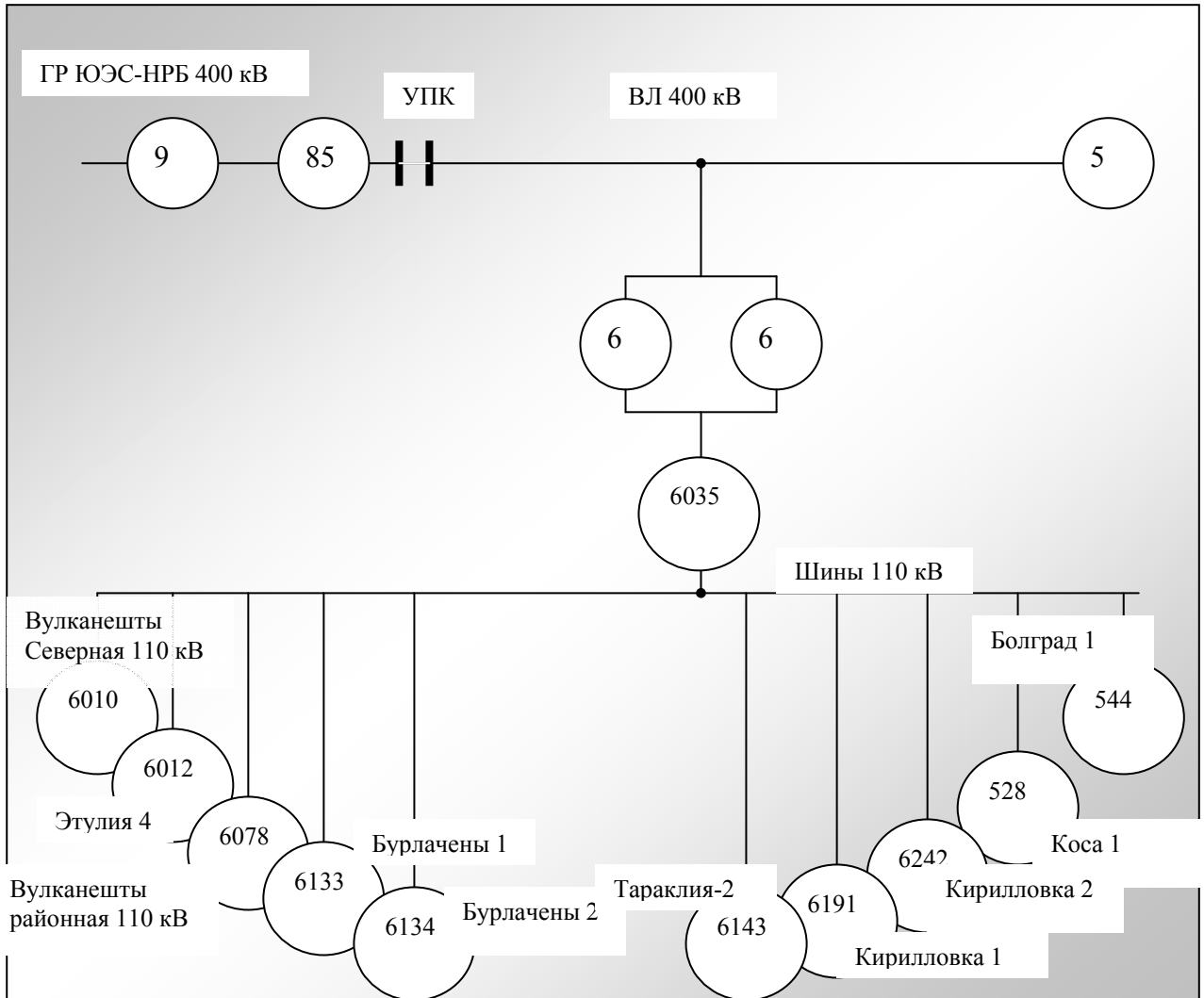


Рис.1. Общая конфигурация присоединений 400, 110 кВ и номера узлов в расчетной схеме подстанции Вулканешты

Для того, чтобы не нарушить режим электроснабжения по ВЛ-110 кВ, отходящих от подстанции 110 кВ Вулканешты, необходимо решение вопроса о поддержании на шинах 110 кВ подстанции Вулканешты необходимого уровня напряжения и соответствующего баланса мощности.

Задача состоит в поиске приемлемого варианта, обеспечивающего указанные требования.

Рассматривается несколько путей решения данной задачи. В качестве возможных основными рассмотрены два варианта:

- строительство новой ВЛ-330 кВ Кишинев – Вулканешты с установкой на подстанции Вулканешты двух автотрансформаторов 330/110 кВ;

- сооружение малых электростанций, присоединенных к шинам 110 кВ подстанции Вулканешты по ВЛ-110 кВ и расположенных вблизи Вулканешты или же в любых других пунктах, находящихся на относительно небольших расстояниях от подстанции Вулканешты.

Основным является требование: изменение схемы и транзит мощности от МГРЭС по ВЛ-400 кВ не должны привести к ухудшению условий электроснабжения потребителей Юга Молдовы и Украины.

Методически работа построена следующим образом.

- Выполнен расчет нормального режима исходной схемы и проведен анализ параметров режима, в т.ч. уровней напряжений в сети 110 кВ Юга Молдовы.

- Для варианта отключения автотрансформаторов 400/110/35 на подстанции Вулканешты и сохранения прежних условий качества электроснабжения и параметров режима сети 110 кВ, связанной с шинами 110 кВ подстанции «Вулканешты», рассмотрен вариант строительства новой ВЛ класса 330 кВ от подстанции 330 «Кишинев» до подстанции 400 кВ «Вулканешты» с установкой автотрансформатора 330/110/35 кВ;

- В качестве другого альтернативного варианта рассмотрено строительства малых электростанций ряде населенных пунктов региона Юга Молдовы, связанных по существующих ВЛ-110 кВ с подстанцией 110 кВ «Вулканешты», которые могли бы обеспечить необходимые режимные требования узла 110 кВ «Вулканешты».

Выполнен анализ результатов и сформулированы рекомендации.

1. Анализ режима исходной схемы электроэнергетической системы Молдовы.

1.1. Общая характеристика исходной схемы энергосистемы Молдовы и данных для расчета режимов.

Энергосистема Молдовы в настоящее время работает параллельно и синхронно с энергосистемами Украины и других стран СНГ. В расчетах режимов объединенной энергосистемы энергосистема Молдовы учитывается в виде высоковольтных линий электропередачи напряжением 400, 330 и 110 кВ, подстанций и генерирующих источников. Ранее энергосистема работала параллельно и синхронно в составе объединенной энергосистемы с энергосистемами Болгарии и Румынии. В настоящее время существуют три ВЛ-110 кВ, которые связывают энергосистему Молдовы с энергосистемой Румынии, однако при отсутствии синхронной связи эти линии могут работать только в режиме питания островов нагрузок. В рабочем состоянии находится и ВЛ-400 кВ Молдавская ГРЭС – Вулканешты – Исакча – Добруджа. УПК на подстанции 400 кВ Вулканешты продемонстрировано. На подстанции 400 кВ «Вулканешты» установлены два автотрансформатора. Их тип и параметры указаны в таблице 1.1. Остальные данные приведены в [1].

