

OPERATIONAL REGIMES OF MOLDAVIAN POWER SYSTEM UNDER DEVELOPMENT OF NETWORK INTERCONNECTIONS

Zaitsev D., Golub I., Kalinin L., Tirshu M.

Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova

Abstract The paper discusses and analyzes the basic steady state regimes in accordance with various strategies Moldova's accession to ENTSO-E. The four strategies have been analyzed for the accession of Moldova to the ENTSO-E: 1-without Ukraine and Right bank; 2-without Ukraine; 3-together with Ukraine and 4- currently existing scheme. Evaluation of the proposed options: the following parameters were considered as criteria for active losses in the power system as a whole, and also in the network elements by voltage grades, coefficients of static stability of active power and voltage, the assessment of import / export of electrical power. As a result of the comparative analysis have been selected the most effective strategies for the accession of Moldova to the ENTSO-E.

Keywords: Moldavian energy system, ENTSO-E, power system, active power losses, import, export of electricity.

REGIMURI DE FUNCȚIONARE A SISTEMULUI ENERGETIC AL REPUBLICII MOLDOVA ȚINÂND CONT DE DEZVOLTAREA INTERCONEXIUNILOR

Zaițev D., Golub I., Kalinin L., Țirșu M.

Institutul de Energetică al AȘM

Rezumat. În prezenta lucrare sunt examinate și analizate regimurile stabilizate de bază pentru realizarea diferitor strategii de aderare a Republicii Moldova la ENTSO-E. Pentru analiza estimativă au fost selectate următoarele modalități de aderare a Republicii Moldova la ENTSO-E: varianta aderării a Republicii Moldova la ENTSO-E cu excluderea Transnistriei și Ucrainei; varianta aderării cu excluderea Ucrainei; varianta aderării în comun cu Ucraina; varianta schemei existente actualmente. Drept criterii de estimare a variantelor propuse s-au examinat următorii parametri: pierderile de putere activă atât în sistemul energetic în întregime, cât și în elementele rețelei cu divizare după clasa de tensiune, coeficienții de rezervă a stabilității statice (aperiodice) pentru putere activă și tensiune, evaluarea importului/exportului de energie electrică, etc. În rezultatul analizei comparative s-au selectat cele mai eficiente modalități de aderare a Moldovei la ENTSO-E.

Cuvinte cheie: Sistemul energetic al Moldovei, ENTSO-E, pierderi de putere activă, import, export de energie electrică.

РЕЖИМЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ МОЛДОВЫ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ ТОПОЛОГИИ МЕЖСИСТЕМНЫХ СВЯЗЕЙ

Зайцев Д.А., Голуб И.В., Калинин Л.П., Тыршу М.С.

Институт энергетики Академии наук Молдовы

Аннотация. В настоящей работе рассмотрены и проанализированы базовые установившиеся режимы при реализации различных стратегий присоединения Республики Молдова к ENTSO-E. Для сравнительного анализа были выбраны следующие стратегии присоединения Молдовы к ENTSO-E: без Украины и Приднестровья; без Украины; совместно с Украиной и существующая в настоящее время схема. В качестве критериев оценки предложенных вариантов, рассматривались следующие параметры: потери активной мощности как по энергосистеме в целом, так и в элементах сети с разбивкой по классам напряжения, коэффициенты запаса статической (аперiodической) устойчивости по активной мощности и по напряжению, оценка импорта/экспорта электроэнергии и др. В результате сопоставительного анализа были отобраны наиболее эффективные стратегии присоединения Молдовы к ENTSO-E.

Ключевые слова: Энергосистема Молдовы, ENTSO-E, потери активной мощности, импорт, экспорт электроэнергии.

Условные обозначения: ΔP_a – потери активной мощности в соответствующей энергосистеме (рум – Румыния, млд – Молдова, укр – Украина), P_{BH} – значение величины импортируемой/экспортируемой активной мощности, ΔP_{110} – потери активной мощности в сетях различных классов напряжения, k_p – коэффициент

статической устойчивости по активной мощности, k_u – коэффициент статической устойчивости по напряжению, $k_{pn}, k_{ин}$ – нормативные значения коэффициентов запаса статической устойчивости по активной мощности и напряжению, соответственно.

