

Influence of Wind Turbines on the Operating Modes of the Distribution Network

Lupu M., Zaitsev D., Tirsu M., Golub I.

Institute of Power Engineering
Chisinau, Republic of Moldova

Abstract. The paper aim was to study the normal functioning modes of consumers power supply by the distribution network, taking into account the electricity production using wind turbines, as well as to develop recommendations that allow optimizing power consumption modes. The goal was achieved by analyzing the initial information on the network section topology, the technical characteristics of linear and transformer equipment, as well as consumption and generation profiles. The most significant result of the paper was the determination of the fact that the connection of wind turbines according to the “install and forget” principle without prior justification of both connection place and wind turbine capacity often leads to significant change in the operating characteristics and additional technical losses of active power. In this case, the main part of the losses falls on power lines. The significance of the obtained results lies in the fact that the main problems, associated with the coordination of the operating modes of distributed generation facilities and load, were identified and possible technical solutions were proposed to improve the situation. Based on the obtained results it is possible to conclude that when connecting a wind turbine to a distribution network, it is necessary to take into account both the capacity and the installation location of the equipment, which significantly change the values of the operating parameters of electrical networks. It has been shown that use of energy storage devices, as well as the network reconstruction, can make it possible to minimize active power losses and carry out balance of regimes.

Keywords: operation mode of the distribution network, active power losses, distributed generation, wind turbines, electric energy storage devices.

DOI: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2022.2-54.06>

UDC: 621.316.13

Influența instalațiilor eoliene asupra regimului de funcționare a rețelelor electrice de distribuție

Lupu M., Zaițev D., Tîrșu M., Golub I.

Institutul de Energetică
Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. Scopul lucrării este de a studia regimurile normale de alimentare a consumatorilor conectați la rețeaua de distribuție, ținând cont de producerea energiei electrice de către instalațiile eoliene, precum și de a elabora recomandări care să permită optimizarea regimurilor de consum de energie. Scopul a fost atins prin analiza informațiilor inițiale privind topologia secțiunii de rețea, caracteristicile tehnice ale echipamentelor liniare și de transformare, precum și a profilurilor de consum și generație. Rezultatul cel mai semnificativ a fost stabilirea faptului, că conectarea turbinelor eoliene conform principiului „instalați și uitați” fără justificarea prealabilă a locului de conectare și puterea turbinei eoliene duce adesea la o schimbare semnificativă a caracteristicilor de funcționare și la pierderi tehnice suplimentare de putere activă. În acest caz, cea mai mare parte a pierderilor revine liniilor electrice. Importanța rezultatelor obținute ține de faptul, că au fost identificate principalele probleme asociate coordonării regimurilor de funcționare a instalațiilor de generare distribuită și sarcină, și au fost propuse posibile soluții tehnice pentru îmbunătățirea situației. Rezultatele obținute ne-au permis să concluzionăm, că la conectarea unei turbine eoliene la o rețea de distribuție, este necesar să se țină cont atât de puterea, cât și de locația de instalare a echipamentului, care modifică semnificativ valorile parametrilor de funcționare ai rețelelor electrice. Se arată, că utilizarea dispozitivelor de stocare a energiei, precum și reconstrucția rețelei, pot face posibilă reducerea la minimum a pierderilor de putere activă și efectuarea echilibrării regimului de funcționare.

Cuvinte cheie: regim de funcționare a rețelelor electrice de distribuție, pierderi de putere activă, generare distribuită, turbină eoliană, dispozitiv de stocare a energiei electrice.

Влияние ветрогенерационных установок на режимы работы распределительной сети

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

Институт энергетики, Кишинев, Республика Молдова

Аннотация. Объектом исследования является участок распределительной сети, с подключенными к нему двумя ветроустановками (ВЭУ). Целью работы является исследование нормальных режимов

электроснабжения потребителей распределительной сети с учетом производства электроэнергии с помощью ветроустановок, а также разработка рекомендаций, позволяющих оптимизировать режимы энергопотребления. Поставленная цель достигнута за счет анализа исходной информации по топологии сетевого участка, технических характеристиках линейного и трансформаторного оборудования, а также профилях потребления и генерации. Были подготовлены базы данных, позволившие осуществить расчетные эксперименты и провести сравнительный анализ характерных режимов работы исследуемого участка распределительной сети. Наиболее существенным результатом стало установление того факта, что подключение ВЭУ по принципу «установил и забыл» без предварительного обоснования места подключения и мощности ВЭУ часто приводит к существенному изменению режимных характеристик и дополнительным техническим потерям активной мощности. При этом основная часть потерь приходится на линии электропередачи. Это объясняется тем, что уровень генерации ВЭУ обычно значительно превышает требуемую мощность для покрытия существующей нагрузки, что приводит к нарушению баланса генерации и потребления и возникновению обратного перетока в сеть высшего класса напряжения. Значимость полученных результатов состоит в том, что были определены основные проблемы, связанные с согласованием режимов работы объектов распределенной генерации и нагрузки, а также предложены возможные технические решения, позволяющие улучшить ситуацию. Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что при подключении ВЭУ к распределительной сети необходимо учитывать, как мощность, так и место установки оборудования, существенно изменяющие значения режимных параметров электрических сетей. Показано, что использование накопителей энергии, а также реконструкция сети могут позволить минимизировать потери активной мощности и осуществить балансирование режима.