Таблица 1.1. Характеристики автотрансформаторов 400/110/35 кВ на подстанции Вулканешты

Обозначение	Тип	Мощность, МВА	Напряжение, кВ
1АТ	АТДЦТН-250/400/110	250	400/121±4×2,5/38,5±8×1,33
2АТ	АТДЦТН-250/400/110	250	400/121±11 %/38,5

В качестве исходных данных для расчета нормального режима энергосистемы приняты: Суммарная нагрузка в энергосистеме Молдовы в зимний максимум: активная – 1013 МВт; реактивная – 448,6 МВАр. Суммарная генерация в Молдавской энергосистеме: активной мощности – 800,6 МВт; реактивной мощности – 381,8 МВАр.

Расчетные мощности источников Молдавской энергосистемы приведены в таблице 1.2 (для летнего режима указаны в скобках).

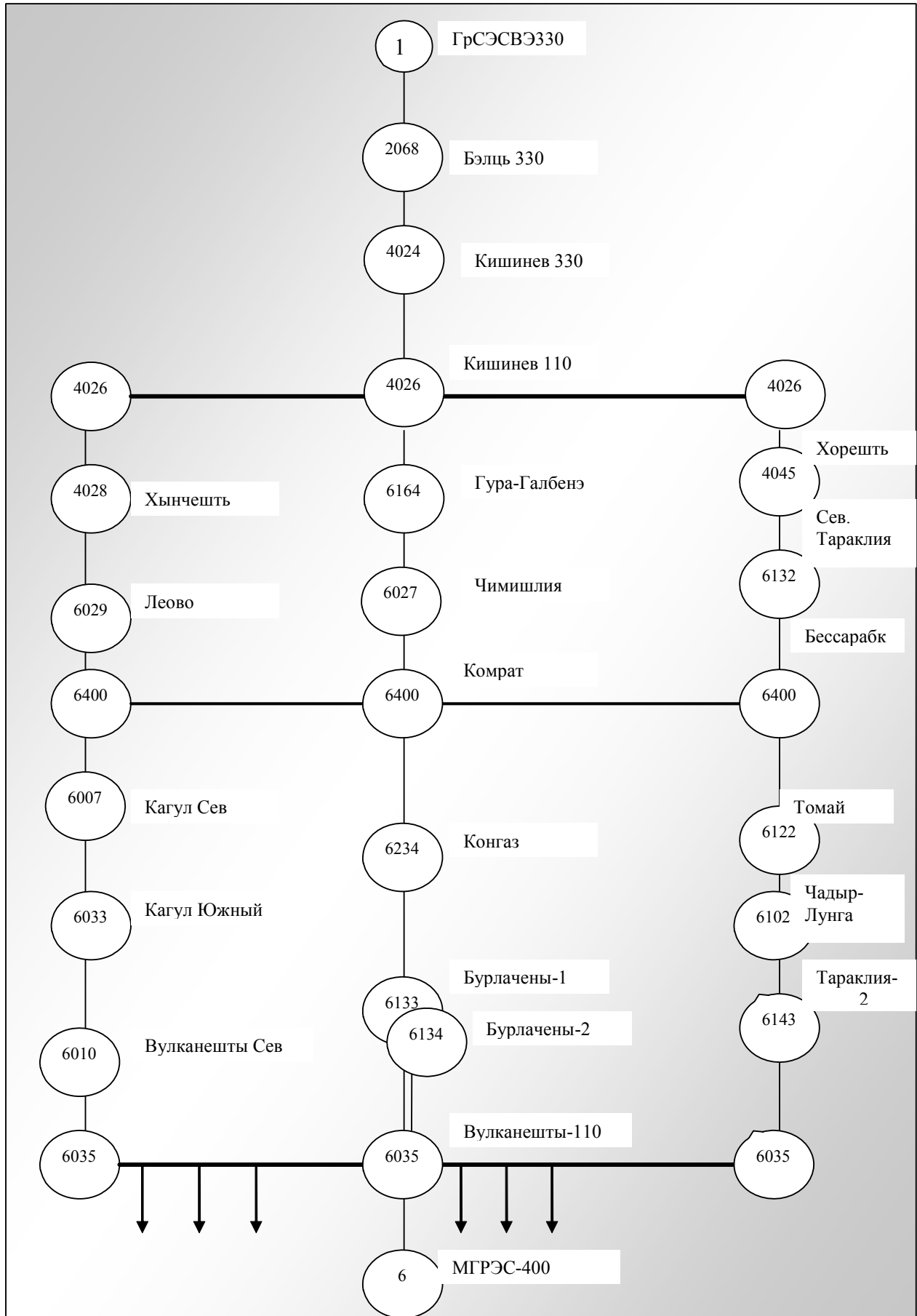


Рис. 2. Схема узлов, связанных с подстанцией Вулканешты-110

**Расчетные мощности генерирующих источников
Молдавской энергосистемы**

Таблица 1.2.

№ узла	Наименование	Рген, МВт	Qген, МВАр
2	МГРЭС 110	140	60
4	МГРЭС 330	191	124
140	Ст.35 – 3АТ	28	14
151	Бл. 11	205	105
1077	Бр. с/з	3,6	2,9
2067	БТЭЦ	17,0 (0)	1,9 (0)
2099	КоГЭС	15,0	2,5
3084	ДГЭС	28,0 (46)	6 (10)
5042	КТЭЦ 1	37 (8)	5,5 (4)
5130	КТЭЦ-2	136 (80)	60 (60)
	Итого	800,6 (716,6)	381,8 (382,4)
	в т.ч. МГРЭС	564 (564)	303 (303)

Расчетные данные по генерирующим источникам Украинской энергосистемы и эквивалента объединенной энергосистемы, а также данные по линиям и подстанциям приведены непосредственно в исходных параметрах расчетной схемы.

1.2. Результаты расчета параметров исходного установившегося режима энергосистемы

Расчеты выполнены с помощью программы “RASTR”. Перечень контролируемых узлов приведен в таблице 1.3., а перечень контролируемых ветвей - в таблице 1.4.

Таблица 1.3. Номера и названия контролируемых узлов

№ узла	Наименование узлов	Класс напряжения, кВ
1	ГрСЭСВЭ 330	330
4110	Стр. 330	330
4024	Киш 330	330
5	МГРЭС 400	400
6	Вул 400	400
6035	Вул 110	110
6010	Вул Сев	110
6143	Тараклия-2	110
2068	Бэлц 330	330
4	МГРЭС 330	330

Таблица 1.4. Контролируемые ветви

Номера узлов		Наименование ветвей	Класс напряжения, кВ
Начало	Конец		
1	2068	ГрСЭСВЭ 330 – Бэлц 330	330
5	6	МГРЭС 400 – Вул 400	400
6	6035	Вул 400 – Вул 110	
6035	6010	Вул 110 – Вул. Сев.	110
6035	6143	Вул 110 – Тараклия 2	110

Анализ результатов расчета исходного нормального режима показывает, что по уровням напряжения во всех узлах рассчитываемой системы режимные требования

выполняются. Для контролируемых узлов и ветвей данные приведены в таблицах 1.3.1. и 1.3.2.

Следующим этапом расчета является отключение автотрансформаторов 400/110/35 кВ на подстанции Вулканешты и анализ происшедших при этом изменений параметров режима.

