

## **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС И МОДЕЛИРОВАНИЕ УГРОЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОЛДОВЫ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ МЕЖСИСТЕМНЫХ СВЯЗЕЙ**

**Быкова Е.В.**

**Институт энергетики АНМ**

**Аннотация.** В работе выполнено моделирование группы сценариев реализации угроз энергетической безопасности для Молдавской энергетической системы, которые возникают при отключении (или ограничении перетоков электроэнергии) ВЛ 330 кВ Бельцы - Днестровская ГЭС. Для выполнения анализа использован вычислительный комплекс для мониторинга энергетической безопасности, который разработан в ИЭ АНМ.

**Ключевые слова:** энергетическая безопасность, угрозы, сценарии, моделирование.

## **SISTEMUL DE CALCUL ȘI MODELAREA PERICOLELOR DE SECURITATE ENERGETICĂ A MOLDOVEI ÎN CAZUL DEBRANȘĂRII CONEXIUNILOR INTERSISTEMICE**

**Bicova E.V.**

**Institutul de Energetică al AȘM**

**Rezumat.** În lucrare este efectuată modelarea unui grup de scenarii de punere în aplicare a pericolelor securității energetice ale Republicii Moldova, care apar la debranșarea (sau limitarea fluxurilor energiei electrice) liniilor aeriene 330 kV Bălți-Nistru CHH. Pentru implementarea analizei este utilizat complexul de calcul pentru monitorizarea securității energetice elaborat în AȘM.

**Cuvinte-cheie:** securitatea energetică, scenariu, modelare, pericol de debranșare.

## **COMPUTER SYSTEM AND MODELLING OF THREATS TO ENERGY SECURITY OF MOLDOVA IN CASE OF INTERSYSTEM COMMUNICATION DISCONNECTION**

**Bykova E.V.**

**Institute of Power Engineering of the ASM**

**Abstract.** In the paper modeling of a group of scenarios of threats to energetic security of Moldovan energy system, which occur in case of disconnecting (or limitation of cross-flows of electricity) of 330 kV transmission line Balti-Dniester HPS. It was used for analysis a software application for energy security monitoring. The application has been developed in IE ASM.

**Key words:** energy security, threat, scenario, modeling.

### **Введение**

Для управления процессами в энергетике и обеспечения энергетической безопасности страны необходим мониторинг состояния энергетической безопасности с определенной периодичностью, например, ежегодно. В настоящее время в ИЭ АНМ разработан вычислительный комплекс, который объединяет накопление и систематизацию данных, определение уровня энергетической безопасности страны и тенденций ее изменения на перспективу [1-2].

Целью настоящей статьи является описание структуры вычислительного комплекса и иллюстрация его применения для моделирования угроз энергетической безопасности при отключении межсистемной ВЛ-330 кВ.

### **Вычислительный комплекс для мониторинга и анализа индикаторов энергетической безопасности**

Вычислительный комплекс для расчета и анализа, позволяющий выполнять оценку состояния энергетической безопасности по секторам энергетики, разработан для общей системы индикаторов (более 40) и имеет дополнительные связи с системами

индикаторов экономической и экологической безопасности. В его структуру входят информационный, расчетный, аналитический модули, реализованные в программе EXCEL. Модульное построение позволяет нарастить комплекс дополнительными Приложениями по мере необходимости (рис.1 и 2).

*Информационный* модуль предназначен для сбора, хранения и систематизации показателей энергосистемы и всего ТЭК, а также некоторых показателей экономики, которые далее используются для расчета индикаторов (база данных EXCEL). В качестве индикаторов используются как сами первичные показатели, так и синтетические, рассчитанные на основе первичных.. Хранение и сортировка данных удобна также в программе ACCESS, работа над созданием которой в настоящее время также проводится и которую удобно использовать для выполнения различных обзоров, анализа состояния ТЭК и других запросов. Данные в ней сохраняются в виде ТАБЛИЦ, имеющих связи между собой. Это позволяет формировать ЗАПРОСЫ на выборку необходимой информации и получать ее в виде ФОРМ, ОТЧЕТОВ (в терминах ACCESS).

