

ХАРАКТЕРИСТИКА НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ОДНОГО ИЗ СЦЕНАРИЕВ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ПРАВОБЕРЕЖНОЙ ЧАСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА В ENTSO-E

Зайцев Д.А., Голуб И.В., Калинин Л.П., Тыршу М.С.
Институт энергетики Академии наук Молдовы

Аннотация. Статья посвящена исследованию нормального режима Молдавской энергосистемы в контексте реализации сценария возможного присоединения к ENTSO-E без Украины и Приднестровского региона. В работе определены условия и мероприятия, позволяющие реализовать предлагаемую стратегию. На основе откорректированной базы данных и расчетной модели получен установившийся режим при совместной работе правобережной части энергосистемы Молдовы с ENTSO-E, который условно принят в качестве базового для последующих вариантных расчетов. Проведен анализ полученного режима с точки зрения потерь активной мощности как по энергосистеме в целом, так и по отдельным ее элементам с дифференциацией по классам напряжения. Выполнены расчеты и оценка коэффициентов запаса статической устойчивости по активной мощности и по напряжению, оценен импорт/экспорт электроэнергии, проанализирован ряд других показателей режима.

Ключевые слова: Энергосистема Молдовы, ENTSO-E, межсистемная связь, объединенная энергосистема, нормальный режим, потери активной мощности.

CARACTERISTICA REGIMULUI NORMAL DE FUNCȚIONARE LA REALIZARE A UNUI SCENARIU DE INTEGRARE A MALULUI DREPT AL SISTEMULUI ENERGETIC AL REPUBLICII MOLDOVA ÎN CADRUL ENTSO-E

Zaițev D., Golub I., Kalinin L., Tîrșu M.
Institutul de Energetică al AȘM

Rezumat: Articolul este dedicat cercetării regimului normal de funcționare a sistemului electroenergetic al Moldovei în contextul realizării scenariului aderării posibile la ENTSO-E UE cu excluderea Ucrainei și regiunii Transnistriei. În lucrare s-au determinat condițiile și măsurile ce prevăd realizarea strategiei propuse. În baza de date corectate și a modelului de calcul a fost obținut regimul stabil de funcționare comună a sistemului energetic din dreapta Nistrului cu ENTSO-E, care este acceptat convențional drept bază pentru variantele de calcul ulterioare. A fost efectuată analiza regimului obținut referitor la pierderile de putere activă cât pentru sistemul energetic în întregime, atât pentru elementele lui separate cu diferențiere după clasa de tensiune. S-au făcut calculele și estimarea coeficienților de siguranță a stabilității statice pentru puterea activă și tensiune, a fost estimat importul/exportul de energie electrică, s-a analizat un șir de alți indicatori ai regimului.

Cuvinte-cheie: Sistemul energetic al Moldovei, ENTSO-E, interconexiune de sisteme, sistem energetic unificat, regim normal de funcționare, pierderi de putere activă.

CHARACTERISTIC OF STEADY-STATE REGIME FOR ONE OF SCENARIOS OF MOLDOVA RIGHT BANK POWER SYSTEM INTEGRATION TO ENTSO-E

Zaitsev D., Golub I., Kalinin L., Tirshu M.
Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova

Abstract. The article deals with the integration scenario of Moldavian power system to ENTSO-E. Various options of the development of power generation on the territory of the Republic of Moldova have been proposed and analyzed in order to correspond with Energy Strategy of the Republic of Moldova until 2030. Analysis of steady-state operation has been performed regarding active power losses for entire power system, and also for the each element with differentiation on voltage levels. The computation and estimation of static stability factor for active power and for voltage were performed. Import/export of energy was estimated, and other indices of regime of energy system were analyzed as well. Technically effective variants were selected as a result of comparative analysis.

Keywords: Power system of the Republic of Moldova, ENTSO-E, interconnection, power system, normal regime, active power losses.

Введение

Анализу вопросов объединения и параллельной работы энергосистем в рамках ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators For Electricity) придается серьезное значение [1-4]. Одной из областей научных интересов авторов работы является разработка и анализ вариантов развития энергосистемы Республики Молдова в рамках интегрирования в ENTSO-E [5-7].