Таблица 1.3.1. Уровни напряжения в контролируемых узлах в исходном нормальном установившемся режиме (файл norm-r-k. rge)

№ узла	Наименование узла	Напряжение в узлах			Примечание
		Уном, кВ	Урас, кВ	dU, %	
1	ГрСЭСВЭ 330	321,0	330,2	2,85	
4	МГРЭС 330	340,0	331,4	-2,52	
5	МГРЭС 400	404,0	395,4	-2,13	
6	Вул 400	404,0	395,0	-2,23	
7	ОтпХБК 330-1	337,0	329,3	-2,29	
8	ОтпХБК 330-2	337,0	329,4	-2,27	
2068	Бэлц 330	315,0	324,0	2,87	
4024	Киш. 330	328,0	325,6	-0,72	
6010	Вул. Сев.	117,0	125,0	6,85	
6035	Вул. 110	122,0	125,6	2,92	
6143	Тараклия 2	120,0	124,7	3,88	

Таблица 1.3.2. Перетоки мощности в контролируемых ветвях в исходном нормальном установившемся режиме (файл NORM-R-K. rge)

Номера узлов		Наименование ветвей	Напряжение узла, кВ		Величина перетока мощности МВт, МВАр
начало	конец		начало	конец	
1	2068	ГрСЭСВЭ 330 – Бэлц 330	330,16	324,05	-165-j36,9
5	6	МГРЭС 400 – Вул. 400	395,4	394,4	-150,83+j51,55
6	6035	Вул. 400 – Вул. 110	394,99	125,57	-81,37-j19,39; -81,03-j15,52
6035	6010	Вул. 110 – Вул. Сев.	125,57	125,02	-20,54-j2,98
6035	6143	Вул. 110 – Тараклия	125,57	124,66	-16,56-j2,24
7	4024	Отп ХБК 330-1 – Киш 330	329,2	325,6	-108,73-j15,64
8	4024	ОтпХБК 330-2 – Киш 330	329,37	325,6	-110,33-j25,03

2. Режим энергосистемы Молдовы при отключении ВЛ-400 кВ МГРЭС – Вулканешты и автотрансформаторов 400/110/35 кВ на подстанции Вулканешты.

2.1. Изменения в схеме.

В поставленной задаче предусматривается выделение части энергоблоков МГРЭС для работы на ВЛ-400 кВ МГРЭС – Вулканешты – Исакча в автономном от Молдавской и Украинской энергосистем режиме. При этом также предусматривается отключение двух автотрансформаторов 1АТ и 2АТ 400/110/35 кВ на подстанции 400 кВ «Вулканешты».

Для подготовки расчетной схемы энергосистемы для указанного режима необходимо выполнить следующие изменения в рассмотренной выше (рис. 1) исходной схеме энергосистемы:

- отключить ВЛ-400 кВ МГРЭС – Вулканешты (узлы 5-6);
- отключить 1АТ и 2АТ на подстанции Вулканешты (ветви 6-6035 и 6-6035).

В остальной схема остается без изменений. Не изменяются также заданные величины нагрузок энергосистемы и мощности генерирующих источников.

Измененный вариант схемы энергосистемы обозначен: NORM-R-1.

2.2. Расчет и анализ параметров установившегося режима энергосистемы при отключении ВЛ-400 кВ МГРЭС – Вулканешты и двух автотрансформаторов 1АТ и 2АТ на подстанции «Вулканешты».

Выполнены расчеты параметров режима энергосистемы при отключении ВЛ-400 кВ МГРЭС – Вулканешты и двух автотрансформаторов 1АТ и 2АТ на подстанции «Вулканешты».

Для контролируемых узлов сделана выборка значений напряжений (таблица 2.2.1), а для ветвей – перетоков мощности (таблица 2.2.2).

Из приведенных данных видно, что уровни напряжения в контролируемых узлах сети 110 кВ резко снизились и потери напряжения достигли уровней 21-23 %, что недопустимо.

Таблица 2.2.1

Уровни напряжения в контролируемых узлах энергосистемы в установившемся режиме после отключения ВЛ-400 кВ МГРЭС – Вулканешты и двух автотрансформаторов на подстанции «Вулканешты» (файл NORM-R-1. rge)

№ узла	Наименование узлов	Напряжение в узлах			Примечание
		Уном, кВ	Урас, кВ	dU, %	
1	ГрСЭСВЭ 330	321,0	320,7	-0,09	
4	МГРЭС 330	340,0	313,5	-7,79	
5	МГРЭС 400	404,0	395,4	-2,13	
6	Вул 400	404,0	395,0	-2,23	
7	ОтпХБК 330-1	337,0	311,7	-7,51	
8	ОтпХБК 330-2	337,0	311,8	-7,48	
2068	Бэлц 330	315,0	312,1	-0,93	
4024	Киш. 330	328,0	309,0	-5,75	
6010	Вул. Сев.	117,0	91,9	-21,46	
6035	Вул. 110	122,0	91,6	-24,96	
6143	Тараклия 2	120,0	93,0	-22,53	

Таблица 2.2.2.

Перетоки мощности в контролируемых ветвях в установившемся режиме после отключения ВЛ-400 кВ (файл NORM-R-1. rge)

Номера узлов		Наименование ветвей	Напряжение узла, кВ		Величина перетока мощности МВт, МВАр
начало	конец		начало	конец	
1	2068	ГрСЭСВЭ 330 – Бэлц 330	320,7	312,06	-(198,95-j62,24
5	6	МГРЭС 400	395,4	394,9	0
6	6035	Вул. 400 – Вул. 110	394,9	91,55	0
6010	6035	Вул. Сев. – Вул. 110	91,89	91,55	-8,97-j1,54
6143	6035	Тараклия 2 - Вул. 110	92,96	91,55	-17,67-j3,94
7	4024	Отп ХБК 330-1 – Киш 330	311,7		-128,2-j06
8	4024	ОтпХБК 330-2 – Киш 330	311,8		-131,5-j10,7

Изменились перетоки мощности в системе. Произошло некоторое увеличение перетока мощности по ВЛ-330 кВ ГрСЭСВЭ 330 – Бэлц 330, ВЛ-330 кВ – МГРЭС – Кишинэу. Баланс мощности обеспечивается за счет увеличения перетока из энергосистемы Украины и Молдавской ГРЭС. Однако режим по напряжению в сети 110 кВ, примыкающей к подстанции 400/110 «Вулканешты», стал недопустимым. Снизились уровни напряжения в узлах подстанции Бэлц, Стрэшень, Кишинэу. Существующие сети 110 кВ не в состоянии обеспечить требуемый режим.

Необходим поиск альтернативных вариантов восстановления требуемого режима в сетях 110, 330 кВ Молдавской энергосистемы.

3. Вариант включения новой ВЛ-330 кВ Кишинэу – Вулканешты с установкой автотрансформатора 330/110/35 кВ на подстанции Вулканешты при отключенной ВЛ-400 кВ МГРЭС – Вулканешты.

3.1. Схемные изменения.

Рассматривается вариант строительства между подстанциями Кишинэу 330 кВ и Вулканешты новой одноцепной ВЛ-330 кВ. Поясняющая схема приведена на рис. 3.

Параметры новой ВЛ-330 кВ Кишинэу – Вулканешты приведены в таблице

3.1.1.

На подстанции «Вулканешты» предусматривается установка нового автотрансформатора 330/110/35 кВ мощностью 200 МВА. Данные автотрансформатора приведены в таблице 3.1.2. Параметры ВЛ-330 кВ и автотрансформатора 330/110/35 кВ рассчитаны с учетом данных [1].