Введение

Вопросам развития и объединения энергосистем и их параллельной работы в рамках ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators For Electricity), уделяется пристальное внимание [1-3]. Одно из направлений научных исследований, проводимых авторами, связано с разработкой и анализом вариантов развития энергосистемы Республики Молдова в контексте присоединения к ENTSO-E [4-6].

В работе [4] были исследованы сценарии развития транспортных сетей Молдовы при параллельной работе с Украинской энергосистемой при отсутствии синхронной связи с ENTSO-E. В работе [5] приведены результаты исследований влияния межсистемных связей 110кВ с Украиной на уровень потерь активной мощности в энергосистеме Молдовы. Работа [6] посвящена исследованию нормального режима Молдавской энергосистемы при реализации сценария возможного присоединения к ENTSO-E правобережного региона, определены условия и мероприятия, позволяющие реализовать предлагаемую стратегию.

После принятия Энергетической Стратегии Республики Молдова до 2030 года [7], возникла необходимость выполнить сопоставительный анализ базовых вариантов различных способов присоединения энергосистемы Республики Молдова к ENTSO-E, который не был выполнен в предыдущих работах [4-6].

При подготовке расчетных моделей 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).

Сравнительный анализ вариантов

Базовые варианты формировались исходя из направлений, изложенных в Энергетической Стратегии Республики Молдова до 2030 года и минимальных затрат на их реализацию. Поскольку для существования нормального режима во всех стратегиях присоединения к ENTSO-E, необходимым условием является ввод в расчетную модель ВЛ400кВ Бельцы-Сучава, то эта ВЛ присутствует во всех сравниваемых вариантах. Кроме того, для сравнения был добавлен режим с существующей на данный момент схемой.

Таким образом, в сравнительном анализе принимали участие следующие варианты стратегий присоединения:

1. Вариант присоединения Молдовы к ENTSO-E без Украины и Приднестровья;

Мероприятия, необходимые для реализации:

- разрыв межсистемных связей 110, 330 и 400кВ с Украиной и Приднестровьем;
- сооружение отпайки 400кВ от ВЛ МГРЭС-Вулканешты в районе Штефан-Водэ до ПС отп. ХБК-330кВ с сооружением ПС 400/330кВ и включением этой ВЛ на синхронную работу с энергосистемой Румынии;
- сооружение и включение ВЛ400кВ Бельцы-Сучава.

Краткая характеристика варианта:

- потеря транзитных возможностей энергосистемы в направлении Восток-Запад;
- потеря генерирующих мощностей на МГРЭС;
- потеря возможности диверсификации электроснабжения республики;

- самая высокая стоимость реализации с учетом компенсации дефицита собственных генерирующих мощностей;
- возможность примкнуть к Румынскому энергорынку.

2. Вариант присоединения Молдовы к ENTSO-E с Приднестровьем без Украины;

Мероприятия, необходимые для реализации:

- отключение межсистемных связей 110 и 330кВ с Украиной;
- сооружение ВЛ330кВ «Бельцы-Рыбница» и «Страшены-Рыбница» для энергоснабжения Рыбницкого энергоузла с западного направления;
- включение на синхронную работу с энергосистемой Румынии ВЛ400кВ МГРЭС – Исакча;
- сооружение и включение ВЛ400кВ «Бельцы-Сучава».

Краткая характеристика варианта:

- потеря транзитных возможностей энергосистемы в направлении Восток-Запад;
- более высокая стоимость реализации;
- потеря возможности диверсификации электроснабжения республики;
- возможность доступа к энергорынку Румынии;
- относительно мягкие требования по увеличению объема генерируемой энергии.

3. Вариант присоединения Молдовы к ENTSO-E совместно с Украиной и Приднестровьем;

Мероприятия, необходимые для реализации:

- включение на синхронную работу с энергосистемой Румынии ВЛ400кВ МГРЭС – Исакча;
- сооружение и включение на синхронную работу ВЛ400кВ Бельцы-Сучава;

Краткая характеристика варианта:

- сохранение транзитных возможностей в направлении Север-Юг;
- получение возможности транзита Восток-Запад,
- диверсификация электроснабжения;
- самая низкая стоимость реализации;
- сохранение существующей схемы;
- возможность доступа к энергорынкам Румынии и Украины;
- относительно мягкие требования по увеличению объема генерируемой энергии.