Ключевые слова: режим работы распределительной сети, потери активной мощности, распределенная генерация, ветроустановки, накопители электрической энергии.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наблюдается значительный рост внедрения объектов распределенной генерации в электрические сети, вызванный более высокими требованиями защиты окружающей среды и постепенным процессом либерализации энергетического рынка [1–5]. Многие страны начали процесс либерализации своих электроэнергетических систем, открыв доступ к передающим и распределительным сетям. Это сопровождается быстрым ростом количества относительно небольших источников распределенной генерации, основанных на возобновляемых источниках энергии. Увеличение количества подключений во многих случаях было основано на философии «установил и забыл», что приводит к необходимости преодолевать некоторые технические, экономические и нормативные трудности [6–14].

Возникающие проблемы могут быть успешно решены в контексте реализации концепции местной энергетической автономии в рамках новой инновационной модели организации отношений между местными производителями и потребителями энергии, получившей название энергетических кооперативов.

Текущее состояние развития энергетических кооперативов показывает, что большинство проектов представляют собой

местные инициативы, в которых используется распределенная генерация, основанная на использовании возобновляемых источников энергии.

Часто участники энергетического кооператива объединяются через локальную сеть (микросеть), также называемую интеллектуальной сетью, работающую изолированно от электросетей оператора энергосистемы. В то же время существование энергетического кооператива не исключает возможности эксплуатации параллельно с энергосистемой.

Энергетические кооперативы обычно представляют собой небольшие проекты, и их мощности по производству электроэнергии подключены к распределительным сетям. Стохастический характер выработки энергии на возобновляемых источниках энергии часто приводит к нарушению баланса выработки и потребления в распределительной сети, что может привести к изменению основных режимных параметров.

Подходящим решением для соблюдения баланса мощностей может быть использование электрохимических батарей в качестве накопителей избыточной электроэнергии, вырабатываемой сверх уровня потребляемой нагрузки в данный момент времени. Аккумуляция электроэнергии может способствовать

ускорению интеграции возобновляемых источников в локальную систему электроснабжения и обеспечивать ее работу в полностью автономном режиме [19–29].

В данной работе рассматриваются вопросы эксплуатации возобновляемых источников генерации, подключенных к распределительной сети (на примере фидера №2 10кВ подстанции Единец 110/35/10, принадлежащей предприятию SA RED Nord), при формулировании сценариев обеспечения местной энергетической автономии.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Выбор объекта исследования обусловлен наличием характерных проблем, возникающих при подключении распределенной генерации к распределительным сетям. В качестве примера для анализа выбран фидер №2 подстанции Единец 110/35/10кВ. Общая информация об объекте:

- количество трансформаторных подстанций – 14шт.;
- количество трансформаторов в составе трансформаторных подстанций – 26шт.;
- установленная мощность трансформаторов – 9725кВА;
- количество трансформаторов под нагрузкой – 20шт.;
- мощность трансформаторов под нагрузкой – 7625кВА;
- длина фидера – 10,866км (ВЛ – 7,685км, КЛ – 3,481км);
- питание фидера осуществляется от головной подстанции Единец 110/35/10кВ и от ветроэнергетических установок (ВЭУ) мощностью 1,2МВт каждая, присоединенных к шинам 0.4кВ трансформаторной подстанции №414.

Моделирование режимов работы фидера, выполнено с использованием специализированного программного комплекса для расчета установившихся режимов RastrWin.

В качестве исходных данных для выполнения расчетных экспериментов были использованы:

- данные по топологии сети, параметрам ЛЭП и трансформаторных подстанций, а также составе действующего оборудования;

- профиль потребления электроэнергии по каждой трансформаторной подстанции и по фидеру в целом;

- профиль выработки электроэнергии на ВЭУ.

Вся техническая информация по фидеру, была предоставлена службой режимов оператора распределительных сетей SA RED Nord [15–18].

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРНЫХ РЕЖИМОВ

Анализ режимов работы проводился за период январь–сентябрь 2021 года с учетом среднемесячных нагрузок. В качестве базовых были приняты режимы без распределенной генерации ВЭУ. В этом случае питание потребителей осуществлялось из одного источника со стороны энергосистемы. Для примера на рис.1 представлено потокораспределение в базовом режиме для сентября 2021 года.

На первом этапе сравнительный анализ режимных параметров проводился для базовых режимов и режимов с генерацией обеспеченной ВЭУ. Для примера на рис.2 представлено потокораспределение в режиме генерации ВЭУ для сентября 2021 года, т.е. питание потребителей осуществлялось из двух источников. Анализ информации, приведенной на рис.1,2 позволяет сделать вывод о существенном изменении потокораспределения на головных участках фидера при работе ВЭУ.

Результаты обработки информации, полученной в ходе исследования за 1-9 месяцы 2021 года, приведены в виде зависимостей и гистограмм для характерных параметров режима.

На рис.3 представлены зависимости, характеризующие уровень генерации ВЭУ (P_g) и обменной мощности с энергосистемой (внешний переток) при (P_{gef}) и без (P_{ef}) работы ВЭУ в течение рассматриваемого периода. Видно, что уровень генерации ВЭУ значительно превышает мощность, требуемую для покрытия существующей нагрузки фидера, что приводит к возникновению обратного перетока мощности в сеть высокого напряжения.