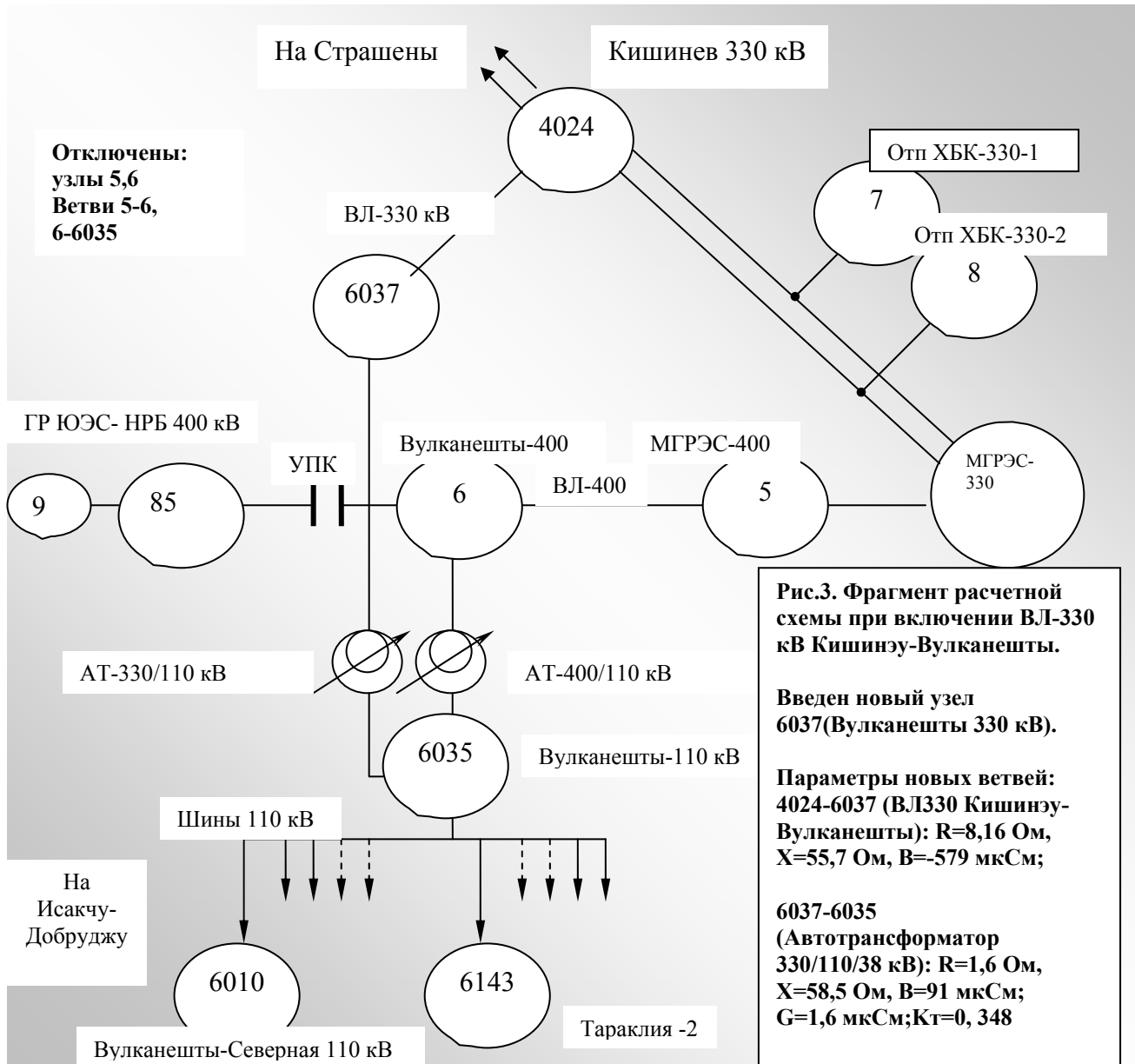
Таблица 3.1.1. Параметры ВЛ-330 кВ Кишинэу – Вулканешты

№ п/п	Параметры ВЛ-330 кВ	Единицы измерения	Значения параметров
1.	Протяженность ВЛ-330 кВ	км	170
2.	Напряжение ВЛ	кВ	330
3.	Провода		2 x AC-300/39
4.	Удельное активное сопротивление	Ом/км	0,048
5.	Удельное индуктивное сопротивление	Ом/км	0,328
6.	Удельная емкостная проводимость	См/км	$3,41 \cdot 10^{-6}$
7.	Удельная зарядная мощность	МВАр/км	0,409
8.	Параметры ВЛ-330 170 км: - активное сопротивление - индуктивное сопротивление - емкостная проводимость - емкостная проводимость - зарядная мощность	Ом Ом См мСм МВАр	8,16 55,76 $5,79 \cdot 10^{-4}$ 579 69,5

Таблица 3.1.2 Параметры автотрансформатора 330/110/35 кВ на подстанции Вулканешты

№ п/п	Параметры автотрансформатора	Единицы измерения	Значения параметров
1.	Тип автотрансформатора		АТДЦТН – 200000/330/110
2.	Номинальная мощность автотрансформатора	МВА	200
3.	Номинальное напряжение обмоток: - высокого напряжения (ВН-1) - среднего напряжения (СН-2) - низкого напряжения (НН-3)	кВ кВ кВ	330 115 38,5
4.	Напряжение короткого замыкания (Uк) В-С (1-2) В-Н (1-3) С-Н (2-3)	% % %	10 34 22,5
5.	Потери короткого замыкания (ΔР) В-С (1-2)	кВт	600
6.	Потери холостого хода (ΔРх)	кВт	180
7.	Ток холостого хода (Iх)	%	0,5
8.	Активное сопротивление обмоток: ВН (1) СН (2) НН (3)	Ом Ом Ом	0,8 0,8 2,0

9.	Индуктивное сопротивление ВН (1) СН (2) НН (3)	Ом Ом Ом	58,5 0 126,6
10.	Реактивные потери холостого хода (ΔQ_x)	кВАр	1000
11.	Индуктивная проводимость шунта (B_t)	мкСм	9,1
12.	Активная проводимость шунта (G_t)	мкСм	1,6
13.	Коэффициент трансформации U_c/U_v	отн. ед.	0,348



3.2. Результаты расчета и анализ параметров установившегося режима энергосистемы при отключенных ВЛ-400 кВ МГРЭС – Вулканешты, АТ1, АТ2 на подстанции «Вулканешты» и включенной новой ВЛ-330 кВ Кишинэу – Вулканешты с установкой автотрансформатора АТ 330/110/35 кВ на подстанции «Вулканешты».

Результаты расчета нормального установившегося режима для варианта исходных данных (NORM-R-2) приведены в таблицах 3.2.1 и 3.2.2.

Как следует из анализа приведенных данных, при введении в работу новой ВЛ-330 кВ Кишинэу – Вулканешты параметры режима энергосистемы существенно улучшаются. Уровни напряжения в контролируемых узлах находятся в допустимых пределах. В основном определяющем узле 6035 величина напряжения составляет 112 кВ. Переток мощности по ВЛ-330 кВ Кишинэу – Вулканешты составляет $(91,8+j5,4)$ МВА. Баланс мощности в системе покрывается за счет увеличения перетока по линиям 330 кВ Молдавской ГРЭС – Кишинэу и Днестровск – Бельцы – Страшены – Кишинэу.