4. Существующая схема (без присоединения к ENTSO-E).

Анализируемые параметры приведены на диаграммах. Так, уровень потерь в энергосистемах Молдовы, Румынии и Украины показан на рис.1,2,3 соответственно.

Из анализа рис.1, с точки зрения потерь активной мощности в Молдавской энергосистеме, можно сделать вывод, что наиболее предпочтительными являются варианты подключения к ENTSO-E без Украины. Потери в режимах 1 и 2 ниже как в именованных, так и в относительных единицах и составляют около 2,9% от потребления. В случае присоединения с Украиной, уровень потерь вырастает до 4%. Это может быть объяснено существованием в этом режиме значительного транзита Запад-Восток (около 395МВт), который и создает дополнительные потери в системообразующей сети Молдовы.



Рис.1. Потери активной мощности в Энергосистеме Молдовы при реализации различных стратегий присоединения к ENTSO-E в МВт и в %.



Рис.2. Потери активной мощности в Энергосистеме Румынии при реализации различных стратегий присоединения Молдовы к ENTSO-E.

Потери в Румынской энергосистеме (рис.2) также максимальны (3,01%) в случае присоединения к ENTSO-E с Украиной и, по той же причине, остаются практически неизменными в остальных вариантах (около 2,9%).

Вместе с тем (рис.3), потери в энергосистеме Украины минимальны (около 2,9%) в стратегии совместного подключения к ENTSO-E и существенно возрастают при разрыве электрических связей между Молдовой и Украиной до 3% и 3,33% соответственно в вариантах 1 и 2.

Из диаграмм рис.4 видно, что при реализации различных сценариев присоединения Молдовы к ENTSO-E, минимальный уровень потерь в сети 110кВ (а это основная составляющая потерь по величине) достигается во втором варианте (1,37%). Причина этого описана в [5] и заключается в снижении потерь на межсистемных ВЛ110кВ отключаемых от Украины в южной части Молдовы. Во всех остальных вариантах

присоединения потери в сети 110кВ приблизительно равны и колеблются в пределах 1,66-1,69%.

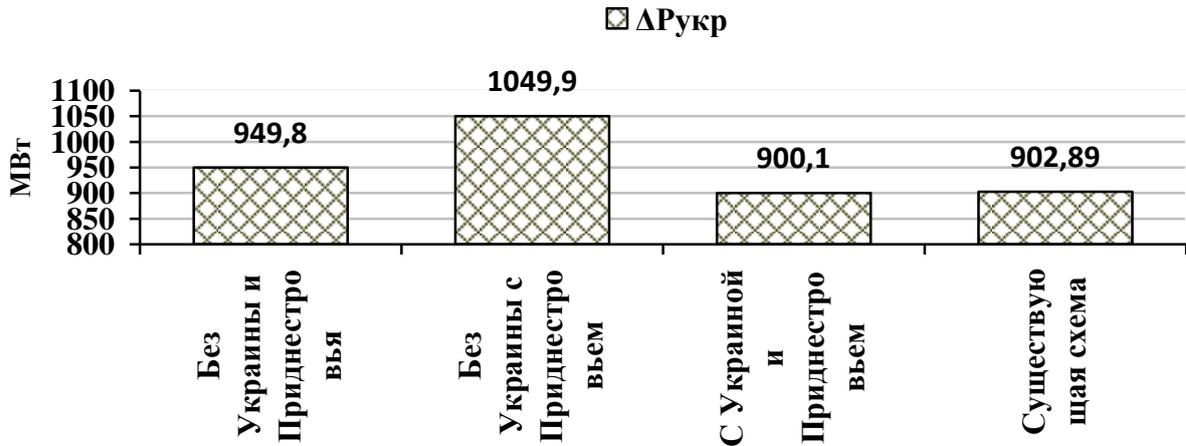


Рис.3. Потери активной мощности в Энергосистеме Украины при реализации различных стратегий присоединения Молдовы к ENTSO-E.