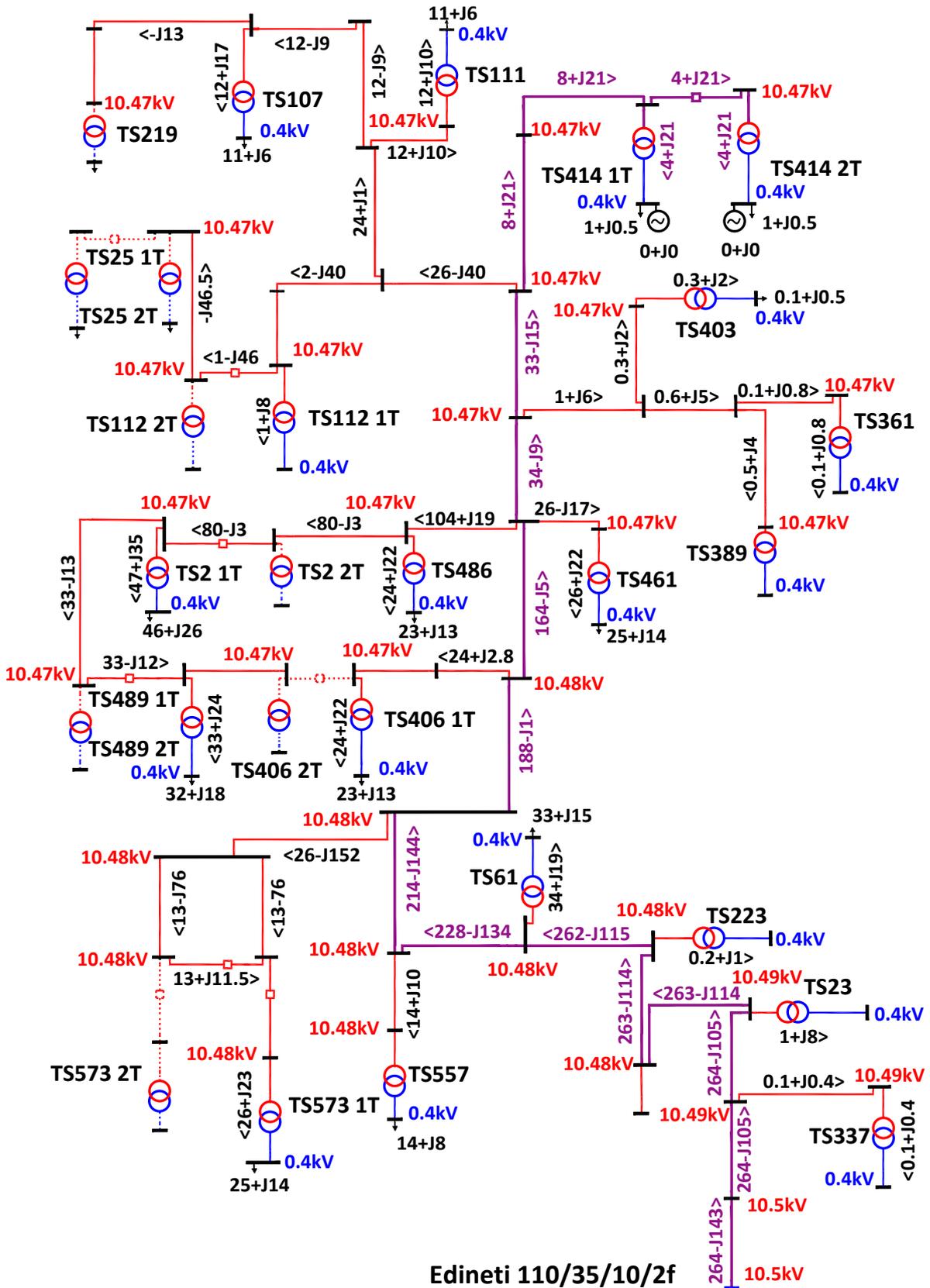


Рис.1. Параметры и потокораспределение в базовом режиме на примере сентября 2021 года.¹