При построении расчетной модели, предусматривающей интегрирование правобережной части энергосистемы Республики Молдова в ENTSO-E за основу был принят режим зимнего максимума, на 2015-2020 год, полученный в результате выполнения проекта развития системы электропередач в регионе черноморского бассейна (Black Sea Transmission Project). Модель, выполненная в формате PSS/E, была конвертирована и адаптирована для работы в среде RastrWin, применяемой в ИЭ АНМ для решения подобного рода задач.

В процессе работы были учтены положения Энергетической стратегии Республики Молдова до 2030 года [8].

Условия построения режима

Расчетная модель получена на основе перспективного режима зимнего максимума 2015-2020 годов, путем проведения следующих мероприятий:

- Отключение ВЛ330 кВ Бельцы - Днестровская ГЭС;
- Отключение двухцепной ВЛ330кВ отп. ХБК - МГРЭС;
- Сооружение отпайки 400 кВ от ВЛ МГРЭС - Вулканешты в районе Штефан - Водэ до ПС отп. ХБК 330 кВ с сооружением ПС400/330 кВ;
- Включение ВЛ400 кВ Бельцы - Сучава (без ее включения установившийся режим в рамках рассматриваемого сценария получить не удастся);
- Отключение участков ВЛ110 кВ: Кузьминки - Вертюжаны, Каменка - Радулени-Флорешты (на участке Каменка - Радулени), Рыбница - ТКС - Шолданешты (на участке Быбница - ТКС), Рыбница - Резина, ДГЭС - Оргеев (на участке ДГЭС - Маркауцы), Дубоссары - В.Воды (на участке Дубоссары - Криуляны), Дубоссары - КТЭЦ2 (на участке Дубоссары - Криуляны);
- Питание ПС Варница по ВЛ Варница-Н.Анены (с отключением участков Варница-Борисовка, Варница - Н.Владимировка, Варница-Береговая);
- Питание ПС Лесная по построенной ВЛ110 кВ Н.Анены-Шерпены - Лесная 17,478 км с проводом АС-150 (с отключением участков Дубоссары - Лесная и Григориополь - Лесная с переводом их на ОСШ ПС Лесная);
- Отключение ВЛ Бендеры Южная - Урсоая (с сооружением перемычки длиной 31,535 км между ВЛ Н.Анены - Калфа и Каушаны - Урсоая);
- Отключение ВЛ МГРЭС - Чобручи (обе цепи), (с переносом нагрузки ПС Чобручи на ПС Рэскэций Ной, подразумевая, что питание будет осуществляться по низкой стороне с колец 10 кВ);
- Отключение ВЛ МГРЭС-Пуркары и Незавертайловка - Пуркары, (с запиткой ПС Пуркары с Олонешть, предварительно объединив секции шин на ПС Олонешты и на ПС Пуркары);

- Отключение ВЛ Рыбница - Цементный завод (с объединением обеих секций ПС Цемзавод и подачей питания с ПС ГКС);
- Отключение межсистемных ВЛ110 кВ между правобережной Молдовой и Украиной (Окница - Шахты, Немия - Атаки, Сороки - Пороги, Нелиповцы - Ларга, Днестровская ГЭС - БСЗ, Вулканешты – Болград - 1, Вулканешты - Болград 2).

Попытки построить расчетную модель без ввода ВЛ400 кВ Бельцы - Сучава были неудачными из-за недопустимого снижения уровня напряжения в узлах северной части республиканской энергосистемы и, как следствие, невозможности получения установившегося режима. Полученная таким образом расчетная модель и режим приняты в качестве исходных при реализации подключения Молдовы к ENTSO-E без Украины и Приднестровского региона. Параметры вводимых в расчетную модель ЛЭП приведены в Табл. 1.

