

Газизова О.В., Аллаяров А.А., Кондрашова Ю.Н., Патшин Н.Т.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕНЕРАТОРОВ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С УЧЕТОМ ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Одними из основных тенденций развития электроэнергетики в наши дни является увеличение доли объектов распределенной генерации и малой энергетики в общей выработке активной мощности. Это существенно усложняет конфигурацию электрических сетей и не исключает выход на раздельную с энергосистемой работу собственного источника питания и разнородной нагрузки. В связи с этим остается актуальным расчет и анализ устойчивости подобных режимов с учетом особенностей высоковольтных распределительных сетей, источников распределенной генерации, как правило, вырабатывающих не только электроэнергию, но и тепло, а также промышленных или городских нагрузок. В таких условиях при раздельной работе интерес представляет анализ статической, динамической, а в режимах ресинхронизации – и результирующей устойчивости. Разработан алгоритм определения границ динамической устойчивости промышленных генераторов в режиме выхода на раздельную с энергосистемой работу, использующий метод последовательного утяжеления. В качестве параметра утяжеления принимается дополнительная нагрузка на шинах связи с энергосистемой. Получен алгоритм исследования устойчивости синхронных и асинхронных двигателей собственных нужд, учитывающий загрузку двигателя и взаимное влияние источников питания и нагрузки. Полученные алгоритмы реализуются с помощью программного комплекса «КАТРАН» расчета установившихся и переходных режимов, позволяющего анализировать динамическую устойчивость машин переменного тока при выходе промышленной электростанции с нагрузкой на раздельную работу. Исследования проводились на примере местной тепловой электростанции с нагрузками в виде промышленных потребителей и электродвигателей собственных нужд. В ходе расчетов были определены области сохранения устойчивости в зависимости от небаланса мощности на шинах связи с энергосистемой и при заданной дополнительной нагрузке применительно к синхронным генераторам и двигателям собственных нужд. Полученные результаты позволяют разрабатывать мероприятия по повышению динамической устойчивости в условиях отделения от энергосистемы промышленных объектов распределенной генерации.

Ключевые слова: переходный режим, промышленный синхронный генератор, динамическая устойчивость, программное обеспечение, система электроснабжения, угол ротора.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из определяющих факторов развития современной энергетики является обеспечение энергетической эффективности работы промышленных предприятий, необходимое для поддержания конкурентоспособности продукции. Одной из важных составляющих в ценообразовании является стоимость потребленной на производство электроэнергии. Кроме того, обеспечение бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей в условиях энергоемкого промышленного производства требует наличия не менее двух независимых источников питания.

В связи с этим одной из тенденций современной энергетики является увеличение доли собственных источников электроэнергии промышленных предприятий, в частности, расширение объектов малой энергетики и распределенной генерации [1-5]. Это приводит к существенному усложнению как конфигурации сети, так и возможных режимов работы.

Отделение электростанции с нагрузкой от энергосистемы в результате действия противоаварийной автоматики является одним из наименее благоприятных режимов с точки зрения динамической устойчивости. В таких режимах должно быть обеспечено сохранение динамической устойчивости как источников питания, так и нагрузки [6-9].

Основным критерием обеспечения динамической устойчивости при выходе на раздельную работу, как известно, является изменение взаимных углов роторов

генераторов и синхронных двигателей, что требует разработки соответствующего программного обеспечения.

В связи с тем, что конфигурация сети, вышедшей на раздельную работу, может быть весьма сложной и неоднородной [10-13], а также к ней могут присоединяться разные по величине и характеру нагрузки [14-16], то возникает задача не только обеспечения динамической устойчивости при заданном состоянии сети, но и определение ее границ при изменении состава электрооборудования и различных величинах генерации и потребления реактивной мощности.

Это требует составления алгоритмов определения границ устойчивости работы генераторов и двигателей переменного тока, выходящих на раздельную с энергосистемой работу. Данные алгоритмы должны быть положены в основу соответствующего программного обеспечения и учитывать большое количество факторов. К таким факторам относятся характеристики первичных двигателей генераторов, небалансы мощностей между узлом и энергосистемой в предполагаемой точке отделения, технические и эксплуатационные характеристики двигательной нагрузки.

Результаты предварительных расчетов дают возможность разработать рекомендации по обеспечению динамической устойчивости промышленных систем электроснабжения.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА

Теория определения границ устойчивости в большей мере разработана применительно к статической устойчивости синхронных генераторов [8-9]. Это связано с тем, что оценка статической устойчивости производится без учета каких-либо дополнительных условий.

То есть электроэнергетическая система при крайне малом возмущении либо обладает статической устойчивостью, либо нет.

Применительно к динамической устойчивости такой подход не приемлем, поскольку всегда можно найти определенные аварийные условия, при которых генераторы выпадут из синхронизма [8-9].

В связи с этим определение границ динамической устойчивости промышленной электростанции с нагрузкой в различных режимах, например при выходе на раздельную работу, является актуальной [17-19]. Режим отделения от электроэнергетической системы генераторов с выделенной нагрузкой является весьма специфичным и сложным с точки зрения анализа динамической устойчивости. Анализ устойчивости посвящены труды [20-25]. Особенности исследования переходных режимов рассмотрены в [26-30].