Таким образом, база данных ACCESS по энергетике представляет собой библиотеку показателей ТЭК и некоторых экономических данных, которые связаны с энергетикой. В обе базы данных (ACCESS и EXCEL) внесены одни и те же показатели энергетике.

На текущий момент в базу входит большое количество таблиц (более 150), которые содержат данные по каждому блоку системы энергетической безопасности (всего 10 блоков) и каждой сфере системы индикаторов экономической безопасности (всего 12 сфер). Построена Главная кнопочная форма для некоторых экономических сфер, которая позволяет осуществлять более оперативный переход к соответствующим таблицам.

Разработанная база данных является Приложением вычислительного комплекса для анализа и мониторинга индикаторов энергетической безопасности.

*Расчетный* модуль предназначен для расчета текущих фактических, пороговых значений индикаторов и балльной оценки состояния, которая позволяет определить степень кризисности индикатора по принятой шкале и итоговую оценку состояния энергетической безопасности.

*Аналитический* модуль объединяет все применяемые методы для проведения анализа динамики состояния, ее описания с использованием статистического и других видов анализа, которые необходимы в данном исследовании. Также имеются Приложение «Прогноз» и Приложение «Сценарии» для выполнения моделирования рисков(угроз) энергетической безопасности и прогнозирования значений индикаторов.

Работа по пополнению данных проводится ежегодно для осуществления мониторинга состояния энергетической безопасности в прошедший год и корректировки необходимых мероприятий по обеспечению энергетической безопасности.

Из определения энергетической безопасности [3]:

«Энергетическая безопасность – это состояние защищенности страны (региона), ее граждан, общества, государства и экономики от угрозы дефицита в обеспечении потребностей в энергии экономически доступными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР) приемлемого качества в нормальных условиях и в чрезвычайных обстоятельствах, а также от угрозы нарушения стабильности топливо- и энергоснабжения», следует, что приоритетными являются следующие факторы:

1. обеспечение ТЭР согласно потребности в нормальной ситуации;
2. экономическая доступность ТЭР;
3. качество ТЭР;

4. бесперебойность поставок ТЭР.

При анализе целесообразно использовать понятия «нормальная» ситуация, «чрезвычайная» ситуация, ситуация «с ограничениями энергоснабжения», [4].

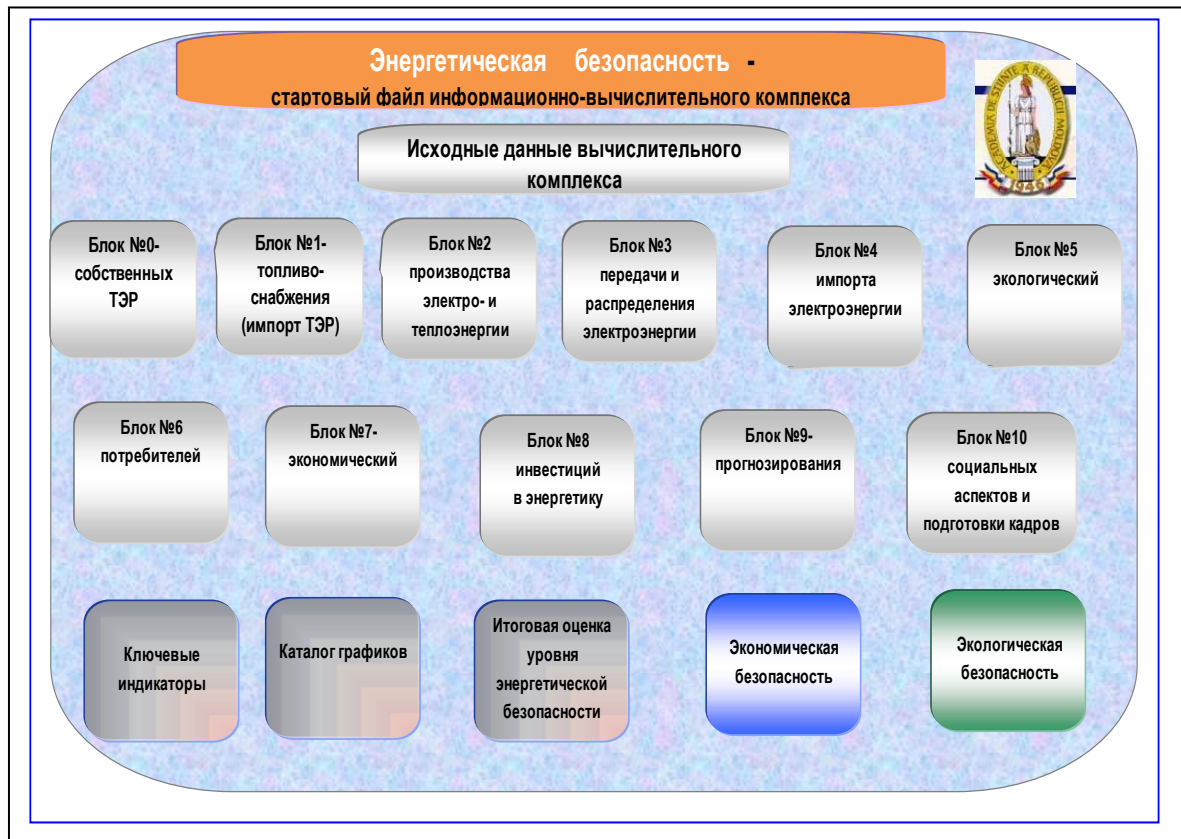
Под *нормальной* понимается ситуация, при которой потребление энергии в стране находится на уровне многолетнего среднего без недоотпуска потребителям, за исключением случаев аварий.