Таблица 1. Параметры, вводимых в расчетную модель ЛЭП

Наименование	L (км)	r_0 (Ом/км)	x_0 (Ом/км)	b_0 (мкСим/км)	R (Ом)	X (Ом)	B (мкСим)	Марка провода
Н.Анены-отп. Каушаны	0,83	0,27	0,428	-2,64	0,224	0,4	-2,2	АС-120
отп. Каушаны - Калфа	13,02	0,27	0,428	-2,64	3,516	5,6	-34,5	АС-120
отп. Н.Анены - Каушаны	1,44	0,17	0,41	-2,75	0,24	0,6	-3,96	АС-185
Урсоая - отп. Н.Анены	9,03	0,21	0,42	-2,68	1,89	3,8	-24,2	АС-150
отп. Н.Анены - отп. Каушаны	31,53	0,17	0,41	-2,75	5,36	12,9	-86,7	АС-185
Шерпены - Лесная	17,478	0,21	0,42	-2,68	3,67	7,3	-46,8	АС-150
Кишинев - отп. Шт. - Водэ1	67,35	0,056	0,366	-3,4	3,83	24,7	-228,6	АСО- 300
Кишинев - отп.Шт. – Водэ 2	65,93	0,035	0,371	-3,6	2,6	24,5	-237,9	АСО- 500
Бельцы 400 – Сучава 400	128	0,032	0,307	-3,2	4.1	39.4	-412.2	АС-300
ХБК 400 - Шт. – Водэ 400	37,3	0,031	0,305	-3,2	1,19	11,4	-120,1	АС-300

Созданная, таким образом, расчетная модель соответствует одному из возможных вариантов развития системообразующей сети, топология которого приведена на Рис. 1