Минимальные потери в сети 330 кВ показывает вариант 1 (0,24%). Это объясняется тем, что при питании энергосистемы с Севера по ВЛ400кВ Бельцы-Сучава и Юга по ВЛ400кВ Вулканешты-Исакача нагрузка на транзит 330кВ Север-Юг существенно снижается. Максимальные потери в сети 330кВ показывает вариант 3 присоединения вместе с Украиной и Приднестровьем из-за наложения на системообразующую сеть 330кВ Молдавской энергосистемы транзитных перетоков Север-Юг и Запад-Восток.

Что касается потерь в сети 400кВ, то минимальные потери достигаются в варианте-2 присоединения без Украины. Причина в сохранении мощностей МГРЭС и, следовательно, разгрузке ВЛ400кВ. Максимальные потери получают в варианте-1 присоединения без Украины и Приднестровья из-за существенного импорта по этим сетям со стороны ENTSO-E.

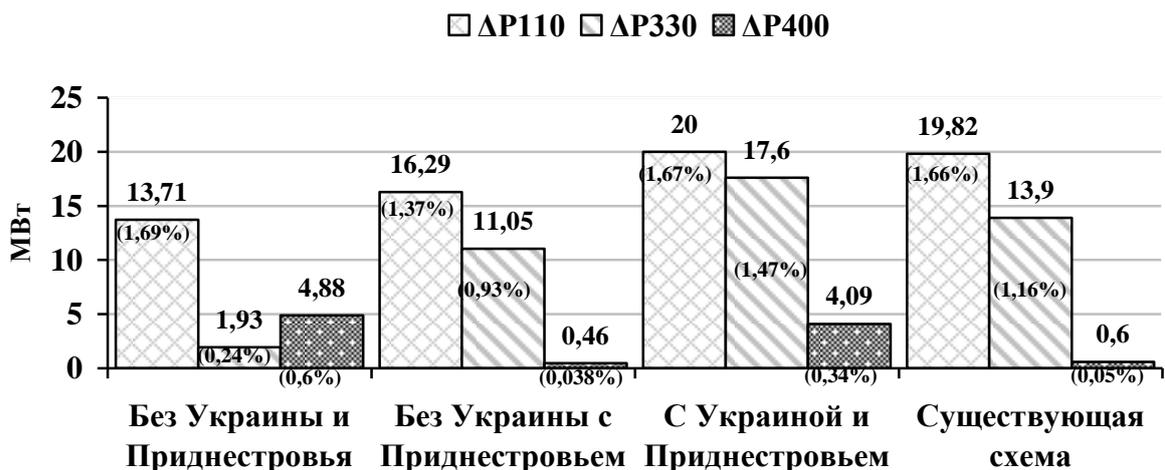


Рис.4. Потери активной мощности в энергосистеме Молдовы в сетях различных классов напряжения при различных сценариях присоединения к ENTSO-E в МВт и %.

Как видно из рис.5, вариант присоединения к ENTSO-E без Украины и Приднестровья естественно приводит к значительному увеличению импорта электроэнергии из-за прекращения поставок с МГРЭС и Украины. Минимальный уровень импортируемой электроэнергии зафиксирован для варианта присоединения без Украины из-за ограничения транзита Север-Юг через сети Молдовы и как следствие снижения потерь (59МВт). Для существующей схемы этот транзит характерен и, следовательно, внешние заимствования увеличиваются на величину потерь, составляя 65МВт. При присоединении к ENTSO-E с Украиной и Приднестровьем потери в сети возрастают вследствие наложения на режим дополнительного транзита Запад-Восток приводя к увеличению импорта до величины 72 МВт.