Под *чрезвычайной* понимается ситуация, при которой потребление энергии в стране внезапно ограничено вследствие стихийного бедствия или аварии и может быть восстановлено до нормального уровня в течение достаточно короткого времени (день, несколько дней).

Под ситуацией *с ограничением энергоснабжения* понимается ситуация, в которой принудительно и на продолжительный период ограничивается потребление электроэнергии или топлива на определенную величину, отличающуюся от уровня многолетнего среднего. При этом имеет место недоотпуск электроэнергии (топлива) потребителям, которые вынужденно не имеют возможности сохранить тот уровень жизни, который у них был при *нормальной* ситуации с энергообеспечением.



Рис. 1. Структура вычислительного комплекса для анализа безопасности



**Рис.2.** Стартовая страница вычислительного комплекса

Ситуацию с *нормальным* среднесрочным энергообеспечением можно оценить через коэффициент  $k=1$ ; ситуация *чрезвычайного* характера оценивается по шкале, все пороги которой составляют 30% от порогов нормальной ситуации, [1], что определяет  $k=0,3$ ; ситуация с *ограничением* энергообеспечения может быть описана интервалом (0,3-1) и  $k=0,9; 0,8; 0,7 \dots 0,3$ .

Энергообеспечение потребителей можно разделить на 3 составляющие: топливообеспечение (импортированное топливо) и электрообеспечение (выработка на собственных источниках за счет импортированного топлива плюс импорт электроэнергии из соседней энергосистемы), теплообеспечение. Обеспеченность каждым видом энергии учитывается через коэффициенты  $k_T$  и  $k_{ЭЭ}$ ,  $k_{ТЭ}$ , которые позволяют учесть приоритетные факторы, вытекающие из определения энергетической безопасности. Каждый из данных коэффициентов может быть ограничен по отдельности. Их общее влияние является произведением  $k = k_T * k_{ЭЭ} * k_{ТЭ}$ .