Вариант строительства ВЛ-330 кВ Кишинэу – Вулканешты с установкой автотрансформаторов 330/110/35 кВ на подстанции Вулканешты позволяет решить проблему обеспечения требуемых параметров режима в сети 110 кВ Южного региона. Дальнейшее рассмотрение данного варианта может быть обосновано на основании технико-экономических сопоставлений с другими вариантами.

Вопрос о строительстве ВЛ-330 кВ целесообразно увязать также с учетом транзитных возможных в перспективе перетоков мощности по цепочке Днестровская ГЭС – Бельцы – Кишинэу – Вулканешты – Румыния – Болгария.

4. Вариант включения новых генерирующих источников электроэнергии в сетях 110 кВ, примыкающих к шинам 110 кВ подстанции «Вулканешты»

Вторым техническим решением восстановления нормальной работы и требуемых параметров режимов рассмотрено включение дополнительных источников (ПГУ или ГТУ) активной и реактивной мощности в ряде узлов сети 110 кВ, примыкающей к подстанции 110 кВ Вулканешты (рис. 4). В качестве таковых выбраны:

- узел 110 кВ Вулканешты Северная;
- узел 110 кВ Тараклия;
- узел 110 кВ Комрат;
- узел 110 кВ Кахул Южный.

Введение дополнительных источников мощности осуществлено ступенчато. Величина реактивной мощности дополнительных источников определена исходя из работы генераторов при $\cos\varphi = 0,85$.

Выбор мощности ПГУ (или ГТУ) осуществлен исходя из условия полного использования тепловой энергии отходящих продуктов сгорания газовых турбин для целей теплоснабжения населенных пунктов, где размещены указанные узлы сети 110 кВ.

Возможны и другие варианты ввода мощности в узлах 110 кВ Южной части энергосистемы. Однако их суммарная мощность должна быть не меньше указанной. В качестве альтернативного варианта рассмотрено подключение всей дополнительной генерируемой мощности к шинам 110 кВ подстанции Вулканешты – 110 кВ.

Как показали расчеты и проведенный анализ, варианты введения дополнительных источников мощности обеспечивают восстановление параметров режимов на уровне исходного состояния схемы и способствуют снижению потерь активной мощности в системе до прежнего уровня.

4.1. Описание вариантов введения дополнительных новых генерирующих источников электроэнергии.

В данной работе рассмотрено различное сочетание по мощности и местам размещения дополнительных источников активной и реактивной мощности. Ряд вариантов является промежуточным и использован для получения информации, выявления закономерностей и построения обобщенных характеристик. Наиболее представительные варианты размещения новых ПГУ показаны на рис. 4.

Номера и название контролируемых узлов

Таблица 3.2.1

№ узла	Название ΔU	NORM-R-К. Исходный режим,		NORM-R-1, Отключена ВЛ- 400 кВ МГРЭС – Вулканешты		NORM-R-2., Включена новая ВЛ-330 кВ Кишинэу - Вулканешты		NORM-R-3. с ПГУ-40,5 МВт на п/ст Вулканешты.11 0 кВ Сев. и 24 МВт в Тараклии		NORM-R-6. при S=24+j 14 в Кагуле Юж.; S=24+j 14 в Комрате, 40,5 МВт – Вулк.Сев., 24+j14 МВАв Тараклии		NORM-R-7 (аварийный) отключена 6035- 6010 Вулк.110 – Вулк. Сев.		NORM-R-8 (аварийный) отключена 6035-6010; ПГУ в Тар., Кагуле, Комрате; ПГУ в Вулканештах - отключена	
		ΔU, %	Ур, кВ исх.	ΔU, %	Ур, кВ	ΔU, %	Ур, кВ	Ур, кВ	Ур, кВ	ΔU, %	Ур, кВ	ΔU, %	Ур, кВ	ΔU, %	Ур, кВ
1	ГрСЭСВЭ-330	+2,85%	330,2	+0,79	323,5	+2,09	327,7	+2,18	328,0	+3,06	330,8	+2,84	330,1	+2,26	328,3
3	Стр.-330	+0,38%	324,2	-3,16	312,8	-0,83	320,3	-0,84	320,3	+0,65	325,1	+0,26	323,9	-0,7	320,7
4024	Киш.-330	-0,72%	325,6	-4,41	313,5	-1,89	321,8	-2,01	321,4	-0,49	326,4	-0,9	325,1	-1,88	321,8
5	МГРЭС-400	-2,13%	395,4	-5,71	380,9	-3,79	388,7	-3,68	389,1	-2,48	394	-2,86	392,5	-3,63	389,3
6	Вулк.-400	-2,23%	395,0	-2,23	395,0	Отключен		Отключен		Отключен		Отключен		Отключен	
2068	Бэлць-330	+2,87%	324,0	0,09	315,3	+1,87	320,9	+1,93	321,1	+3,12	324,8	2,81	323,9	2,04	321,4
4	МГРЭС-330	-2,52%	331,4	-5,73	320,5	-3,8	327,0	-3,7	327,4	-2,48	331,6	-2,87	330,3	-3,65	327,6
От Кишиневской 110 кВ															
Левая ветка															
4026	Кишин.110	+5,5%	124,5	0,77	118,9	+3,66	122,3	+3,98	122,7	+6,09	125,2	+5,58	124,6	+4,23	123,0
4028	Хынчешть	+6,47%	123,5	+0,48	116,6	+4,16	120,8	+4,66	121,4	7,24	124,4	+6,67	123,7	+5,0	121,8
6029	Леово	1,54%	121,9	-11,51	106,2	-3,5	115,8	-2,07	117,5	3,27	123,9	+2,36	122,8	-1,14	118,6
6400	Комрат	+6,42%	122,4	-10,74	102,7	-0,3	114,7	+1,78	117,0	8,78	125,1	+7,63	123,8	+3,03	118,5
6007	Кагул Сев.	+7,25%	123,3	-17,03	95,4	-2,56	112,1	+1,28	116,5	+10,83	127,5	+21,55	169,8	+7,53	123,7
6033	Кагул Южн.	+3,1%	123,7	-21,17	94,6	-6,75	111,9	-2,84	116,6	6,68	128	+18,74	142	+3,88	124,7
6010	Вулкан. Сев.	+6,85%	125,0	-19,9	93,7	-4,17	112,1	+0,41	117,5	+8,74	127,2	+24,9	146	6,49	124,6
6035	Вулканеш.-110	+2,92	125,6	-23,44	93,4	-8	112,2	-4,96	115,9	2,58	125,2	-4,94	116	-8,88	111,2
Центральная ветка															
4026	Кишин.-110	+5,5%	124,5	0,77	118,9	+3,66	122,3	+3,98	122,7	+6,09	125,2	+5,58	124,6	+4,23	123
6164	Гура Галбенэ	+1,16%	123,4	-8,21	112,0	-2,44	119,0	-1,55	120,1	2,33	124,8	+1,62	124,0	-0,92	120,9
6027	Чимишлия	+8,69%	122,8	-4,5	107,9	+3,6	117,1	+4,99	118,6	+10,40	124,7	+9,47	123,7	-5,92	119,7
6400	Комрат	+6,42%	122,4	-10,74	102,7	-0,30	114,7	+1,78	117	8,78	125,1	+7,63	123,8	+3,03	118,5
6234	Конгаз	+9,87%	123,1	-11,63	99,0	+1,30	113,5	+3,8	116,3	+11,34	124,7	+7,74	120,7	+3,16	115,3
6133	Бурлачень-1	+7,26%	125,5	-20,08	93,5	-4,06	112,3	-0,9	115,9	6,95	125,1	-0,8	116,1	-4,91	111,3
6134	Бурлачень-2	+7,32%	125,6	-20,17	93,4	-4,07	112,2	-0,9	115,9	6,97	125,2	-0,87	116,0	-4,98	111,2
6035	Вулканеш.-110	+2,92%	125,6	-23,44	93,4	-8,000	112,2	-4,96	115,9	2,58	125,2	-4,94	116	-8,88	111,2
Правая ветка															

PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE 1(9) 2009

4026	Кишин.-110	+5,5%	124,5	0,77	118,9	+3,66	122,3	+3,98	122,7	+6,09	125,2	+5,58	124,6	+4,23	123
4045	Хорешть	+2,5%	124,0	-3,56	116,7	+0,16	121,2	+0,65	121,8	3,26	124,9	+2,70	124,3	+1,01	122,2
4020	Тараклия Сев.	+0,58%	122,7	-10,74	110,7	-3,22	118,1	-2,21	119,3	1,89	124,3	+1,14	123,4	-1,54	120,1
6132	Бесарабка	+3,43%	122,1	-10,40	105,7	-1,096	115,7	-0,29	117,7	5,40	124,4	+4,42	123,2	+0,7	118,8
6400	Комрат	+6,42%	122,4	-9,28	110,7	-0,30	114,7	+1,78	117	8,78	125,1	+7,63	123,8	+3,03	118,5
6122	Томай	+11,45%	122,6	-8,7	100,4	+3,49	113,8	+6,25	116,9	13,74	125,1	+11,21	122,3	+6,49	117,1
6102	Чадыр-Лунга	+9,88%	123,1	-13,39	97,0	+0,54	112,6	+4,24	116,7	11,86	125,3	+7,24	120,1	+2,77	115,1
6143	Тараклия-2	+3,88%	124,7	-21,05	94,7	-6,33	112,4	-1,91	117,7	5,47	126,6	-0,88	118,9	-4,9	114,1
Украинские подстанции															
544	Болград-1			-15,73	92,7	+1,5	111,7	+4,89	115,4	13,30	124,6	+4,92	115,4	+0,53	110,6
528	Коса-110(1)	+9,27%	120,2	-16,43	91,9	-1,23	108,7	+1,73	111,9	9,12	120	+1,91	112,1	-2,0	107,8
549	Рени-110	+13,39	124,7	-16,2	92,2	+1,15	111,3	+4,57	115,0	+13,01	124,3	+4,59	115,1	+0,18	110,2
543	Измаил-1	+4,45	114,9	-15,59	92,9	-3,5	106,2	-1,4	108,5	+4,39	114,8	-0,97	108,9	-4,11	105,5
Новые ЛЭП узлы															
6037	Вулканеш.-330	-	-	-	-	-2,02	323,3	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 3.2.2. Контролируемые ветви

Номера узлов		Наименование ветвей	Файл NORM-R-K Исходный режим	Файл NORM-R-1 Отключены 6-85, 6-6035(1); 6-6035 (2) узел 5 включен	Файл NORM-R-2; включена ВЛ-330 Кишинев – Вулканешты и АТ-330/110 на п/ст Вулканешты; Узел 5 включен	Файл NORM-R-3 включены ПГУ-24 Тараклия; ПГУ-40,5 в Вулканештах; МГРЭС – Вулканешты 400 кВ отключена; Узел 5 включен	Аварийный режим. NORM-R-7 отключена 6035-6010 Вулканешты 110 – Вулканешты Сев.; отключены ПГУ в Тараклии, Комрате, Кагуле по 24 МВт; Вулканешты Сев. – ПГУ-40,5
Начало	Конец						
1	2068	ГрСЭСВЭ-330 – Бэлць-330	-165,5-j36,9	-165,57-j52,21	-173,54-j44,11	-161,97-j46,24	-155,25-j39,5
2068	3	Бэлць-330 – Стрэшень-330	+27+j12,3	-27,77+j8,48	-36,83+j18,82	-23,7+j14,57	-16,46+j21,41
4024	4026	Кишинэу-330 – Кишин-110	-75,6-j39,0	-95,39-j44,8	-80,58-j47,81	-93,34-j40,73	-83,73-j33,49
4024	4026	Кишинэу-330 – Кишин-110	-74,6-j38,3	-96,69-j45,29	-81,77-j48,48	-92,11-j40,23	-84,82-j34,01
4024	8	Кишинэу-330 – Отп.ХБК-2-330	+110,0+j51,4	+138,71+j52,89	+161,24+j38,11	+136,02+j49,29	-127,7+j43,15
4024	7	Кишинэу-330 – Отп.ХБК-1-	+108,2+j41,7	+136,04+j41,36	+156,93+j25,66	+133,2+j38,05	+124,76+j32,64

PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE 1(9) 2009

		330					
4024	3	Киш.-330 – Отп. Стрэш-330	-68,0-j15,9	-82,68-j4,15	-63,12+j17,57	-83,76-j6,37	-83,92-j8,29
4	8	МГРЭС-330 – ХБК-2	-177,0-j76,9	-209,83-j79,58	-230,72-j81,77	-206,91-j75,25	-197,86-j67,85
-4	7	МГРЭС-330 – ХБК-1	-180,1-j69,5	-212,42-j70,07	-231,52-j61,18	-209,31-j66,06	-200,02-j59,44
4026	4028	Кишинэу-110 – Хынчешть	-18-j1,4	-28,91-j2,59	-23,18-j4,25	-26,5-j0,7	-21,3+j1,7
4026	6164	Кишинэу-110 . Гура-Галб.	-18,4-j2,2	-58,8-j13,2	-37,14-j15,86	-50,2-j4,4	-31,2+j7,2
4026	4045	Кишинэу-110 – Хорешть	-15,3-j0,8	-38,2-j4,9	-26,46-j7,37	-32,9-j0,4	-21,8+j5,1
6035	6010	Вулканешты -110 – Вулк.Сев	-20,5-j3,0	+38,3+j19,4	-9,4+j2,4	+34,7+j17,7	Отключена
6035	6143	Вулканешты-110 – Таракл 2	-16,6-j2,2	+8,7-j0,7	-4,1+j4,3	+24+j7,9	37,9+j14,4
6035	6078	Вулканешты-110 – п/ст. Вулканешты районная	-14,1-j3,0	-13,6-j3,2	-13,7-j3,1	-13,8-j3,1	-13,8-j3,1
6035	6134	Вулканешты-110 – Бурлач.-2	-0,3-j0,0	-0,3-j0,0	-0,3-j0,0	-0,3-j0,0	-0,3-j0,0
6035	6191	Вулканешты-110 – Кирил.-1	-2,0+j1,4	-1,9+j1,0	-1,9+j1,1	-1,9+j1,2	-1,9+j1,2
6035	6242	Вулканешты-110 – Кирил.-2	-1,4+j0,5	-1,3+j0,4	-1,3+j0,4	-1,3+j0,4	-1,3+j0,4
6035	6133	Вулканешты-110 – Бурлач.-1	-22,1-j4,4	-14,9-j2,0	-4,0+j5,4	+9,1-j5,5	+29,7+j4,5
6035	6012	Вулканешты-110 – Етулия-4	-7,7-j0,9	-7,6-j1,4	-7,6-j1,2	-7,7-j1,1	-7,6-j1,1
6035	6	Вулканешты -110 – Вулк-400	+68,6+j13,1		отключена	отключена	
6035	6	Вулканешты -110 – Вулк-400	+81,0+j15,5		отключена	отключена	
6035	528	УКРАИНА Вулканешты-110 – Коса-1	-41,8-j17,4	-14,1-j13,7	-26,4-j9,3	19,7-j17,8	-19,6-j16,5
5	6	МГРЭС-400 – Вулканеш-400	-150,8+j51,5	отключена	отключена	Отключена	Отключена
6	5	Вулканеш-400 – МГРЭС-400	150,3+j35,9	отключена	отключена	Отключена	Отключена
6035	544	Вулканешты-110 – Болград-1		-23,1+j0,1	-23,1+j0,2	-23,1+j0,2	-23,1+j0,2
		ВКЛЮЧЕНИЕ НОВЫХ ЛЭП					
4024	6037	Кишинэу-330 – Вулкан.-330 (D-330)	-	-	-92,64+j50,08	Нет связи	Нет связи
6037	6035	Вулканешты-330 – Вулканешты-110 (переток через АТ)	-	-	-91,76-j5,37	Нет связи	Нет связи