¹ Appendix 1

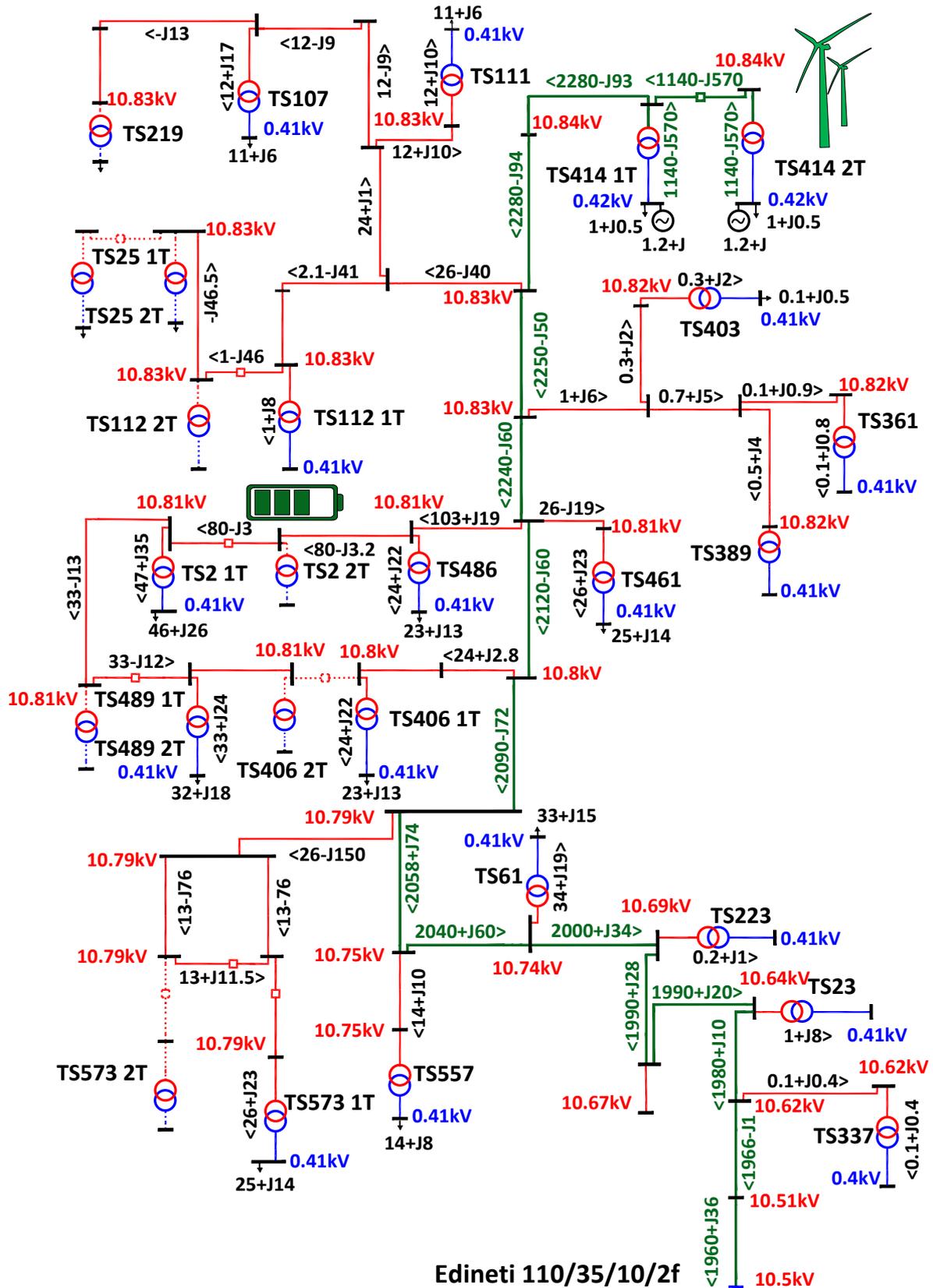


Рис.2. Параметры и потокораспределение с ВЭУ на примере сентября 2021 года².

На рис.4 представлены гистограммы иллюстрирующие соотношение величины нагрузки (P_L), полных потерь активной

мощности в базовом режиме (ΔP) и при работе ВЭУ (ΔP_g). Видно, что уровень

² Appendix 1

потерь при выработке на ВЭУ в фидере выше как в именованных единицах, так и в процентном выражении к общему потреблению и прогнозируемо увеличивается по мере повышения уровня генерации на ветроустановках.

На рис.5,6 представлены гистограммы показывающие уровень потерь активной мощности в линиях электропередачи

$(\Delta P_{pl}, \Delta P_{gpl})$ и в трансформаторах $(\Delta P_{id}, \Delta P_{tr}, \Delta P_{gr})$ за 9 месяцев 2021 года в именованных единицах и процентах от суммарного потребления. Результаты получены для базового и режима выработки электроэнергии на ВЭУ.

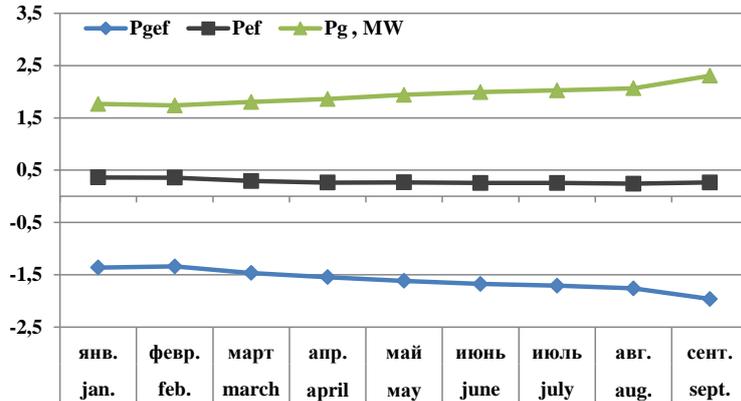


Рис.3. Уровни генерации и обменной мощности³.