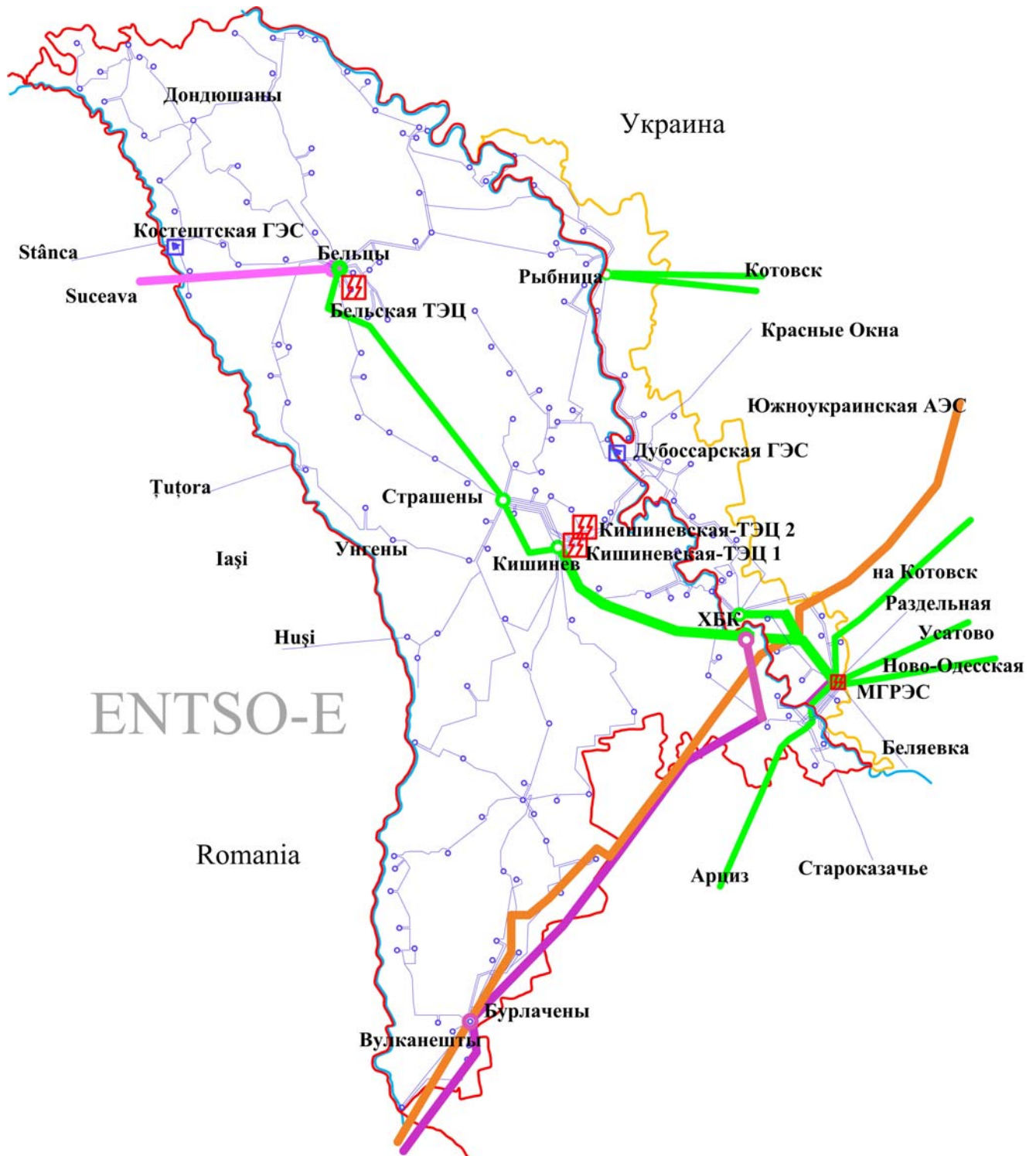


Рис. 1 Схема системообразующей сети Молдавской энергосистемы

Характеристика режима

Установившийся режим, при реализации описанной выше стратегии, получен на основе перспективного режима зимнего максимума 2015-2020 года, который был принят как исходный. При исследовании учитывались показатели режима смежных энергосистем Украины, Приднестровья и Румынии, а также остальной сети.

Основными анализируемыми характеристиками режима являлись: потокораспределение в транспортной сети, уровень потерь активной мощности в элементах сети, мощность активной и реактивной генерации и нагрузки в узлах, уровень напряжения в узлах, показатели статической устойчивости и т.д.

Основные параметры, характеризующие потокораспределение, а также топология расчетного варианта, вынесены на графическую схему (рис. 2).