Одним из важных факторов, влияющих на динамическую устойчивость в таком режиме, является небаланс мощностей в точке связи с энергосистемой непосредственно перед выходом на раздельную работу. Величина небаланса будет определять не только частоту и напряжение после отделения от энергосистемы, но и изменение взаимных углов роторов генераторов при переходном режиме. В связи с этим актуальным является составление алгоритма анализа границ динамической устойчивости синхронных генераторов с нагрузкой в зависимости от небаланса мощностей в начальный момент переходного режима.

В основу алгоритма (рис. 1) положен метод последовательных интервалов для анализа переходных режимов, последовательного эквивалентирования – установившихся режимов.

С целью анализа влияния величины небаланса активных и реактивных мощностей на границы динамической устойчивости был использован метод последовательного утяжеления.

Алгоритм предполагает исследование границ устойчивости путем изменения активной, реактивной и полной нагрузок на шинах связи с электроэнергетической системы и расчета динамической устойчивости в изменяющихся исходных условиях.

Помимо анализа устойчивости генераторов возникает необходимость исследования переходных режимов у двигательной нагрузки. Это связано с тем, что в промышленных сетях распространение находят источники распределенной генерации, имеющие сравнительно небольшие установленные мощности, тогда как отдельные электроприемники могут иметь номинальные мощности, сопоставимые с мощностями генераторов. Это усиливает взаимное влияние генераторов и двигателей при выходе на раздельную работу, требует учета динамических характеристик нагрузки и усложняет переходные режимы.

В связи с вышеизложенным разработанный алгоритм учитывает устойчивость синхронных и асинхронных двигателей следующим образом. После определения границ устойчивости синхронных генераторов выбираются предельные значения по активной и реактивной мощности и в данных точках и исследуется динамическая устойчивость двигателей при изменении из загрузки по активной и реактивной (у синхронных двигателей) мощности.

РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «КАТРАН»

В качестве объекта исследования была выбрана промышленная тепловая электростанция с генераторами различной установленной мощности и сложной конфигурацией сети (рис. 2). Связь с электроэнергетической системой осуществляется по шинам 110 кВ, к которым была подключена изменяющаяся при утяжелении режима нагрузка.

Установленная мощность генераторов составляет почти 300 МВт, в связи с чем величина дополнительной нагрузки изменяется в широких пределах.

Исследования проводились на основе вышеизложенного алгоритма с помощью специализированного программного комплекса «КАТРАН», позволяющего исследовать переходные режимы выхода электростанции на раздельную с энергосистемой работу.

В соответствии с приведенным алгоритмом осуществляется анализ переходного режима при выходе на раздельную работу при изменяющихся на шинах связи с энергосистемой нагрузки. На основании этих данных строятся графические зависимости, на которых отмечены границы динамической устойчивости генераторов (рис. 3, 4). Область внутри границы соответствует режиму работы электростанции, при котором сохраняется устойчивость. Графики построены для двух случаев: в первом – в зависимости от небаланса мощности с энергосистемой, во втором – при заданной дополнительной нагрузке. При этом каждый случай строится для различного сочетания активной и реактивной мощностей.

По полученным зависимостям можно сделать следующий вывод. Наибольшей динамической устойчивостью при выходе на раздельную работу рассматриваемый узел обладает при максимальной выдаваемой мощности генераторов. Узел может быть дополнительно нагружен на 70 МВт по активной мощности и на 90 МВАр по реактивной мощности с сохранением динамической устойчивости при выходе на раздельную работу.

При выходе электростанции на раздельную работу с энергосистемой работа в указанных областях позволит сохранить устойчивость генераторов и обеспечить надёжное электроснабжение собственных нужд и ответственных потребителей.

В результате действия делительной автоматики на раздельную работу с энергосистемой переходят промышленные электростанции с собственными нуждами, а иногда и с частью нагрузки. При этом как в генераторах, так и в двигательной нагрузке выделившегося на раздельную работу узла происходят переходные электромеханические процессы.

Для расчёта выбраны асинхронный и синхронный двигатели. В качестве асинхронного приняли двигатель, приводящий в действие циркуляционный насос, питающийся с шин 3,15 кВ. В качестве синхронного приняли двигатель, приводящий в действие насос, питающийся с секции 6 кВ. Расчёты производятся для момента времени, когда все генераторы узла находятся в работе.