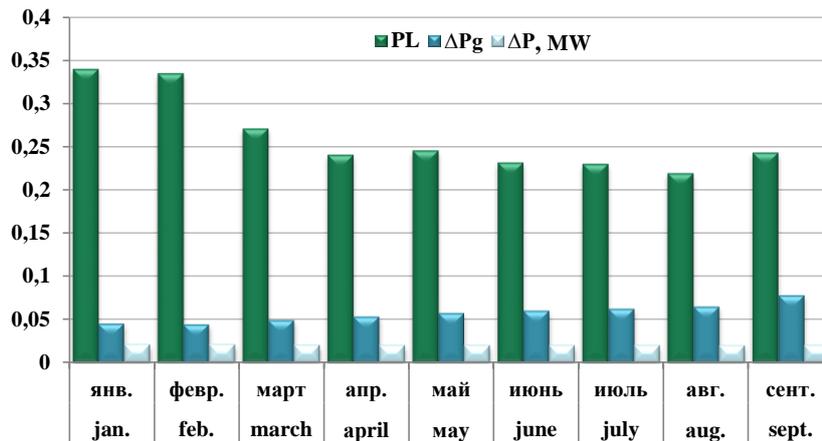


Рис.4. Активная нагрузка и потери мощности.⁴

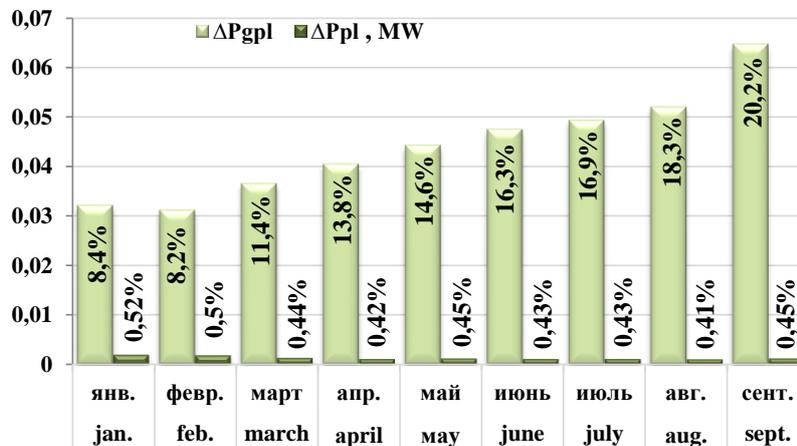


Рис.5. Потери мощности в ЛЭП.⁵

3.4.5 Appendix 1

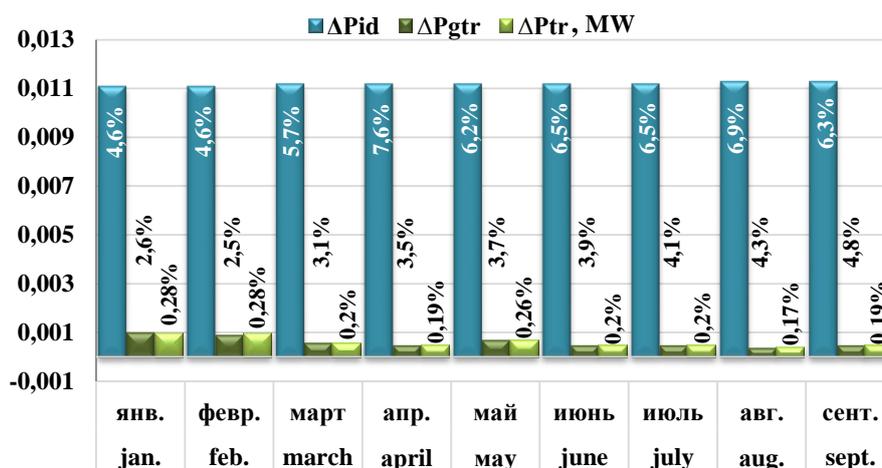


Рис.6. Потери мощности в трансформаторах.⁶

Анализ представленных характеристик позволяет сделать следующие выводы:

- Потери холостого хода трансформаторов практически не меняются.
- Нагрузочные потери в трансформаторах в именованных единицах (МВт) не меняются, при работе ВЭУ и в базовом режиме, но существенно увеличиваются в процентном отношении из за повышения уровня потребления (нагрузка + суммарные потери).
- Потери в ЛЭП без генерации ВЭУ практически стабильны из-за слабого изменения уровня нагрузки по месяцам.
- Основная составляющая потерь активной мощности ложится на ЛЭП при работе ВЭУ за счет протекания излишков мощности от ветроустановок к началу фидера.

Для оценки зависимости режимных параметров от уровня загрузки ТП на примере профиля сентября 2021 года проведены расчеты потерь как в элементах (ΔP_{pl} , ΔP_{tr}) так и в сети в целом (ΔP) с генерацией ВЭУ. Анализ проводился для двух уровней нагрузки (существующей и равной 80% от номинальной мощности ТП).

Результаты в виде гистограмм приведены на рис.7, где приняты следующие обозначения:

- 1- режим с генерацией ВЭУ;
- 2- режим с генерацией ВЭУ (нагрузка 80%);
- 3- режим без генерации ВЭУ;
- 4- режим без генерации ВЭУ (нагрузка 80%).

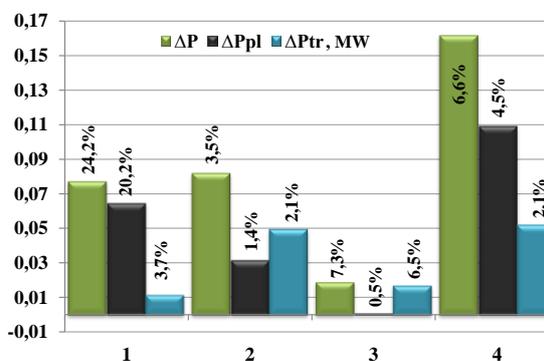


Рис.7. Структура потерь в различных режимах.⁷

Видно, что при увеличении нагрузки потери во всех элементах и в сети в целом возрастают в именованных единицах, уменьшаясь в процентном отношении. Такая картина говорит о недогруженности сетевого и трансформаторного оборудования фидера в реальных режимах.

ОЦЕНКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Для повышения эффективности работы исследуемого участка распределительной сети можно предложить несколько путей решения:

1. Подключение ВЭУ как можно ближе к голове фидера, что позволит сохранить потокораспределение близкое к проектному.
- В данном случае, подключение ВЭУ в голове фидера не представляется возможным т.к. питающая подстанция расположена в

^{6,7} Appendix 1

черте города, что исключает размещение ветроустановок.

2. Реконструкция сети с увеличением сечения по направлению обратного перетока в случае превышения уровня генерации по отношению к потреблению.

Минусами данного решения являются значительные затраты при замене проводов в сочетании с несущественным снижением потерь активной мощности.

На рис.8 представлена гистограмма, иллюстрирующая уровни потерь в ЛЭП при различных вариантах реконструкции:

- 1- сечение провода 70мм² (существующее);
- 2- замена провода на сечение 95мм²;
- 3- замена провода на сечение 120мм².