### **Применение вычислительного комплекса для моделирования угроз энергетической безопасности**

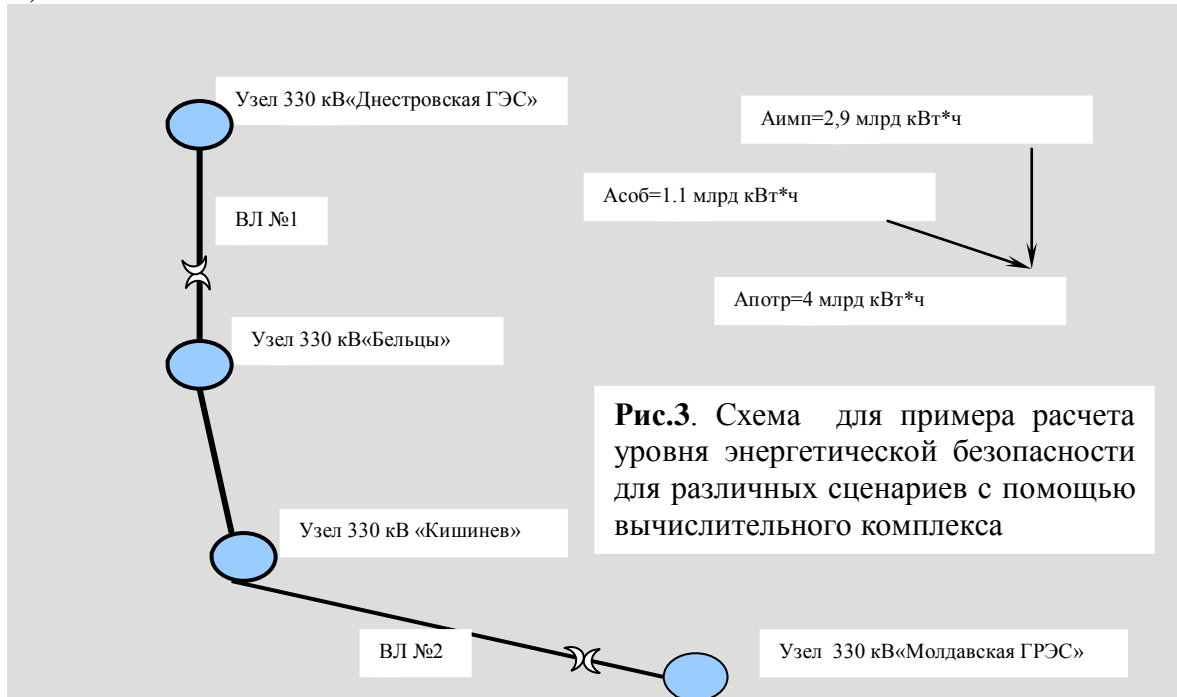
*Постановка задачи.* Определить, насколько изменится общая итоговая оценка состояния энергетической безопасности страны, если будет отключена межсистемная связь (мсс) по ВЛ-330 кВ Кишинев-Бельцы- Днестровская ГЭС (ВЛ №1), по которой осуществляется импорт электроэнергии в Молдову в объеме  $A_{имп}=2,9$  млрд. кВт\*ч, при отключенной двухцепной ВЛ№2 Кишинев-Молдавская ГРЭС.

*Дополнительные условия* - в качестве исходных данных принят электробаланс 2007 года.

*Электроэнергия.* Выработка электроэнергии на собственных источниках –  $A_{соб}=1,1$  млрд. кВт\*ч. Максимально возможная выработка электроэнергии на

собственных источников Правобережья оценивается на уровне  $A$  соб макс=2 млрд. кВт\*ч. Потребление электроэнергии –  $A_{потр}=4$  млрд. кВт\*ч.

*Пропускные способности ЛЭП.* Пропускная способность отключенной ВЛ №1  $P_{ВЛ\ №1}=360$  МВт, пропускная способность сечения с учетом других межсистемных ЛЭП-  $P_{мсс}=1430$  МВт. Воздушная линия 330 кВ Кишинев - Молдавская ГРЭС (ВЛ №2)- отключена, то есть имеет место автономная работа энергосистемы Правобережья (рис.3).



**Рис.3.** Схема для примера расчета уровня энергетической безопасности для различных сценариев с помощью вычислительного комплекса

Топливо: Суммарное потребление топлива (2007 г) в стране составило 2942 тыс. тут, в том числе природного газа- 1526 тыс. тут или 1323 млн. куб. м. На производство электроэнергии и теплоэнергии затрачено 715 тыс. тут природного газа или 620 млн. куб. м ( по данным ТЭБ).