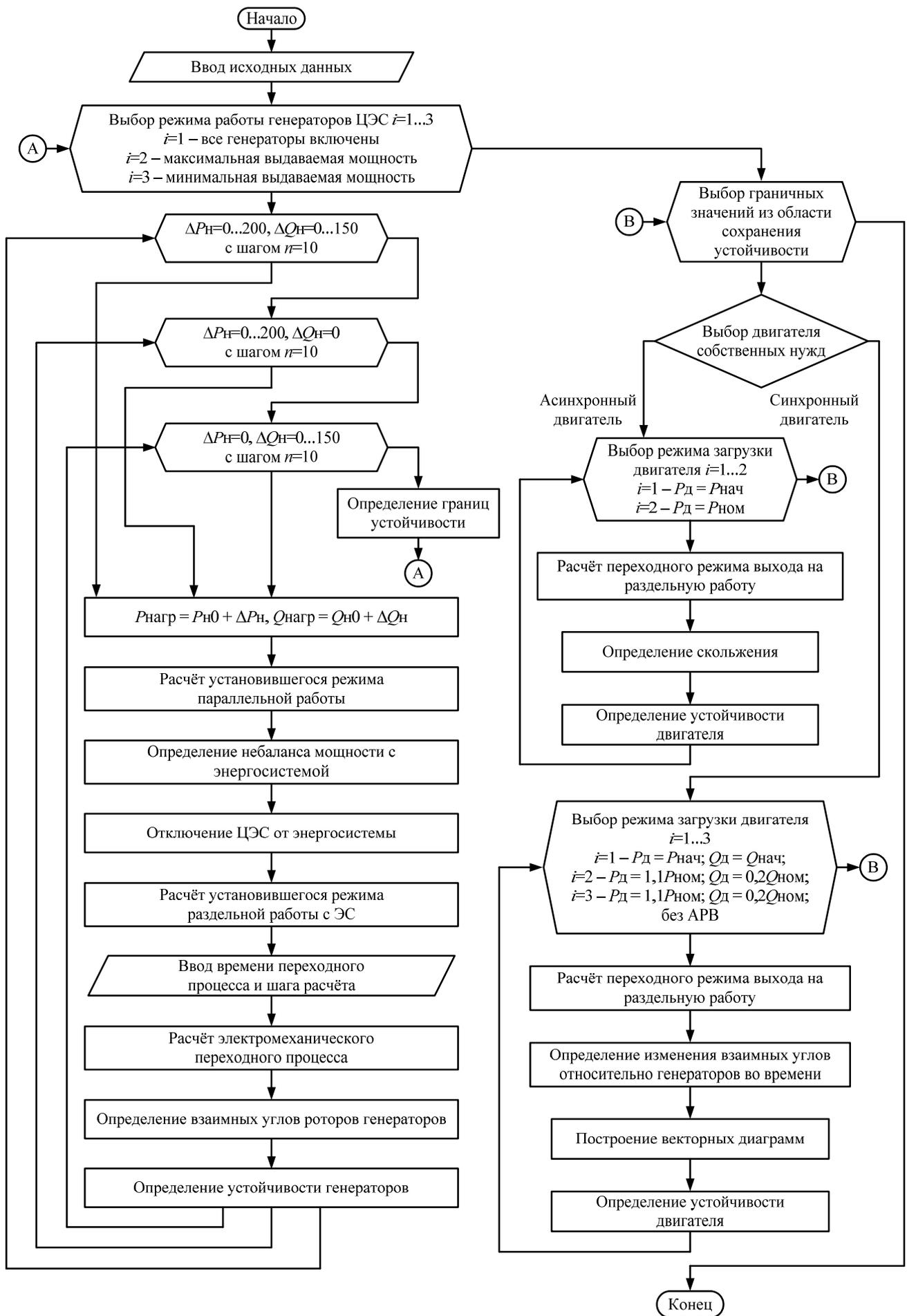


Рис. 1. Алгоритм определения границ динамической устойчивости

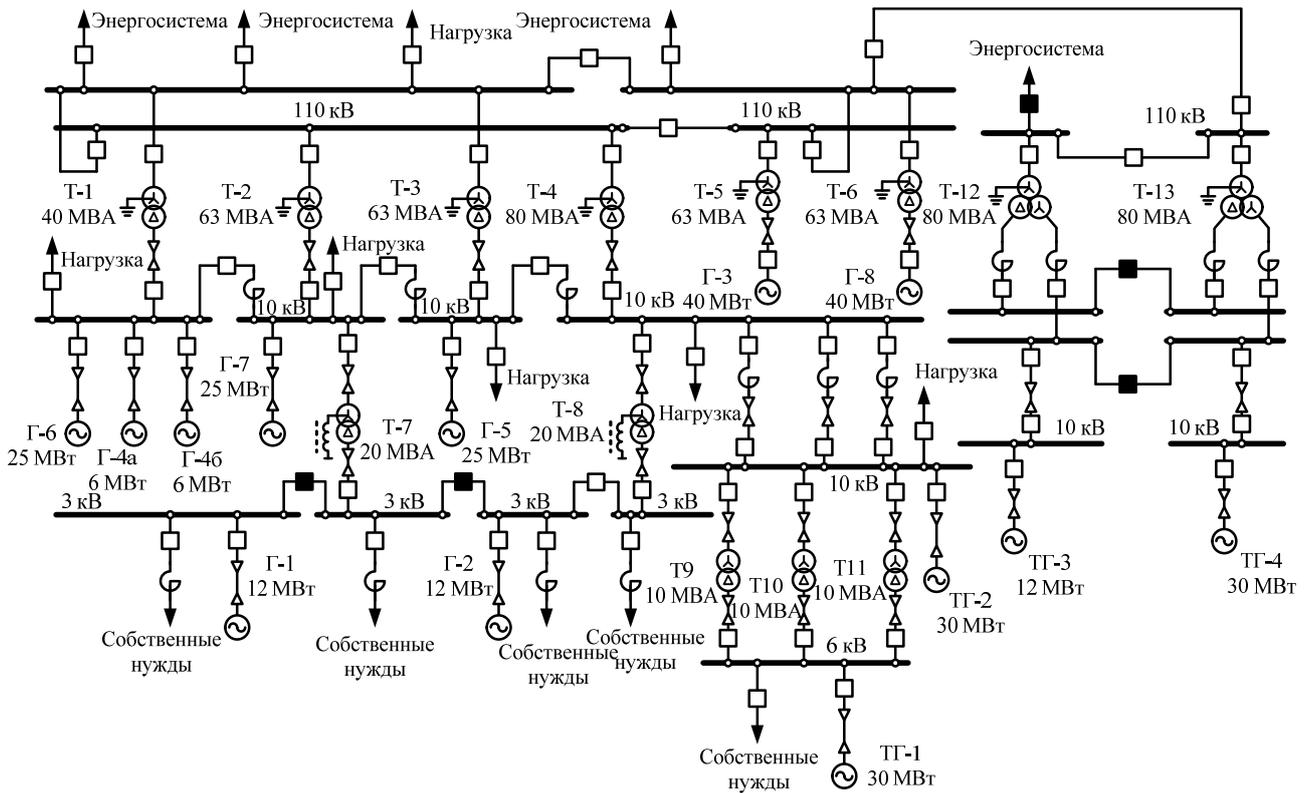


Рис. 2. Исследуемая система электроснабжения

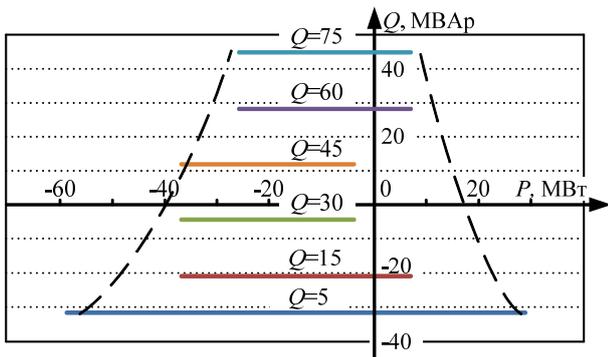


Рис. 3. Область сохранения устойчивости в зависимости от небаланса мощностей с энергосистемой

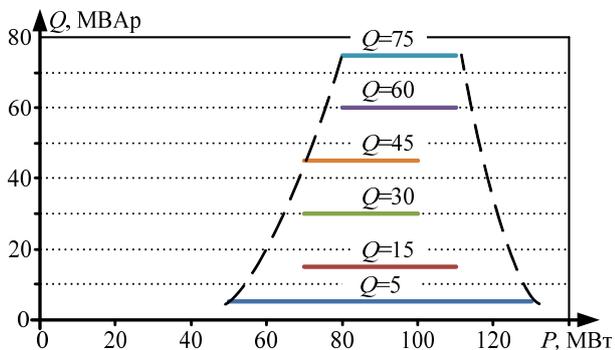


Рис. 4. Область сохранения устойчивости в зависимости от величины дополнительной нагрузки

В качестве дополнительной нагрузки, с которой рассматриваемый узел выходит на раздельную работу с сетью, выбираются такие значения активной и реактивной мощности, которые соответствуют границам области сохранения устойчивости генераторов.

Расчёты устойчивости асинхронного двигателя проведены для двух режимов: при действительном (около 50%) и номинальном значениях активной мощности. Для синхронного двигателя расчёт проведён для трёх режимов: в первом мощность двигателя соответствует