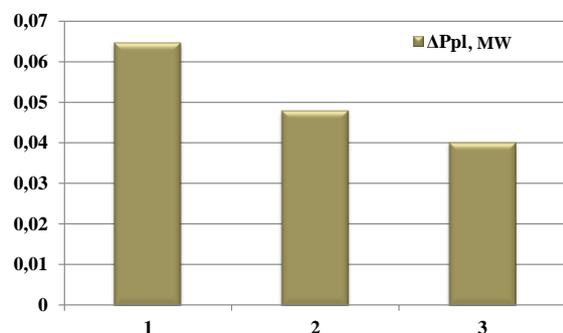


Рис.8. Потери в ЛЭП при различных вариантах реконструкции.⁸

3. Применение накопителей энергии для балансирования режимов генерации и потребления.

Для оценки эффективности применения накопителя в фидере в безветренный период для 9 месяцев 2021 года были проведены расчеты, позволившие определить мощность накопителя для обеспечения одного из двух условий:

- минимальный уровень суммарных потерь активной мощности (ΔP) в исследуемом фидере;
- нулевой переток мощности (P_{ef}) в голове фидера.

Результаты расчетов представлены в таблице 1 и гистограммах рис.9,10 на примере режима сентября 2021 года. Данные, соответствующие вышеперечисленным условиям отмечены в табл.1 серым цветом. При моделировании режимов накопитель был установлен на трансформаторной подстанции №2.

^{8,9,10,11,12} Appendix

Таблица 1⁹.
Мощности накопителя для обеспечения заданных условий¹⁰.

	ΔP	$P_{вн}$
0	0,01928	-0,26423
0,1	0,01875	-0,16368
0,2	0,01923	-0,06417
0,26	0,02	-0,0051
0,3	0,0207	0,03436
0,4	0,02314	0,13193
0,5	0,0265	0,22855
0,6	0,03079	0,32427

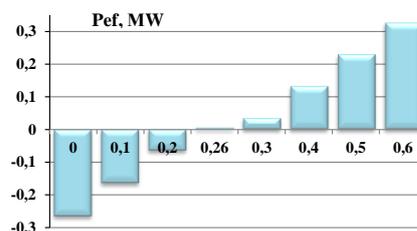


Рис.9. Внешний переток при различных мощностях накопителей.¹¹

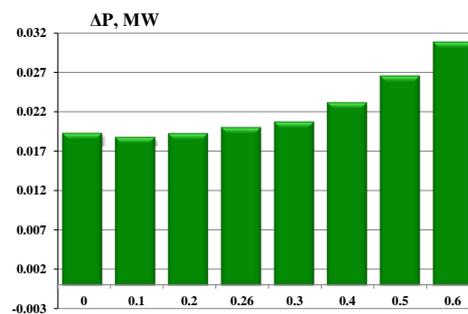


Рис.10. Потери активной мощности в фидере при различных мощностях накопителя.¹²

Динамика изменения требуемой мощности накопителей по месяцам исходя из минимума суммарных потерь (ΔP_{min}) в фидере представлена на рис.11.

Результаты позволили определить требуемую установленную мощность накопителя равную 0,14МВт. С учетом возможности секционирования батареи накопителя это позволит обеспечить минимум потерь во всех режимах.

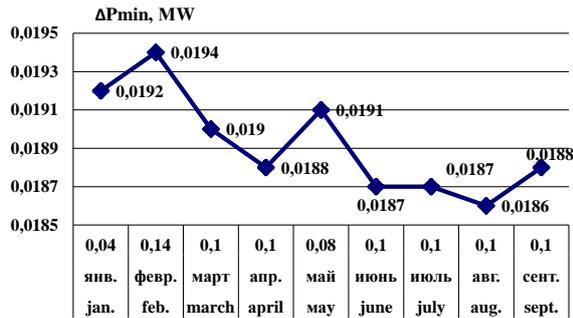


Рис.11. Мощность накопителей, обеспечивающая минимальные потери.¹³

Динамика изменения требуемой мощности накопителя по месяцам исходя из поддержания нулевого перетока в голове фидера проиллюстрирована на рис.12

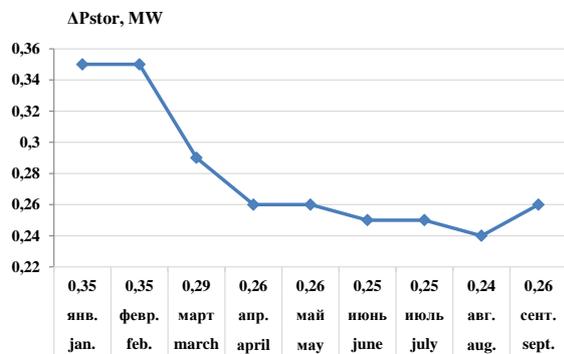


Рис.12. Мощность накопителей, обеспечивающая нулевой внешний поток.¹⁴

Результаты позволили определить требуемую, в этих условиях, установленную мощность накопителя равную 0,35МВт. С учетом возможности секционирования это позволит обеспечить нулевой переток мощности в голове фидера во всех режимах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопросы размещения распределенной возобновляемой генерации в распределительных сетях требуют обоснования установленной мощности устройств и мест их установки. Игнорирование этих условий может привести к значительному увеличению дополнительных технических потерь в сетевых элементах, большая часть которых приходится на линии электропередач. Проблема может быть решена за счет корректного выбора места установки ВЭУ, реконструкции участков распределительной сети, а также использования накопителей энергии с реализацией различных стратегий

управления. Показано, что наиболее предпочтительным техническим решением для рассматриваемого участка сети является использование управляемых накопителей энергии. Предложенные рекомендации позволят оптимизировать режим работы распределительной сети в контексте реализации концепции местной энергетической автономии.

Проведенное исследование опиралось на инновационные разработки в области возобновляемых источников энергии, представленных в серии публикаций Международного агентства по возобновляемым источникам энергии [29].