Отдельно для производства электроэнергии затрачено 310 тыс. тут топлива, из них 310 тыс. тут составил природный газ (269 млн. куб. м)

Потребление собственных ТЭР (древесины) для производства теплоэнергии составило 8 тыс. тут.

Далее рассмотрены сценарии по условию поставленной задачи. Коэффициенты ограничения по топливу и теплоснабжению равны 1, так как рассматриваются ограничения только по электроэнергии.

#### Сценарий А (исходный- текущая ситуация для 2007 г)

По ВЛ №1 осуществляется импорт электроэнергии в объеме  $A_{имп}=2,9$  млрд. кВт\*ч. Собственное производство  $A_{соб}=1,1$  млрд. кВт\*ч. Потребление электроэнергии  $A_{потр}=4$  млрд. кВт\*ч. ВЛ №2- отключена. Ограничений по электропотреблению нет-  $k_{ээ}=1$ .

Имеет место ситуация с *нормальным* энергообеспечением  $k=1$ .

#### Сценарий В

ВЛ №1 – отключена, импорт электроэнергии прекращен ( $A_{имп}=0$  млрд. кВт\*ч). Собственное производство электроэнергии  $A_{соб}=1,1$  млрд. кВт\*ч. Потребление электроэнергии уменьшается до текущих объемов ее производства на собственных источниках  $A_{потр}=1,1$  млрд. кВт\*ч (в исходном варианте 4 млрд. кВт\*ч) и составляет 0,275 от потребности, т.е.  $\kappa_{э.э.}=0,275$ . ВЛ №2- отключена. Имеет место ситуация с ограничением энергообеспечения  $\kappa=0,275$ .

#### Сценарий С

ВЛ №1 – отключена, импорт электроэнергии прекращен  $A_{имп}=0$  млрд. кВт\*ч. Собственное производство увеличено до максимально возможного  $A_{соб}=2$  млрд. кВт\*ч. Потребление электроэнергии увеличивается до объемов ее производства на собственных источниках  $A_{потр}=2$  млрд. кВт\*ч, что все равно ниже потребности в 2 раза, т.е.  $\kappa_{э.э.}=0,5$ . ВЛ №2- отключена.

Имеет место ситуация с ограничением энергообеспечения  $\kappa=0,5$ .

#### Сценарии D1- D5

В вариантах D1- D4 ВЛ №1 включена, но имеются ограничения по потреблению электроэнергии по сравнению с исходным вариантом на 10, 20, 30, 40%, т.е.  $A_{потр}=3,6; 3,2; 2,8; 2,4$  млрд. кВт\*ч. Коэффициент ограничения по электропотреблению  $\kappa_{э.э.}=0,9; 0,8; 0,7; 0,6$ .

Собственное максимально возможное производство электроэнергии -  $A_{соб}=2$  млрд. кВт\*ч.

Величина необходимых объемов импортируемой электроэнергии для удовлетворения баланса составит  $A_{имп}=1,6; 1,2; 0,8; 0,4$  млрд. кВт\*ч.

ВЛ №1 включена и по ней осуществляется импорт, ВЛ №2-отключена.

Имеет место ситуация с ограничением энергообеспечения  $\kappa=0,9; 0,8; 0,7; 0,6$ .

В варианте D5 ВЛ №1 включена, но по ней осуществляется только переток в Одесскую энергосистему, без передачи потоков электроэнергии для обеспечения электробаланса в Молдове, т.е.  $A_{имп}=0$  млрд. кВт\*ч. В отличие от случая отключения данной ВЛ (сценарий С), в этом сценарии в исходных данных не уменьшается пропускная способность сечения.

Имеет место ситуация с ограничением энергообеспечения  $\kappa=0,5$ .

#### Сценарий Е

ВЛ №1- отключена, но ВЛ №2- включена. В этом случае не возникает сложной ситуации по удовлетворению спроса на электроэнергию, так как имеются достаточные установленные мощности на МГРЭС для покрытия нагрузки на Правом берегу. Режим такой работы не приведет к ухудшению энергетической безопасности Правобережья при наличии договоров о поставке электроэнергии. Имеет место ситуация с нормальным энергообеспечением  $\kappa=1$ .