действительной (около 50%), во втором – активная на 10% больше номинальной, реактивная составляет 20% от номинальной; в третьем – отключается автоматический регулятор возбуждения.

Для наглядности на рис. 5 показаны векторные диаграммы взаимных углов генераторов и СД для избыточного узла. Векторные диаграммы построены для двух моментов времени.

Таким образом, приёмники собственных нужд сохраняют устойчивость при выходе узла на раздельную работу.

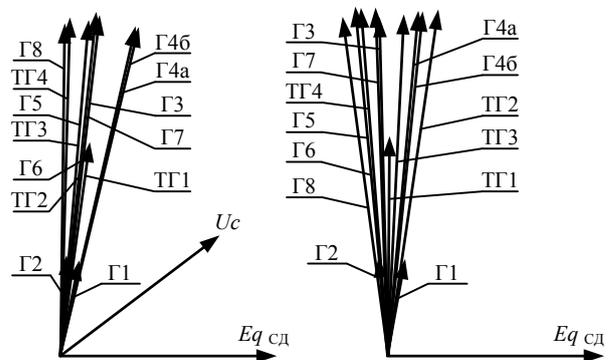


Рис. 5. Векторные диаграммы взаимных углов генераторов и синхронного двигателя при избыточном узле и действительных значениях двигательной нагрузки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный алгоритм позволяет оценить границы динамической устойчивости промышленной электростанции с нагрузкой при выходе на раздельную с энергосистемой работу. Это актуально в условиях увеличения доли источников распределенной генерации и энергоемких приемников.