БЛАГОДАРНОСТЬ

Результаты были получены в рамках проекта Госпрограммы с номером 20.80009.7007.18: «Эко-инновационные технические решения по снижению энергопотребления зданий и разработка опций по развитию интеллектуальных сетей с высокой интеграцией ВИЭ в Молдове».

APPENDIX 1 (ПРИЛОЖЕНИЕ 1)

- ¹Fig. 1. Parameters and flow distribution in basic mode on the example of September 2021.
- ²Fig. 2. Parameters and flow distribution with wind turbines on the example of September 2021.
- ³Fig. 3. Generation and external flow.
- ⁴Fig. 4. Active load and power losses.
- ⁵Fig. 5. Power losses in power lines.
- ⁶Fig. 6. Power losses in transformers.
- ⁷Fig. 7. Loss structure in different modes.
- ⁸Fig.8. Losses in power lines with various reconstruction options.
- ^{9,10}Table 1. Storage capacity to ensure specified conditions.
- ¹¹Fig. 9. External flow at different storage capacities
- ¹²Fig. 10. Losses of active power in the feeder at different storage capacities
- ¹³Fig. 11. Storage capacity to ensure for minimal loss
- ¹⁴Fig. 12. Storage capacity to ensure for zero external flow.

БИБЛИОГРАФИЯ (REFERENCES)

- [1] Di Fazio A.R, Erseghe T., Ghiani E., Murrioni M., Siano P., Silvestro F. Integration of renewable energy sources, energy storage systems, and electrical vehicles with smart power distribution networks., Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing volume 4, pp. 663–671 (2013) DOI10.1007/s12652-013-0182-y.
- [2] Celli G., Giani E., Soma G.G., Pilo F. Planning of Reliable Active Distribution Systems. CIGRE

- 2012 Session, Paris, 2012. p.8
DOI:10.1109/PES.2010.5590051.
- [3] D'Adamo C. Active Distribution Networks: General Features, Present Status of Implementation and Operation Practices. *Electra*, 2009, no. 246, pp. 22–39.
- [4] Mc Donald J. Adaptive Intelligent Power Systems: Active Distribution Networks. *Energy Policy*, 2008, no. 36, pp. 4346–4351. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.09.038.
- [5] Ippolito M., Telaretti E., Zizzo G., Graditi G. A New Device for The Control and the Connection to the Grid of Combined RES-Based Generators and Electric Storage Systems. *Clean Electrical Power (ICCEP)*, 2013 International Conference on: IEEE, 2013, pp.262–627. DOI:10.1109/ICCEP.2013.6586999.
- [6] Ahmed S. A. Awad; Dave Turcotte; Tarek H. M. El-Fouly. Impact Assessment and Mitigation Techniques for High Penetration Levels of Renewable Energy Sources in Distribution Networks: Voltage-Control Perspective. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy* pp.1–9 Date of Publication: 05 April 2021 DOI:10.35833/MPCE.2020.000177.
- [7] Abbas Rabiee Seyed, Masoud Mohseni-Bonab., Maximizing hosting capacity of renewable energy sources in distribution networks: A multi-objective and scenario-based approach. *Energy* Volume 120, 1 February 2017, pp. 417-430 DOI:10.1016/j.energy.2016.11.095.
- [8] Parastoo Nezamabadi; G.B. Gharehpetian., Electrical energy management of virtual power plants in distribution networks with renewable energy resources and energy storage systems. Published in: 16th Electrical Power Distribution Conference Date of Conference: 19-20 April 2011 Conference Location: Bandar Abbas, Iran ISBN:978-1-4577-0666-0.
- [9] Pavlos S. Georgilakis; Nikos D. Hatziargyriou., Optimal Distributed Generation Placement in Power Distribution Networks: Models, Methods, and Future Research. Published in: *IEEE Transactions on Power Systems* (Volume: 28, Issue: 3, Aug. 2013) Page(s): 3420-3428. Date of Publication: 23 January 2013. DOI:10.1109/TPWRS.2012.2237043.
- [10] N.S. Rau; Yih-Heui Wan., Optimum location of resources in distributed planning. *IEEE Transactions on Power Systems* (Volume: 9, Issue: 4, Nov. 1994) Page(s): 2014–2020 DOI:10.1109/59.331463.
- [11] Antonio Colmenar-Santos Cipriano Reino-Rio David Borge-Diez Eduardo Collado-Fernández. Distributed generation: A review of factors that can contribute most to achieve a scenario of DG units embedded in the new distribution networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 59, June 2016, Pages 1130-1148
- [12] Vinogradov A. V., Sejfullin A. Yu., Analiz koncepcij postroeniya sistem elektrosnabzheniya sel'skih potrebitelej, soderzhashchih neskol'ko istochnikov elektricheskoy energii. [Analysis of concepts of construction of power supply systems for rural consumers containing several sources of electric energy]. *Vestnik NGIEI 2020 №2 (105)* pp.32-43 (In Russian).
- [13] Gallyamova L. Kh. Analiz problem, vznikayushchikh pri podklyuchenii ob'ektov maloy generatsii k raspredelitel'noy seti. [Analysis of problems arising when connecting small generation facilities to the distribution network]. *Konferentsiya Dispetcherizatsiya i upravlenie v elektroenergetike, Kazan'*, 28–30 oktyabrya 2015 goda, pp: 69-74(In Russian).
- [14] Savvateev A. Perspektivy i problemy razvitiya raspredelennoj generacii v elektricheskikh setyah. [Prospects and problems of the development of distributed generation in electric networks]. *Conference «International Scientific review of the problems and prospects of modern science and education. Boston*, 22–23 noyabrya 2018 goda pp. 36-40. (In Russian).
- [15] SA „Rețelele Electrice de Distribuție Nord”. *Indicatorii tehnico-economici privind activitatea operatorului rețelei de distribuție pentru anii 2013-2020*. [Accessed 17.10.2020]. Available: <https://rednord.md/index.php/ro/indicatorii-tehnico-economici>.
- [16] SA „Rețelele Electrice de Distribuție Nord”. *Raportul conducerii SA „RED Nord” pentru anul 2019*. [Accessed 17.10.2020] Available: <https://rednord.md/index.php/ro/rapoarte-anuale-privind-activitatea-sa-red-nord>.
- [17] Biroul Național de Statistică. *Populația stabilă pe medii, Anuarul statistic al Republicii Moldova 2019*. [Accessed 21.10.2020] Available: <https://statistica.gov.md/pageview.php?l=ro&idc=263&id=2193>
- [18] Biroul Național de Statistică. *Principalele rezultate ale recensământului populației și al locuințelor 2014*. [Accessed 21.10.2020]. Available: <https://statistica.gov.md/newsview.php?l=ro&idc=168&id=5583>
- [19] Lezhnyuk P.; V. Komar; O. Buslavets. Impact of renewable sources of energy on the level of active power losses in distribution networks. 2016 2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) Kyiv, Ukraine 7-11 June 2016 DOI:10.1109/IEPS.2016.7521856.
- [20] Celli G.; S. Mocci; F. Pilo; M. Loddò. Optimal integration of energy storage in distribution networks. 2009 IEEE Bucharest PowerTech, Bucharest, Romania, 28 June-2 July 2009 DOI:10.1109/PTC.2009.5282268.
- [21] Divya, K. Battery energy storage technology for power systems – An overview. *Electric Power*