#### Сценарий К

ВЛ №1- включена и ВЛ №2- включена, имеются возможности поставок электроэнергии и с Украины и от МГРЭС. В этом случае Молдавская энергосистема работает в проектном варианте, с наилучшими режимными показателями, и ограничений по покрытию баланса не возникает. Имеет место ситуация с нормальным энергообеспечением  $\kappa=1$ .

Описанные сценарии и исходные данные систематизированы в таблице 1.

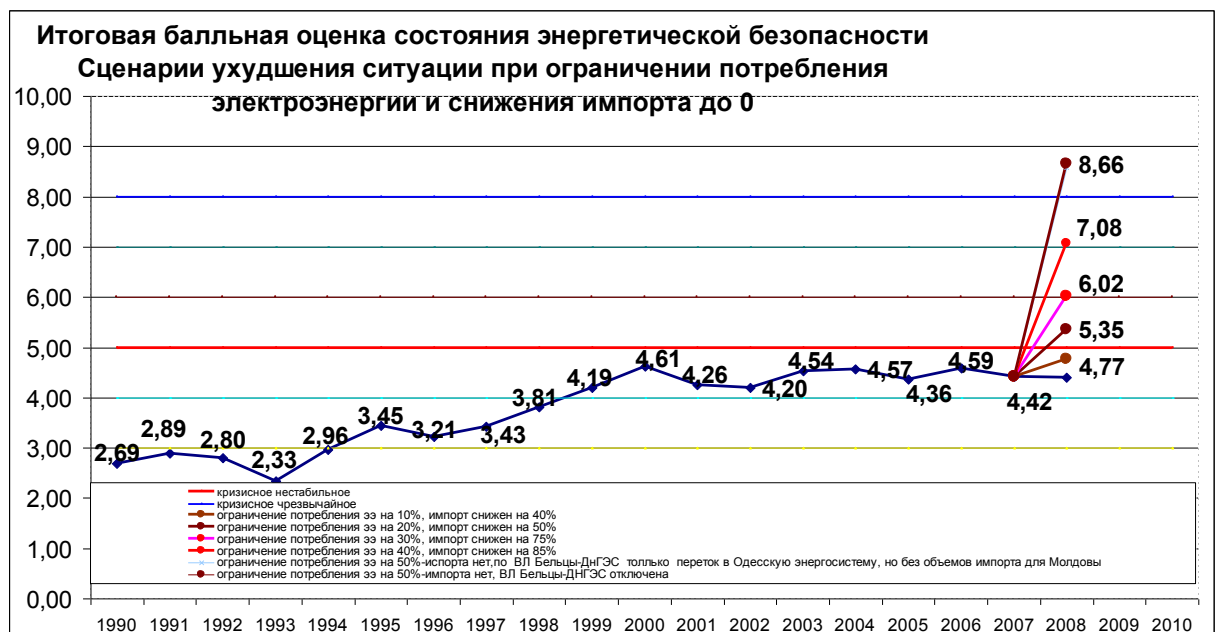
**Таблица 1.** Исходные данные для сценариев отключения межсистемной ВЛ 330 кВ

Сценарии	ВЛ№1	Аимп, млрд. кВт*ч	Асоб, млрд. Вт*ч	Апотр, млрд. кВт*ч	ВЛ№2	ограничения	К <sub>эз</sub>
А (исходный)	включена	2,9	1,1	4	отключена	Нет	1
В	отключена	0	1,1	1,1	отключена	1,1:4=0,275	0,275
С	отключена	0	2	2	отключена	2:4=0,5	0,5
D1	включена	1,6	2	3,6	отключена	0,9*4=3,6	0,9
D2	включена	1,2	2	3,2	отключена	0,8*4=3,2	0,8
D3	включена	0,8	2	2,8	отключена	0,7*4=2,8	0,7
D4	включена	0,4	2	2,4	отключена	0,6*4=2,4	0,6
D5	включена	0	2	2	отключена	2:4=0,5	0,5
Е	отключена	0...2,9	1,1....2	4	отключена	Ограничений нет при наличии договоров о поставках с МГРЭС	1
К	включена	0...2,9	1,1....2	4	включена	Ограничений нет при наличии договоров о поставках с МГРЭС или из Украинской энергосистемы	1

Для описанных сценариев и приведенных исходных данных с помощью вычислительного комплекса (Приложение «Сценарии») рассчитаны значения индикаторов и найдена итоговая оценка состояния энергетической безопасности для каждого из сценариев (табл.2 и рис.4).