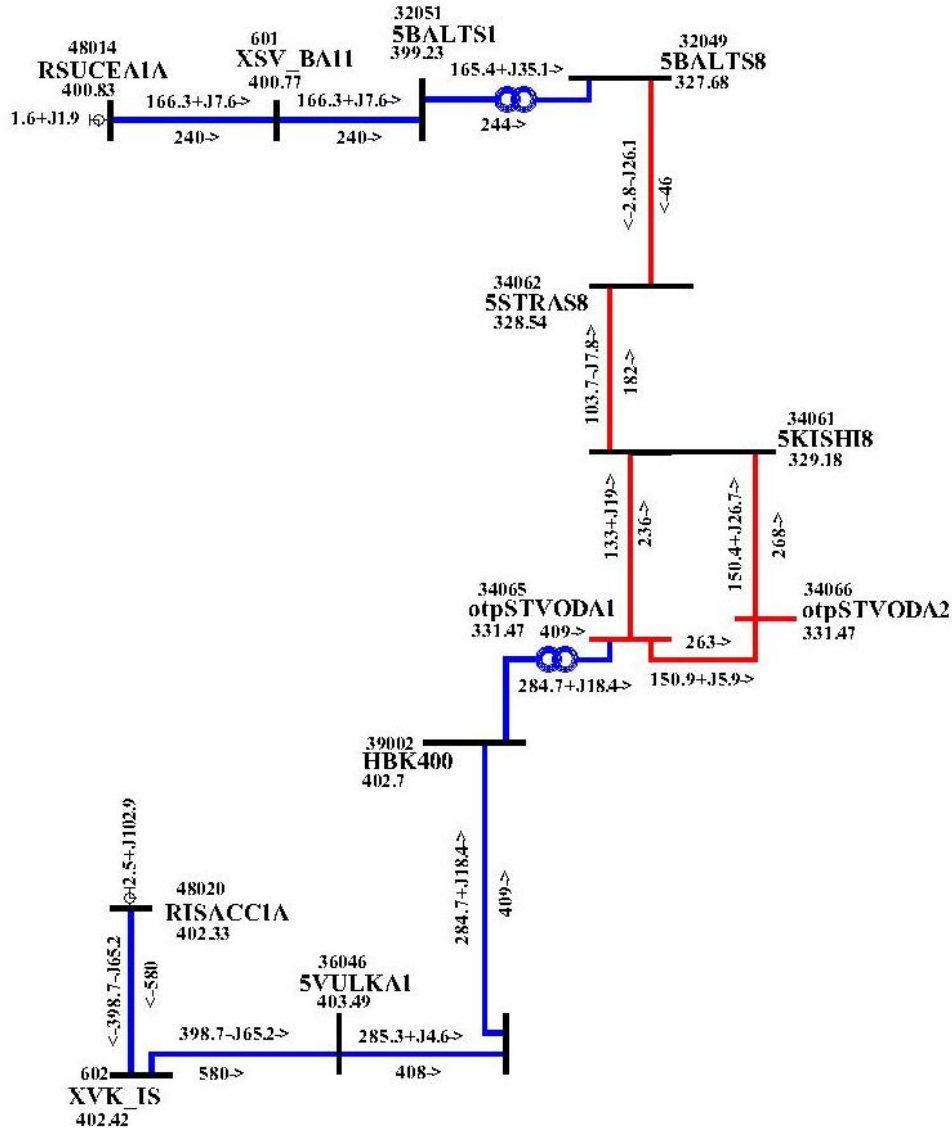


Рис.2. Основные параметры, характеризующие нормальный режим.

Основные характеристики режима по странам приведены в таблице 2.

Таблица 2. Основные параметры режима

Район	Остальная сеть	Молдова	Румыния	Украина	Днестрэнерго	ОЭС
N района	1	3	4	7	5	
Pген(МВт)	78402	246,4	10266,8	32461,6	880,4	122257,2
Qген(МВар)	33169,3	181,2	2287,6	12801,8	198,7	48638,6
Pнаг(МВт)	77768,9	788,6	9416,5	30468,6	362,1	118804,7
Qнаг(МВар)	32591,1	328,2	3449,2	10032,6	105,8	46507
ΔP(МВт)	2183,2	23,5	280,1	949,8	15,9	3452,5
ΔQ(МВар)	-1177,1	-262,1	-874,5	4470,2	-24,8	2131,7
Pпотр(МВт)	79952,1	812,1	9696,6	31418,4	378	122257,2

PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE 2(22) 2013
ELECTROENERGETICĂ

P_{вн}(МВт)	-1550	-565,7	570,2	1043,2	502,4	0
ΔP(%)	2,73	2,89	2,89	3,02	4,21	2,82

Из анализа представленной информации видно, что потери активной мощности в энергосистеме Молдовы составляют 23,59 МВт или 2,89%, а в энергосистеме Румынии – 280,1 МВт, т.е. практически не изменяется (280,8 МВт) по сравнению с режимом при синхронной работе Молдавской энергосистемы с Украиной [5]. Режим по напряжениям удовлетворителен.

Значения взаимного обмена активной мощностью для Молдовы, Приднестровья, Украины и Румынии в анализируемом варианте представлены в таблице 3.

Таблица 3. Значения взаимного обмена активной мощностью

№ района	Название	P_s (МВт)
1	Остальная сеть	78402,0
4	Румыния	4,5
7	Украина	1545,5
3	Молдова	0,0
3	Молдова	246,4
7	Украина	0,0
1	Остальная сеть	0,0
5	Днестрэнерго	0,0
4	Румыния	565,7
4	Румыния	10266,8
1	Остальная сеть	-4,5
3	Молдова	-565,7
7	Украина	32461,6
1	Остальная сеть	-1545,5
3	Молдова	0,0
5	Днестрэнерго	502,4
5	Днестрэнерго	880,4
7	Украина	-502,4
3	Молдова	0,0

Анализируя данные, представленные в таблице 3, можно оценить энергообмен между странами при проведении вариантных расчетов в дальнейшем. Так видно, что поскольку правобережная часть Молдавской энергосистемы работает параллельно с ENTSO-E, энергообмен с Украиной и Приднестровьем равен нулю, а с Румынской энергосистемой равняется 565,7 МВт, что соответствует суммарному перетоку по связям 400кВ Бельцы-Сучава и Вулканешты-Исакча. Таким образом, энергоснабжение Молдовы практически осуществляется по двум ВЛ400 кВ.