- Systems Research. – 2009. – No. 79. – P. 511–520. DOI: 10.1016/j.epsr.2008.09.017.
- [22] Gusev YU.P. Vliyaniye nakopitelej elektroenergii na propusknyuyu sposobnost' raspredelitel'nyh setej napryazheniem 6–10 kV. [Influence of electric energy storage devices on the capacity of distribution networks with a voltage of 6–10 kV]. Elektrichestvo. – 2018. – № 1. – S. 13–18 (In Russian).
- [23] Raubal' E.V., Rashevskaya M.A., Gamazin S.I., Loginova S.V. Perspektivy primeneniya nakopitelej elektroenergii dlya setej elektrosnabzheniya 0,4 kV. [Prospects for the use of energy storage devices for power supply networks of 0.4 kV]. Vestnik MEI. – 2013. – № 3. – S. 55–57 (In Russian).
- [24] Zhang Y., K. Meng, F. Luo et al. Optimal allocation of battery energy storage systems in distribution networks with high wind power penetration. IET Renewable Power Generation. – 2016. No.10 (8). pp.1105–1113. DOI:10.1049/iet-rpg.2015.0542.
- [25] Xiao J., Z. Zhang, L. Bai, H. Liang. Determination of the optimal installation site and capacity of battery energy storage system in distribution network integrated with distributed generation. Generation Transmission & Distribution IET. – 2016. – No. 3 (10). – pp. 601–607. DOI:10.1049/iet-gtd.2015.0130.
- [26] Sedghi M., A. Ahmadian, M. Aliakbar-Golkar. Optimal Storage Planning in Active Distribution Network Considering Uncertainty of Wind Power Distributed Generation. IEEE Transactions on Power Systems. – 2016. – No. 1 (31). – pp.304–316. DOI:10.1109/tpwrs.2015.2404533.
- [27] Qing Z., Y. Nanhua, Z. Xiaoping et al. Optimal siting & sizing of battery energy storage system in active distribution network. IEEE PES ISGT Europe 2013. pp.1–5. DOI:10.1109/isgteurope.2013.6695235.
- [28] Gusev Y.P., Soobbotin P.V. Razrabotka usovershenstvovannoj metodiki vybora parametrov i mest razmeshcheniya sistem nakopleniya elektroenergii v raspredelitel'nyh elektricheskikh setyah. [Novel method for sizing and placement of energy storage systems in distribution grids]. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering. 2019, vol. 19, no.2, pp. 48–61 DOI:10.14529/power190206 (In Russian).
- [29] The International Renewable Energy Agency (IRENA). *Innovation landscape for a renewable-powered future*. [online]. February 2019. [Accessed 12.10.2020]. ISBN: 978-92-9260-111-9. Available: <https://www.irena.org/publications/2019/Feb/Innovation-landscape-for-a-renewable-powered-future>.

Сведения об авторах.



Лупу Михаил Леонидович,
Институт Энергетики
Молдовы, Заведующий
лабораторией. Область
научных интересов связана с
исследованиями в области
возобновляемых источников
энергии и
энергоэффективности.
mihu.lupu@gmail.com



**Зайцев Дмитрий
Александрович**, Институт
Энергетики, кандидат
технических наук. Научные
интересы лежат в области
исследования режимов
энергосистем, содержащих
гибкие межсистемные связи.
dmitrii.zaitsev@energetica.md



**Тыршу Михаил
Степанович**
Институт Энергетики,
кандидат технических наук.
Научные интересы связаны с
диагностикой
высоковольтного
оборудования и силовой
электроникой.
tirsu.mihai@gmail.com



**Голуб Ирина
Владимировна**, Институт
Энергетики, кандидат
технических наук. Область
научных интересов: режимы
энергосистем, управляемые
линии электропередачи
переменного тока.
irina.golub@mail.ru