**Таблица 2.** Итоговый уровень энергетической безопасности при отключении межсистемной ВЛ 330 кВ Бельцы-Днестровская ГЭС

	Сценарии							
	ВЛ №2-отключена							
	А	В	С	D1	D2	D3	D4	D5
Итоговый с учетом коэффициентов обеспеченности	4,42	17,17	8,66	4,77	5,35	6,02	7,08	8,58



**Рис. 4.** Итоговая оценка уровня энергетической безопасности для ряда сценариев, которые могут иметь место при отключении межсистемной ВЛ 330 кВ (сценарии А,С, D1- D5).

Анализ полученных результатов показывает, что наиболее тяжелым вариантом является развитие ситуации по сценарию В, степень ухудшения ситуации для сценариев А, С, D1- D5 отражена на графике итогового уровня энергетической безопасности (рис.4).

В данном примере рассмотрены сценарии развития ситуации при отключении только одного элемента энергосистемы. С помощью данного вычислительного комплекса возможно исследование ряда и других задач.

### **Заключение**

Для мониторинга и анализа энергетической безопасности разработан вычислительный комплекс, в котором имеются модули: информационный (базы данных по энергетике Excel и Access), расчетный, аналитический, прогнозирования. Моделирование рисков (угроз) осуществляется в Приложении «Сценарии», с помощью которого выполнен анализ уровней энергетической безопасности при сценариях А-К отключения системообразующих ЛЭП 330 кВ Бельцы – Днестровская ГЭС (полное отключение и ограничение перетоков различного уровня) при отключенной двухцепной ВЛ 330 кВ Кишинев-Молдавская ГРЭС. Установлено, что наиболее тяжелым является сценарий отключения ВЛ-330 кВ Бельцы – Днестровская ГЭС при отсутствии перетока по ВЛ-330 кВ МГРЭС – Кишинев. При этом степень кризисности увеличивается более чем в два раза по сравнению с текущим уровнем энергетической безопасности. Развитие таких сценариев в действительности недопустимо, так как это приведет к перебоям электроснабжения потребителей. В связи с этим необходимы мероприятия по поддержанию в работе, своевременному ремонту и расширению данной ЛЭП 330 кВ Бельцы – Днестровская ГЭС путем строительства второй цепи для повышения надежности энергосистемы и обеспечения энергетической безопасности.

### **Литература**

1. Быкова Е.В. Методы расчета и анализ показателей энергетической безопасности (на примере энергосистемы Молдовы). Серия «Энергетическая безопасность», Книга №2. Монография. Кишинев, Типография АН РМ, 158 с., 2005.
2. Быкова Е.В. Мониторинг индикаторов энергетической безопасности. Серия «Энергетическая безопасность», книга №4. Монография. Кишинев. Типография АНМ, 162 с., 2008.
3. Благодатских В.Г., Богатырев Л.Л., Бушуев В.В., Воропай Н.И. и др. Влияние энергетического фактора на экономическую безопасность регионов России. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 1998 г. 195 с.
4. Быкова Е.В., Михалевич А.А., Постолатий В.М., Фисенко С.П., Шнип А. И., Римко Д.В., Гродецкий М.В. Методические подходы к решению проблемы энергетической безопасности Молдовы и Беларуси. Серия «Энергетическая безопасность», книга №5. Monografia. Chisinau, 100p, 2010, ISBN 978-9975-62-275-2.

### **Сведения об авторе.**

**Быкова Елена Витальевна**, д.т.н., ведущий научный сотрудник Лаборатории управляемых электропередач Институт энергетики АНМ. Сфера научных интересов: электрические сети и системы и управление ими, управляемые электропередачи, энергетическая безопасность, моделирование процессов в энергетике.