Исследование режимов осуществляется с помощью программного комплекса «КАТРАН», позволяющего производить расчет переходных электромеханических процессов промышленных систем электроснабжения, имеющих собственные источники электроэнергии, энергоемкие электроприемники и сложную конфигурацию сети.

Проведенные расчеты дают возможность разработки мероприятий по повышению динамической и результирующей устойчивости в условиях отделения электростанции от электроэнергетической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варганов Д.Е., Варганова А.В., Баранкова И.И. Применение экономико-математических моделей газопоршневых установок с целью повышения эффективности работы энергоузлов с источниками распределенной генерации // *Электротехнические системы и комплексы*. 2016. № 4 (33). С. 29–34.
2. Построение технико-экономических моделей турбогенераторов и котлоагрегатов собственных электростанций промышленных предприятий / А.В. Кочкина, А.В. Малафеев, Н.А. Курилова, Р.П. Нетуцкий // *Электротехнические системы и комплексы*. 2013. №21. С. 247–252.
3. Ачитаев А.А., Удалов С.Н., Юманов М.С. Повышение запаса регулировочной способности генераторов в энергетических системах с распределенной генерацией // *Электротехника. Электротехнология. Энергетика: сб. науч. трудов VII Международной научной конференции молодых ученых; Новосибирский государственный технический университет; Межвузовский центр содействия научной и инновационной деятельности студентов и молодых ученых Новосибирской области*. Новосибирск, 2015. С. 8–10.
4. Анализ переходных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий, имеющих в своем составе объекты малой энергетики / О.В. Буланова, А.В. Малафеев, Ю.Н. Ротанова, В.М. Тарасов // *Промышленная энергетика*. 2010. №4. С. 22–28.
5. Shevchenko A.F., Pristup A.G., Novokreshchenov O.I., Toporkov D.M., Korneev V.V. Construction and Design Features of Permanent Magnet electric Motors for General Industrial Purposes // *Russian Electrical Engineering*. 2014. Т. 85. №12. С. 748–751.
6. Комплексная оценка эффективности токовых и дистанционных защит в сетях 110–220 кВ в условиях магнитогорского энергетического узла / Б.И. Заславец, В.А. Игуменцев, Н.А. Николаев, А.В. Малафеев, О.В. Буланова, Ю.Н. Ротанова, Е.А. Панова // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика*. 2011. №15. С. 14–21.
7. Оценка эффективности релейной защиты в сетях 110–220 кВ сложных систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями / Игуменцев В.А., Заславец Б.И., Николаев Н.А., Малафеев А.В., Буланова О.В., Кондрашова Ю.Н., Панова Е.А. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 141 с.
8. Жданов П.С. Вопросы устойчивости энергетических систем / под ред. Л.А. Жукова. М.: Энергия, 1979. 456 с.
9. Кимбарк Э. Синхронные машины и устойчивость электрических систем. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1960. 392 с.
10. Варганова А.В., Хужина З.Б. Определение величин экономических плотностей тока в условиях современного рынка на электротехническое оборудование // *Электротехнические системы и комплексы*. 2017. №3(36). С. 23–28.
11. The Algorithm of Economically Advantageous Overhead Wires Cross Section Selection Using Corrected Transmission Lines Mathematical Models / Kornilov G.P., Panova E.A., Varganova A.V. // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 129. P. 951–955.
12. Газизова О.В., Абдулхаликова А.А. Исследование пропускной способности питающих линий электропередачи крупного промышленного энергетического узла // *Электротехнические системы и комплексы*. 2014. №2(23). С. 48–52.
13. Варганова А.В. О методах оптимизации режимов работы электроэнергетических систем и сетей // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика*. 2017. Т. 17. № 3. С. 76–85.
14. Karandaev A.S., Khramshin V.R., Evdokimov S.A., Kondrashova Yu.N., Karandaeva O.I. Methodology of calculation of the reliability indexes and life time of the electric and mechanical systems // *Proceedings of 2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2014*. P. 1–6.
15. Gazizova O.V., Malafeyev A.V., Kondrashova Yu.N. Mathematical simulation of the operating emergency conditions for the purpose of energy efficiency increase of thermal power plants management // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. "International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2015, MEACS 2015"*. 2016. P. 012056.
16. Оценка регулирующего эффекта выпрямительной нагрузки для определения параметров установившихся режимов систем электроснабжения промышленных предприятий / Н.А. Николаев, О.В. Буланова, А.В. Малафеев, Ю.Н. Кондрашова, В.М. Тарасов // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. 2011. №4. С. 115–118.
17. Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н. Исследование динамической устойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями при отделении от энергосистемы в результате короткого замыкания // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*. 2008. №17(117). С. 72–74.
18. Kondrashova Y.N., Gazizova O.V., Malapheev A.V. Increasing the efficiency of power resource management as a solution of issues of the power supply system stability // *Procedia Engineering* 2015. Vol. 128. P. 759–763.
19. Удалов С.Н., Ачитаев А.А., Юманов М.С. Исследование режимов работы ветроэнергетической установки на базе электромагнитной трансмиссии в составе автономной системы электроснабжения // *Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность*. 2015. № 5. С. 32–35.
20. Xiufeng, Shi Research on Measures to Improve Stability of the Power System / Shi Xiufeng, Mu Shiguang // *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 742 (2015), pp. 648–652.
21. Hazarika, D. New method for monitoring voltage stability condition of a bus of an interconnected power system using measurements of the bus variables // *IET Generation, Transmission & Distribution*. Oct 2012, Vol. 6, Issue 10, pp. 977–985.