Показатели, характеризующие запас статической устойчивости энергосистемы по активной мощности и по напряжению рассчитывались по известной методике, [9] и представлены для рассматриваемого нормального, установившегося режима в таблице 4 и 5 соответственно, где:

P (МВт) - переток в сечении в рассматриваемом режиме, $P > 0$;

$P_{\text{ПР}}$ (МВт) - предельный по апериодической статической устойчивости переток активной мощности в рассматриваемом сечении;

K (о.е.) - принимается равным 1,5 при ручном регулировании и 0,75 при автоматическом регулировании (ограничении) перетока мощности в сечении;

P_{H1}, P_{H2} (МВт) - суммарные мощности нагрузки с каждой из сторон рассматриваемого сечения;

$\Delta P_{\text{НК}}$ (МВт) - амплитуда нерегулярных колебаний активной мощности в этом сечении (принимается, что под действием нерегулярных колебаний переток изменяется в диапазоне $P \pm \Delta P_{\text{НК}}$);

K_p (о.е.) - Коэффициент запаса статической (апериодической) устойчивости по активной мощности;

№ узла - номер узла в расчетной модели, в котором контролировался уровень напряжения;

$U_{\text{НОРМ}}$ (кВ) - напряжение в контролируемом узле в нормальном режиме;

$U_{\text{КР1}}$ (кВ) - критическое напряжение в том же узле, соответствующее границе статической устойчивости по активной мощности;

$U_{\text{КР2}}$ (кВ) - критическое напряжение в том же узле, соответствующее границе статической устойчивости электродвигателей;

K_{U1} (о.е.) - коэффициент запаса по напряжению, рассчитанный для $U_{\text{КР1}}$;

K_{U2} (о.е.) - коэффициент запаса по напряжению, рассчитанный для $U_{\text{КР2}}$.

Таблица 4. Показатели запаса статической устойчивости по активной мощности

P (МВт)	$P_{\text{ПР}}$ (МВт)	K (о.е.)	P_{H1} (МВт)	P_{H2} (МВт)	$\Delta P_{\text{НК}}$ (МВт)	K_p (о.е.)
565,0	970,0	0,75	788,6	118016,0	20,99	0,396

Таблица 5. Показатели запаса статической устойчивости по напряжению

№ узла	$U_{\text{НОРМ}}$ (кВ)	$U_{\text{КР1}}$ (кВ)	$U_{\text{КР2}}$ (кВ)	K_{U1} (о.е.)	K_{U2} (о.е.)
32029	100,45	75,36	77,00	0,250	0,233

Анализируя коэффициенты запаса по активной мощности (0,396) и по напряжению (0,233) можно констатировать, что они находятся в допустимых пределах (норматив 0,2 и 0,15 соответственно).

Характеристика сечения в расчетной модели представлена в таблице 6 для нормального и предельного режимов.

Таблица 6. Характеристика сечения в расчетной модели

Название узлов в сечении	Nнач	Nкон	Рсеч (МВт)	Рсеч.пр (МВт)
			РI (МВт)	РI.пр (МВт)
	0	0	565,0	970
XSV_BA11-5BALTS1	601	32051	166,3	334
XVK_IS-5VULKA1	602	36046	398,7	636

Информация, позволяющая сделать анализ активных потерь во всех элементах схемы, по каждому классу напряжения для рассматриваемого варианта представлена в таблице 7.

Таблица 7. Потери мощности в элементах сети по классам напряжения

Уном	ΔP (МВт)	$\Delta P_{нагр}$ (МВт)	$\Delta P_{лэп}$ (МВт)	$\Delta P_{гр}$ (МВт)	$\Delta P_{хх}$ (МВт)
Молдова	23,37	21,38	26,75	1,87	1,99
6 кВ		0,07		0,07	
10 кВ		0,42		0,42	
35 кВ		0,37		0,37	
110 кВ		13,71	13,67	0,04	0,41
330 кВ		1,93	1,34	0,59	1,05
400 кВ		4,88	4,49	0,38	0,53

Как видно из таблицы 7, основные нагрузочные активные потери сконцентрированы в сетях 110 кВ и 400 кВ.

Описанная в данной работе расчетная модель может быть принята за базовую при дальнейшем анализе вариантов развития республиканской энергосистемы в рамках рассматриваемой стратегии.