Анализируя диаграмму рис.6 можно сделать следующие выводы:

- Показатели запаса статической устойчивости для всех рассматриваемых вариантов выше нормируемых показателей;
- Максимальный запас по активной мощности достигается при существующей на данный момент схеме работы энергосистемы (102,2%), а также при присоединении к ENTSO-E с Украиной и Приднестровьем (102,5%). Несколько более низкий показатель (92,3%) имеет вариант присоединения без Украины за счет существенного ограничения по сечению 110-330кВ в связи с отключением межсистемных линий связи. Самым низким показателем 39,6% обладает вариант присоединения без Украины и Приднестровья, в первую очередь из-за потери питания со стороны Украинской энергосистемы и прекращения энергоснабжения со стороны МГРЭС;
- Запас по напряжению колеблется от 23,3% до 25% при нормативе 15% во всех рассматриваемых случаях.

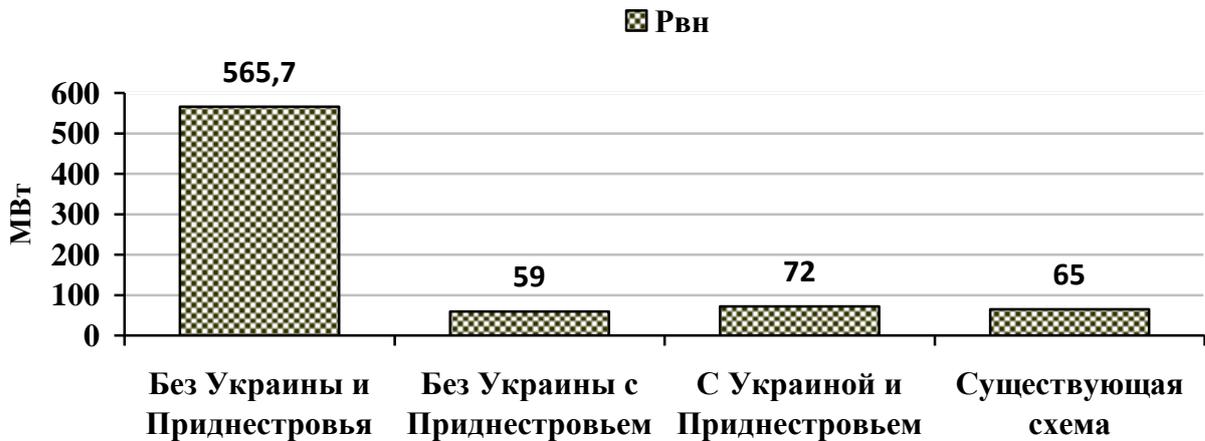


Рис.5. Мощность, импортируемая Молдовой для покрытия собственной нагрузки.

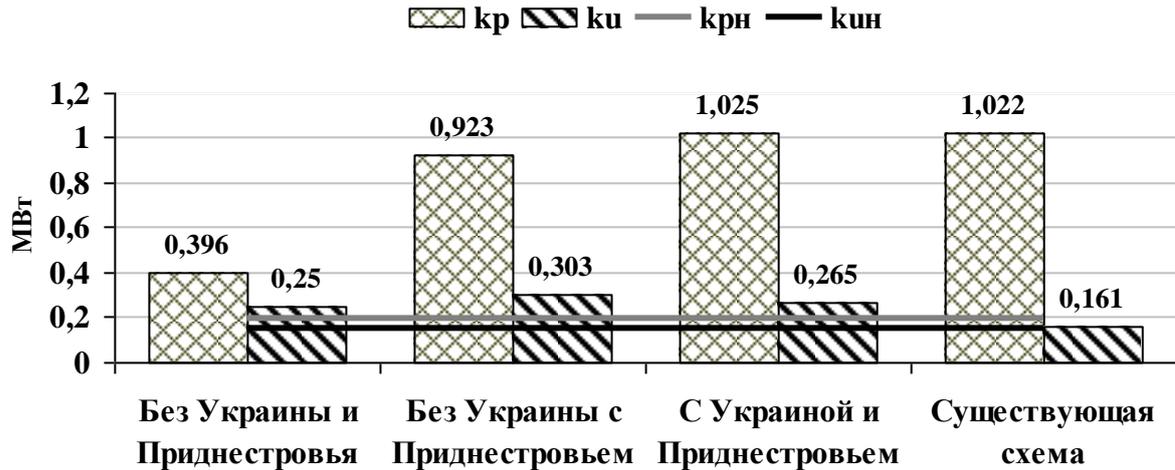


Рис.6. Диаграмма коэффициентов запаса статической устойчивости по активной мощности и по напряжению для различных вариантов присоединения Молдовы к ENTSO-E.