22. Satheesh, A. Maintaining Power System Stability with Facts Controller using Bees Algorithm and NN / A. Satheesh, T. Manigandan // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 10th March 2013. Vol. 49. Issue 1. P. 38–47.
23. Boudour, Mohamed Power System Dynamic Security Mapping Using Synchronizing and Damping Torques Technique / Mohamed Boudour, Abdelhafid Hellal // *The Arabian Journal for Science and Engineering*, Volume 30, Number 1B.
24. Harikrishna, D. Dynamic Stability Enhancement of Power Systems Using Neural-Network Controlled Static-Compensator / D. Harikrishna, N.V. Srikanth // *TELKOMNIKA*. Vol.10, No.1, March 2012, pp. 9–16.
25. Sujatha, Er.S. Transient Stability Enhancement of Tneb 400 kV Transmission Network with SVC / Er.S. Sujatha, Dr.R. Anitha, Dr.P. Selvan, Er.S. Selvakumar // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 10th May 2014. Vol. 63, Issue 1, p 85–91.
26. Zhang, Rui Post-disturbance transient stability assessment of power systems by a self-adaptive intelligent system / Rui Zhang, Yan Xu, Zhao Yang Dong, Kit Po Wong // *The Institution of Engineering and Technology IET Gener. Transm. Distrib.*, 2015, Vol. 9, Iss. 3, pp. 296–305.
27. Welhazi, Yosra Power System Stability Enhancement Using FACTS Controllers in Multimachine Power Systems / Yosra Welhazi, Tawfik Guesmi, Imen Ben Jaoued, Hsan Hadj Abdallah // *J. Electrical Systems* 10–3 (2014): 276–291.
28. Akagi, Hirofumi Analysis of an Adjustable Speed Rotary Condenser for Power System Stabilization / Hirofumi Akagi, Kenji Takahashi, Toshiaki Kobayashi, Hiroaki Sugihara, Takaaki Kai // *Electrical Engineering in Japan*, Vol. 133, No.1, 2000.
29. Kothari, D.P. Power System Engineering / D.P. Kothari, I.J. Nagrath – Second Edition. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2008.
30. Определение асинхронной мощности синхронных генераторов в расчетах электромеханических переходных процессов при несимметричных режимах / Буланова О.В., Малафеев А.В., Николаев Н.А., Ротанова Ю.Н., Панова Е.А. // *Электрика*. 2010. №8. С. 24–26. *Automation and Control Systems (MEACS)*. 2015.

Поступила в редакцию 15 марта 2018 г.

INFORMATION IN ENGLISH

DEFINITION OF BOUNDARIES OF THE DYNAMIC STABILITY OF GENERATORS AT INDUSTRIAL POWER PLANT TAKING INTO ACCOUNT MOTOR LOAD

Olga V. Gazizova

Ph.D. (Eng.), Associate Professor, the Department of Electric Power Supply of Industrial Enterprises, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: logan_b_7@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9416-672X>

Azat A. Allayarov

Master's Degree student, the Department of Electric Power Supply of Industrial Enterprises, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Yulia N. Kondrashova

Ph.D. (Eng.), Associate Professor, the Department of Electric Power Supply of Industrial Enterprises, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5280-5666>.