Выводы

1. Анализ установившегося режима показал, что при реализации рассматриваемого сценария присоединения к ENTSO-E обеспечивается более низкий уровень потерь активной мощности в энергосистеме Молдовы, чем в других стратегиях присоединения.

2. Режим обеспечивает приемлемый уровень напряжения во всех узлах сети.

3. С целью повышения энергобезопасности Молдовы и надежности электроснабжения потребителей, а также оптимизации потерь электроэнергии, по мнению авторов, необходимо в соответствии с положениями Энергетической Стратегии Молдовы до 2030 года рассмотреть сооружение ВЛ400 кВ Страшены – Унгены - Яссы, а также развитие собственных генерирующих источников.

Литература

- [1] Hager U., Rehtanz, C., Voropai, N., ICOEUR project results on improving observability and flexibility of large scale transmission systems Power and Energy Society General Meeting, 2012 IEEE Page(s): 1 – 8.
- [2] Tor O.B., Gencoglu C., Yilmaz O., Cebeci E., Guven A.N., Damping measures against prospective oscillations between Turkish grid and ENTSO-E System. Power System Technology (POWERCON), 2010 International Conference on 2010, Page(s): 1 – 7.
- [3] Arestova A., Hager, U., Grobovoy, A., Rehtanz C., SuperSmart grid for improving system stability at the example of a possible interconnection of ENTSO-E and IPS/UPS. PowerTech, 2011 IEEE Trondheim 2011, Page(s): 1 – 8.
- [4] Gençoğlu C., Tor, O.B., Güven N., Damping measures against low frequency inter area oscillations and solutions for Turkey ENTSO-E CESA interconnection. Electrical, Electronics and Computer Engineering (ELECO), 2010 National Conference on 2010, Page(s): 153 – 157.

- [5] Л.Калинин, Д.Зайцев, М.Тыршу, И.Голуб, Варианты развития транспортной сети Молдовы при параллельной работе с энергосистемой Украины, Problemele energeticii regionale. nr.1(18)/2012. http://ieasm.webart.md/data/m71_2_186.doc
- [6] Zaitev D., Golub I., Tirsu M., Calinin L. Comparative analysis of the options for the development of power system networks in the frame of scenarios which including joint of Moldova (only right bank) to ENTSO-E., INTERNATIONAL CONFERENCE "SIELMEN- 2013, Chisinau, Republic of Moldova
- [7] Л.Калинин, Д.Зайцев, М.Тыршу, И.Голуб, Влияние межсистемных связей 110кВ на уровень потерь активной мощности в энергосистеме Молдовы, Problemele energeticii regionale. nr.2(19)/2012. http://ieasm.webart.md/data/m71_2_202.doc
- [8] Энергетическая Стратегия Республики Молдова до 2030 года. (МОН№27-30, st.№146, 08.02-2013).
- [9] www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/regulations/Metod_uk_ust.pdf

Сведения об авторах:



Зайцев Дмитрий Александрович 10.04.1963. Окончил Кишиневский Политехнический Институт (Молдова) в 1985 году, Защитил диссертацию на степень кандидата технических наук в 2000 году в Институте Энергетики АН РМ. Научные интересы лежат в области исследования режимов энергосистем, содержащих гибкие межсистемные связи.



Голуб Ирина Владимировна окончила Кишиневский политехнический институт в 1989 году. Область научных интересов связана с исследованиями режимов энергосистем, управляемых линий электропередачи переменного тока повышенной пропускной способности.



Калинин Лев Павлович 31.07.1934. Окончил Одесский Политехнический Институт (Украина) в 1963 году. В 1982 году защитил диссертацию на степень кандидата технических наук в НЭТИ г. Новосибирск (Россия). Область научных интересов связана с применением FACTS контроллеров в энергосистемах.



Тыршу Михаил Степанович 27.02.1972. Окончил Технический университет Молдовы в 1994 году. По специальности «Автоматизация и управление техническими системами». В 2003 году защитил диссертацию на степень кандидата технических наук. Основные исследования проводит в области управления транспортными сетями, диагностики высоковольтного оборудования, силовой электроники и др.