4.2. Основные результаты расчетов параметров режимов сетей 110 кВ при включении дополнительных электрических мощностей в нормативном режиме.

Результаты расчетов режимов энергосистемы для различных вариантов введения дополнительных генерирующих источников приведены в таблицах 3.2.1 и 3.2.2

Каждый из рассмотренных вариантов характеризуется своими показателями и значениями параметров режимов.

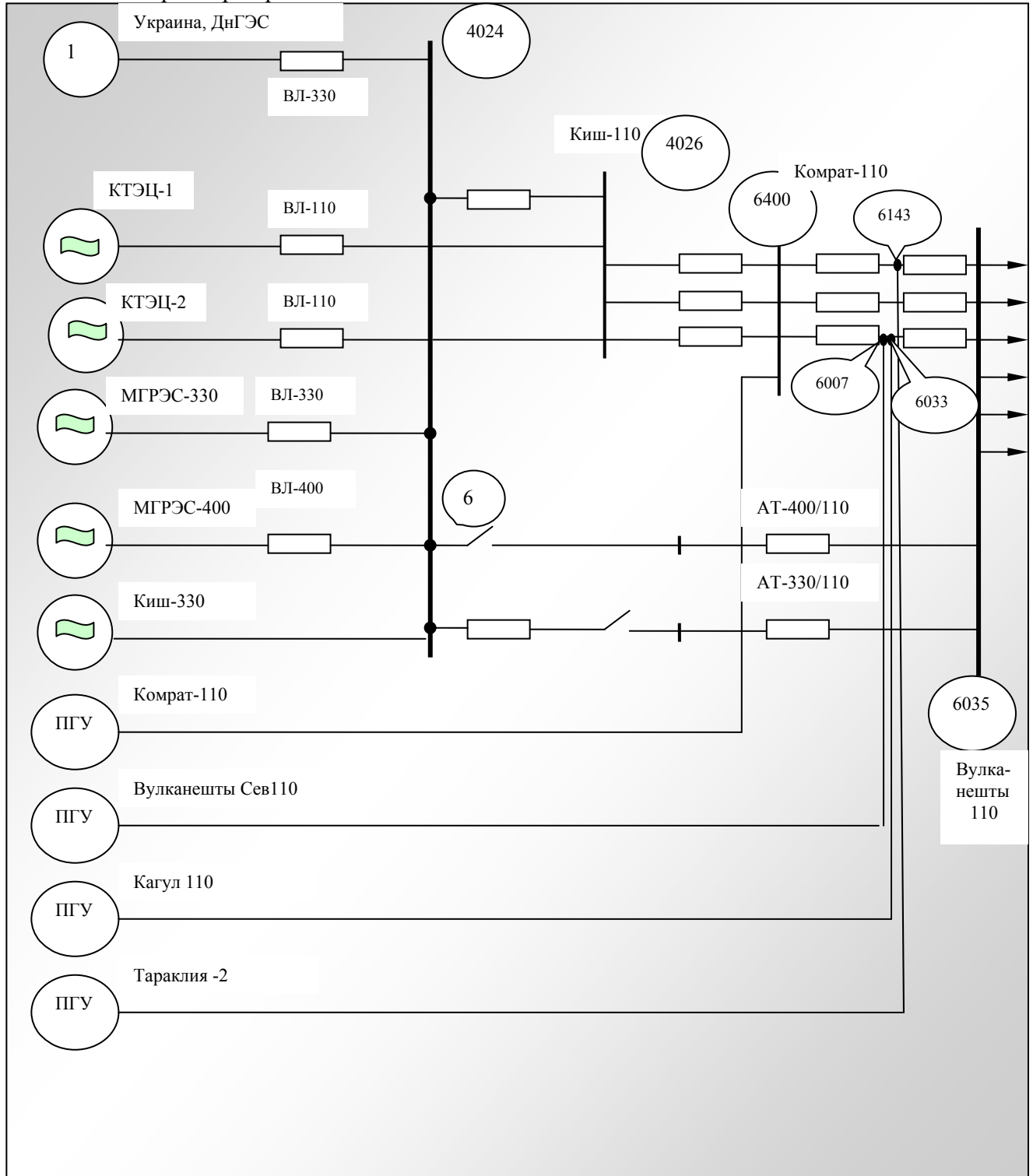
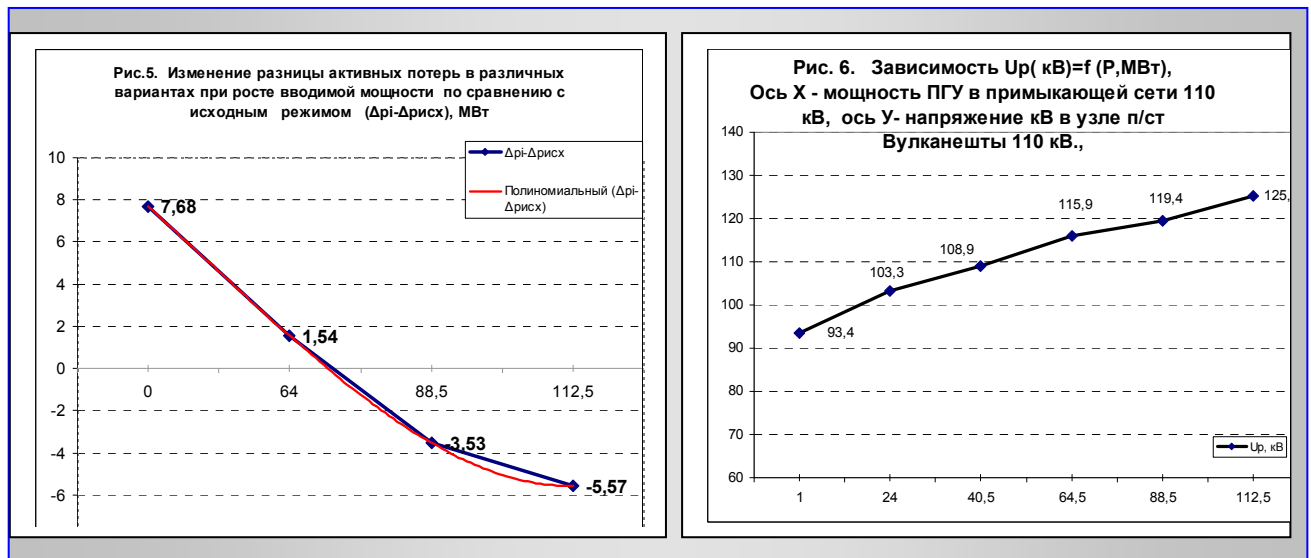


Рис. 4. Структурная схема для оценки индикатора режимной безопасности узла Вулканешты 110 кВ

На основании приведенных расчетов и анализа удалось получить обобщенные зависимости потерь напряжения и потерь мощности в системе в зависимости от величины вводимых дополнительных генерирующих мощностей ПГУ.