Выводы

Наиболее перспективным, с точки зрения получения наилучших значений анализируемых параметров (потери активной мощности, коэффициенты запаса статической (апериодической) устойчивости по активной мощности и по напряжению, оценка импорта/экспорта электроэнергии), можно считать вариант присоединения Молдовы к ENTSO-E вместе с энергосистемами Украины и Приднестровья. Он обладает следующими преимуществами:

- относительно невысокий прирост уровня потерь активной мощности, как в Энергосистеме Молдовы, учитывая разнонаправленный транзит, так и в смежных энергосистемах;
- невысокая потребность энергосистемы Молдовы в импорте электроэнергии без дополнительного развития собственных генерирующих мощностей;
- повышение уровня запаса статической устойчивости энергосистемы;
- сохранение и развитие статуса транзитной энергосистемы как в направлении Север - Юг, так и в направлении Восток – Запад;
- диверсификация источников энергоснабжения Республики Молдова, повышение уровня надежности и энергобезопасности.

Литература

- [1] Gartia, A.; Nallarasani; Barnwal, S.P.; Madhukar, G., Power system network modeling for on-line analysis. Power Systems, 2009. ICPS '09. International Conference on Publication Year: 2009, Page(s): 1 – 6.
- [2] Hoang Huu Than, Interconnecting National Power System Through Boundary — Viewing point from power system regimes. Science and Technology, 2011 EPU-CRIS International Conference 2011, Page(s): 1 – 4.
- [3] Jia Hongjie ; Yu Xiaodan, A simple method for power system stability analysis with multiple time delays. Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE 2008, Page(s): 1 – 7.

- [4] L.Kalinin, D.Zaitsev, M.Tirshu, I.Golub, Varianty razvitiya transportnoi sistemy Moldovy pri parallelinoi rabote s energosistemoi Ukrainy, Problemele energeticii regionale. nr.1(18)2012, pp. 24-34 http://journal.ie.asm.md/assets/files/m71_2_186.doc (poslednee poseschenie saita 19.11.2014). (in Russian)
- [5] L.Kalinin, D.Zaitsev, M.Tirshu, I.Golub, Vliianie mejsistemnyh sveazei 110kV na urovni poteri aktivnoi mosnosti v energosisteme Moldovy, Problemele energeticii regionale. nr.2(19)2012. pp.24-32 http://journal.ie.asm.md/assets/files/m71_2_202.doc (poslednee poseschenie saita 19.11.2014). (in Russian)
- [6] D.Zaitsev, I.Golub, L.Kalinin, M.Tirshu, Harakteristika rejima pri realizatsii scenaria integrirovania pravoberejnoi chasti energosistemy Respubliki Moldova v ENTSO-E., Problemele energeticii regionale. nr.2(22)2013.pp.1-9 http://journal.ie.asm.md/assets/files/m71_2_239.pdf (poslednee poseschenie saita 19.11.2014). (in Russian)
- [7] Energhetichekaia Strateghia Respubliki Moldova do 2030 goda. (Monitorul Oficial №27-30, statia 146, 08.02-2013). (in Russian)
- [8] D.Zaitsev, I.Golub, L.Kalinin, M.Tirshu, Sravnitelinyi analiz variantov razvitiya gheniriruiuschih moscnostei na territorii Respubliki Moldovav kontekste prisoedinenia ee pravoberejnoi chasti k ENTSO-E., Problemele energeticii regionale. nr.2(23)2013, pp.1-9. http://journal.ie.asm.md/assets/files/m71_2_255.pdf (poslednee poseschenie saita 19.11.2014). (in Russian)

Сведения об авторах.



Калинин Лев Павлович
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



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



Зайцев Дмитрий Александрович.
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.



Тыршу Михаил Степанович.
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.
E-mail: tirsu.mihai@gmail.com