Nikolay T. Patshin

Ph.D. (Eng.), Associate Professor, the Department of Electric Power Supply of Industrial Enterprises, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Abstract. One of the main trends of development of electric power today is to increase the proportion of facilities of distributed generation and small-scale power generation in total active power. This complicates the configuration of the electrical network and does not exclude separate output on the power grid work own power source and diverse loads. In this regard, it is important to be able to calculate and analyze the stability of such regimes allowing for the high-voltage distribution networks, distributed sources of generation usually generating not only electricity but also heat, as well as industrial or urban voltage. In such circumstances, during separate operation, it is of great interest to carry out the analysis of static, dynamic, and resynchronization mode and the resulting stability. The research group developed an algorithm for determining the dynamic stability boundaries of industrial generators in output mode to the power grid to separate the work using the method of sequential weighting. Additional load on the bus lines connected to the power grid was used as the weighting parameter. The algorithm was obtained to study the stability of synchronous and asynchronous motors of own needs, taking into account the motor load and the mutual influence of the power source and the load. The resulting algorithms are developed by means of "KATRAN"

software calculating steady state and transient modes for analyzing dynamic stability of AC machines for industrial power output to the load on separate operation. The investigations were carried out using the local thermal power with loads in the form of consumer and auxiliary industrial motors as an example. The research group determined the stability regions depending on the power imbalance on the bus lines connected to the power grid for the preset additional load on the auxiliary synchronous generators and motors. The results obtained make it possible to develop measures for improving the dynamic stability in the conditions of separation of industrial facilities from the grid with distributed generation.

Keywords: transitional regime, industrial synchronous generator, dynamic stability, software, power supply system, rotor angle.

REFERENCES

1. Varganov D.E., Varganova A.V., Barankova I.I. Application of econometric models of gas piston plants in order to increase the efficiency of power unit with distributed generation sources. *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes]. 2016. no. 4(33), pp. 29–34. (In Russian)

2. Kochkina A.V., Malafeev A.V., Kurilova N.A., Netupsky R.P. Construction of the technical and economic models of auxiliary turbine generators and boilers of a power plant. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes]. 2013, no. 21, pp. 247–252. (In Russian)
3. Achitayev A.A., Udalov S.N., Yumanov M.S. Increase of an inventory of adjusting ability of generators in power systems with distributed generation. *Elektrotekhnika. Elektrotekhnologiya. Energetika. Sbornik nauchnykh trudov VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchyenykh* [Electrical engineering. Electrotechnology. Power engineering collection of scientific works of the VII International scientific conference of young scientists]. Novosibirsk State Technical University; Interuniversity center of assistance of scientific and innovative activities of students and young scientists of the Novosibirsk region. 2015, pp. 8–10. (In Russian)
4. Bulanova, O.V., Malafeev A.V., Rotanova Y.N., Tarasov V.M. Analysis of transient modes of power supply systems of industrial enterprises, having in its composition objects of small energy. *Promyshlennaya energetika* [Industrial Power]. 2010, no. 4, pp. 22–28. (In Russian)
5. Shevchenko A.F., Pristup A.G., Novokreshchenov O.I., Toporkov D.M., Korneev V.V. Construction and Design Features of Permanent Magnet electric Motors for General Industrial Purposes. *Russian Electrical Engineering*. 2014, vol. 85, no. 12, pp. 748–751.
6. Zaslavets B.I., Igumenshev V.A., Nikolaev N.A., Malafeev A.V., Bulanova O.V., Rotanova Y.N., Panova E.A. Comprehensive evaluation of current and remote-shield networks 110–220 kV in terms of energy Magnitogorsk node. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika*. [Bulletin of South Ural State University. Series: Energy]. 2011, no. 15, pp. 14–21. (In Russian)
7. Igumenshev V.A., Zaslavets B.I., Nikolaev N.A., Malafeev A.V., Bulanova O.V., Kondrashova Y.N., Panova E.A. *Otsenka effektivnosti releynoy zashchity v setyakh 110–220 kV slozhnykh sistem elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy s sobstvennymi elektrostantsiyami* [Evaluating the effectiveness of relaying networks 110–220 kV power complex systems of industrial enterprises with their own power plants]. Magnitogorsk, Nosov Magnitogorsk State. Tehn. University, 2011. 141 p. (In Russian)
8. Zhdanov P.S. *Voprosy ustoychivosti energeticheskikh sistem* [Questions of stability of power systems] Ed. L.A. Zhukov. Moscow: Energy, 1979. 456 p. (In Russian)
9. Kimbark E. *Sinkhronnye mashiny i ustoychivost elekticheskikh sistem* [Synchronous machines and stability of electrical systems]. Moscow, Leningrad, Gosenergoizdat, 1960. 392 p. (In Russian)
10. Khuzhina Z.B., Varganova A.V. Determination of the economic current density conditions on electrical equipment. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes]. 2017, no. 3 (36), pp. 23–28. (In Russian)
11. Kornilov G.P., Panova E.A., Varganova A.V. Algorithm of Economically Advantageous Overhead Wires Cross Section Selection Using Corrected Transmission Lines Mathematical. *Procedia Engineering*. 2015. vol. 129, pp. 951–955.
12. Gazizova, O.V., Abdulkhalikova A.A. Bandwidth transmission lines feeding study of a large industrial energy hub. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes]. 2014, no. 2 (23), pp. 48–52. (In Russian)
13. Varganova A.V. On the methods of optimization of operating modes of electric power systems and networks. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of South Ural State University]. Series: Energy. 2017. vol. 17, no. 3, pp. 76–85. (In Russian)
14. Karandaev A.S., Khramshin V.R., Evdokimov S.A., Kondrashova Yu.N., Karandaeva O.I. Methodology of calculation of the reliability indexes and life time of the electric and mechanical systems. Proceedings of 2014, International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2014, pp. 1–6.
15. Gazizova O.V., Malafeyev A.V., Kondrashova Y.N. Mathematical simulation of the operating emergency conditions for the purpose of energy efficiency increase of thermal power plants management. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. "International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2015, MEACS 2015". 2016, pp. 012056.
16. Nikolaev N.A., O.V. Bulanov, A.V. Malafeev, Y.N. Kondrashova, V.M. Tarasov. Qualification regulating rectification effect for load-defined division parameters established modes of power supply systems of industrial enterprises. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Elektromekhanika*. [Proceedings of the higher educational institutions. Electromechanics]. 2011, no. 4. pp. 115–118. (In Russian)
17. Rotanova Yu.N., Malafeev A.V., Bulanova O.V. Research of dynamical stability of industrial power systems with own power stations at separation from the electric system in the result of short-circuit failure. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the South Ural State University]. Series "Computer Technologies, Automatic Control & Radioelectronics". 2008, no. 17 (117), pp. 72–74. (In Russian)
18. Kondrashova Y.N., Gazizova O.V., Malapheev A.V. Increasing the efficiency of power resource management as a solution of issues of the power supply system stability. *Procedia Engineering*. 2015, vol. 128, pp. 759–763.
19. Udalov S.N. Achitayev A.A., Yumanov M.S. Research of operation modes of wind power installation on the basis of electromagnetic transmission as a part of autonomous system of electrical power supply. *Elektro. Elektrotekhnika, elektroenergetika, elektrotekhnicheskaya promyshlennost*. [Electro. Electrical engineering, power industry, electrotechnical industry]. 2015, no. 5, pp. 32–35. (In Russian)
20. Xiufeng, Shi Research on Measures to Improve Stability of the Power System / Shi Xiufeng, Mu Shiguang – Applied Mechanics and Materials, Vol. 742 (2015), pp. 648–652.
21. Hazarika D. New method for monitoring voltage stability condition of a bus of an interconnected power system using measurements of the bus variables. IET Generation, Transmission & Distribution. Oct 2012, vol. 6, iss. 10, pp. 977–985.
22. Satheesh A., Manigandan T. Maintaining Power System Stability with Facts Controller using Bees Algorithm and NN. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 10th March 2013, vol. 49, Iss. 1, pp. 38–47.
23. Boudour Mohamed, Hellal Abdelhafid. Power System Dynamic Security Mapping Using Synchronizing and Damping Torques Technique. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 30, no. 1B.
24. Harikrishna D., Srikanth N.V. Dynamic Stability Enhancement of Power Systems Using Neural-Network Controlled Static-Compensator. TELKOMNIKA, vol. 10, no.1, March 2012, pp. 9–16.
25. Sujatha Er.S., Anitha Dr.R., Selvan Dr.P., Selvakumar Er.S. Transient Stability Enhancement of Tneb 400 kV Transmission Network with SVC. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 10th May 2014, vol. 63, iss. 1, pp. 85–91.
26. Zhang Rui, Xu Yan, Dong Zhao Yang, Wong Kit Po. Post-disturbance transient stability assessment of power systems