В качестве характерного определяющего узла выбран узел 110 кВ подстанции Вулканешты-110 кВ (узел 6035).

В результате были построены зависимости разности величин суммарных потерь в системе по сравнению с исходным режимом (рис.5) и уровня напряжения на шинах 110 кВ подстанции Вулканешты (рис.6) от величины вводимой дополнительной (распределоченной) мощности новых источников, суммарная величина которой изменялась от 24 до 112,5 МВт.



Анализ полученных зависимостей показал, что для восстановления параметров режима сети 110 кВ и уровня напряжения в узле 110 кВ подстанции Вулканешты необходимо ввести дополнительные источники суммарной электрической мощностью 88,5 МВт, в том числе:

- 24 МВт в узле 110 кВ в Тараклии;
- 40,5 в узле 110 кВ в Вулканештах Северная;
- 24 МВт в узле 110 кВ подстанции Комрат.

При проведении расчетов был рассмотрен дополнительный вариант сосредоточенного размещения всей мощности ПГУ непосредственно на шинах 110 кВ подстанции Вулканешты. (таблица 4.2.1).

Таблица 4.2.1

Дополнительные режимы при введении всей дополнительной генерирующей мощности только в узле 6035

№ п/п	Файл	Генерация в узле 6035 Вулканешты-110	Напряжение в узле 6035
1	Norm-R31	24+j14	103,3 (-15,29%)
2	Norm-R22	40,5+j24	109,6 (-10,15 %)
3	Norm-R23	64,5+j38	117,2 (-3,96 %)
4	Norm-R24	88,5+j52	123,6 (+1,28 %)

Данный вариант характеризуется большим эффектом по поддержанию уровня напряжения в заданном узле 110 кВ подстанции Вулканешты-110 кВ, о чем можно судить по данным таблиц 4.2.1 и графика, показанного на рис. 6 (зависимость U_p от мощности ПГУ).

Например, при распределоченной генерации в сумме 64,5 МВт уровень напряжения в узле 110 кВ Вулканешты составлял 115,9 кВ, а при сосредоточенной генерации 117,2 кВ.

Определенный интерес представляет анализ зависимости величины суммарных потерь мощности в энергосистеме от величины вводимой дополнительной мощности генерации на базе ПГУ. Для удобства и наглядности на рис. 5 построена зависимость разности суммарных потерь мощности в энергосистеме для рассматриваемых вариантов по отношению к базовому (исходному) режиму.

При отключении ВЛ-400 кВ МГРЭС – Вулканешты, как было показано выше, происходит значительное ухудшение режима энергосистемы, при этом потери в сетях возрастают на 7,68 МВт по сравнению с исходным режимом.

При введении дополнительной рассредоточенной генерации потери в сети снижаются и при мощности дополнительных ПГУ, равной 64,5 МВт, становятся такими же, как в исходном режиме. При дальнейшем увеличении мощности ПГУ потери мощности снижаются по сравнению с исходной их величиной.

4.3. Анализ ремонтного и аварийного режимов сети 110 кВ (при выводе в ремонт одной ВЛ-110 кВ (при n-1) и аварийном отключении второй ВЛ-110 кВ (при n-2)).

Для моделирования ремонтного и аварийного режимов в сети 110 кВ в качестве исходного варианта был выбран вариант с дополнительной рассредоточенной генерацией мощности при размещении ПГУ в узлах 110 кВ Вулканешты Северная, Тараклия и Комрат.

В ремонтном режиме предполагалась отключенной одна из нагруженных ВЛ-110 кВ, а именно, ВЛ Вулканешты-110 – Вулканешты Северная (т.е. моделировался режим при n-1). Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что в этом режиме удастся обеспечить требуемые уровни напряжения в узлах при наличии принятых генерирующих источников общей мощностью 88,5 МВт. При этом реактивная мощность ПГУ в узле Вулканешты Северная оказывается избыточной, и ее необходимо снизить до величины 5 МВАр (вместо 24 МВАр в исходном режиме), что является вполне допустимым.

Далее был рассмотрен аварийный режим, при условии нахождения в ремонте указанной выше ВЛ-110 кВ и аварийном отключении второй ВЛ-110 кВ в качестве которой была выбрана ВЛ-110 кВ Кишинев-110 кВ – Гура Галбенэ.

При незначительном регулировании реактивной мощности ПГУ удастся обеспечить требуемые параметры режима сети 110 кВ, не выходя за пределы допустимых для аварийного режима. Суммарная мощность ПГУ при этом составляла 88,5 МВт.

4.4. Анализ режимов энергосистемы для условий летнего максимума.

Летний максимум нагрузок характеризуется сниженным их значением до величины 0,7 от значений для зимнего максимума. Расчетные величины мощности генерирующих источников в энергосистеме Молдовы указаны в таблице 1.2.

Выбранные по условиям зимнего максимума дополнительные величины генерирующих источников (ПГУ) в пределах до 88,5 МВт обеспечивают необходимые параметры режимов и для условий летнего максимума.

Выводы

1. Отключение ВЛ-400 кВ «МГРЭС – Вулканешты» приводит к ухудшению режима Южной части энергосистемы Молдовы и Украины, недопустимым потерям напряжения в ряде узлов сети 110 кВ и увеличению суммарных потерь мощности в системе.

2. Восстановить параметры режимов электрических сетей 110 кВ, примыкающих к подстанции 110 кВ Вулканешты, можно за счет одного из двух мероприятий:

- Сооружения новой ВЛ-330 кВ «Кишинэу – Вулканешты» и установки двух автотрансформаторов 330/110/35 кВ на подстанции Вулканешты.

- Введения дополнительных генерирующих источников активной и реактивной мощности в Южном регионе сети 110 кВ энергосистемы суммарной установленной мощностью не менее 88 МВт, с возможным вариантным их размещением:

- В узле 110 кВ подстанции Вулканешты Северная (на уровне 24-40,5 МВт);
- В узле 110 кВ подстанции Тараклия (24 МВт);
- В узле 110 кВ подстанции Комрат (24 МВт).

В качестве рекомендуемого для практической реализации предлагается второй вариант.

Установка дополнительных генерирующих источников в узлах энергосистемы отвечает перспективе развития системы электроснабжения и покрытия баланса электрической мощности в энергосистеме, а также развития систем теплоснабжения крупных населенных пунктов, расположенных вблизи рассматриваемых электрических узлов энергосистемы, за счет утилизации тепловой энергии отработанных продуктов сгорания в ПГУ при комбинированной выработке ими электрической и тепловой энергии.

Литература

1. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / В.В. Ершевич, А.Н. Зейлигер, Г.А. Илларионов, Л.Я. Рудык, Д.Л. Файбисович, Л.Д. Хабачев, И.М. Шапиро; Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.