- by a self-adaptive intelligent system. The Institution of Engineering and Technology IET Gener. Transm. Distrib., 2015, vol. 9, iss. 3, pp. 296–305.
27. Welhazi Yosra, Guesmi Tawfik, Jaoued Imen Ben, Abdallah Hsan Hadj. Power System Stability Enhancement Using FACTS Controllers in Multimachine Power Systems. *Electrical Systems* 10-3 (2014): 276–291.
28. Akagi Hirofumi, Takahashi Kenji, Kobayashi Toshiaki, Sugihara Hiroaki, Kai Takaaki. Analysis of an Adjustable Speed Rotary Condenser for Power System Stabilization. *Electrical Engineering in Japan*, vol. 133, no. 1, 2000.
29. Kothari D.P., Nagrath I.J. Power System Engineering. Second Edition. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2008.
30. Bulanova O.V, Malafeev A.V., Nikolaev N.A., Rotanova Yu.N., Panova E.A. Determination of asynchronous power of the synchronous generators in calculations of electromechanical transient phenomena in case of the asymmetrical modes. *Elektrika* [Electrician]. 2010, no. 8, pp. 24–26. (In Russian)

Определение границ динамической устойчивости генераторов промышленной электростанции с учетом двигательной нагрузки / О.В. Газизова, А.А. Аллаяров, Ю.Н. Кондрашова, Н.Т. Патшин // *Электротехнические системы и комплексы*. 2018. № 2(39). С. 34-41. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-2\(39\)-34-41](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-2(39)-34-41)

Gazizova O.V., Allayarov A.A., Kondrashova Yu.N., Patshin N.T. Definition of Boundaries of the Dynamic Stability of Generators at Industrial Power Plant Taking into Account Motor Load. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2018, no. 2(39), pp. 34-41. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-2\(39\)-34-41](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-2(39)-34-41)