© Л.В. Фетисов, Н.В. Роженцова, О.А. Булатов

(cc) BY

УДК 621.316

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЕТЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Л.В. Фетисов, Н.В. Роженцова, О.А. Булатов

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

Резюме: *Данная статья посвящена разработке мероприятий по повышению качества электроэнергии в сетях низкого напряжения, путём установки вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ), и расчёту экономического эффекта в сравнении с альтернативными вариантами решения задач по обеспечению надежного, качественного и доступного электроснабжения потребителей.*

Ключевые слова: *вольтодобавочный трансформатор, повышение качества электроэнергии, электроснабжение потребителей, экономический эффект.*

DOI:*10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-99-106.*

Для цитирования: *Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатов О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2018. Т. 20. № 11-12. С. 99-106. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-99-106.*

IMPROVING THE QUALITY OF ELECTRIC POWER IN LOW VOLTAGE NETWORKS

L.V. Fetisov, N.V. Rozhencova, O.A. Bulatov

Kazan state power engineering university, Kazan, Russia

Abstract: *This article is devoted to development of actions for improvement of quality of the electric power in low voltage networks, by installation of booster transformers (BT), and to calculation of economic effect in comparison with alternative versions of the solution of tasks of ensuring reliable, high-quality and available power supply of consumers.*

Keywords: *the booster transformer, improvement of quality of the electric power, power supply of consumers, economic effect.*

For citation: *L.V. Fetisov, N.V. Rozhencova, O.A. Bulatov. Improving the quality of electric power in low voltage networks. Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS 2018. vol. 20. № 11-12. pp. 99-106. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-99-106.*

Для электросетевых компаний России и мира соблюдение нормативного уровня напряжения является актуальной проблемой. Как в производстве, так и в быту применяется

множество электроприборов, в состав которых входят элементы, достаточно чувствительные к изменениям напряжения от допустимых значений. Сбой в их работе может обусловить выход из строя оборудования или расстройство технологических процессов. В свою очередь, это может привести к экономическим потерям для электросетевых компаний, так как потребитель вправе потребовать не только замену вышедшего из строя оборудования, но и денежные средства за недопоставку электрической энергии.

Выбор темы обоснован необходимостью повышения качества электроэнергии в распределительных сетях низкого напряжения с большей интенсивностью за счёт установки вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ), ускоряющих решение проблем по падению напряжения на устаревших воздушных линиях, а также обеспечивающих экономию материальных средств.

В любых электросетевых компаниях есть такие объекты, с которых постоянно поступают жалобы от потребителей на качество электроэнергии. Основной причиной является большая протяженность воздушных линий (ВЛ), которые изначально при строительстве не были рассчитаны на такое количество новых подключений.

Список основных показателей качества электрической энергии регламентируется ГОСТ 32144-2013 (вступил в силу 1 июля 2014 года) и выглядит следующим образом:

- установившееся отклонение напряжения;
- размах изменения напряжения;
- доза фликера;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения;
- отклонение частоты;
- длительность провала напряжения;
- коэффициент временного перенапряжения и т.п.

В соответствии с ГОСТ 32144-2013 положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10% номинального значения напряжения в течение 100% времени интервала в одну неделю.

Восстановить уровень напряжения до допустимого можно следующими способами: путем реконструкции старой линии 0,4 кВ с увеличением номинальных сечений проводников; строительством новой линии 0,4 кВ или подведением более высокого класса напряжения ближе к потребителю со строительством новой понижающей трансформаторной подстанции. Данные способы требуют значительных финансовых вложений, а также времени для их реализации.

В качестве примера по установке ВДТ рассмотрим филиал ОАО «Сетевая компания» Альметьевские электрические сети Республики Татарстан, подразделение Альметьевских районных электрических сетей, где по сей день решается проблема «старых», неэффективных сетей, спроектированных в 70-х гг. прошлого века без учета существующего сегодня роста нагрузок. Потребность в реконструкции старых линий есть по нескольким объектам, а финансирование в ближайшие годы планируется не по всем объектам. Проблемные участки с частыми жалобами потребителей на низкое напряжение существуют во многих населенных пунктах Альметьевского района Республики Татарстан. Соответственно, целесообразность применения ВДТ в сети 0,4кВ для повышения качества и стабилизации напряжения как временной меры до реконструкции объекта имеет место быть.

Вольтодобавочный трансформатор (ВДТ) – электрический трансформатор с переменным коэффициентом трансформации, включаемый своей вторичной обмоткой последовательно в цепь вторичной обмотки другого трансформатора для регулирования или стабилизации напряжения в цепи нагрузки. Первичная обмотка ВДТ питается через регулируемый автотрансформатор низшего напряжения основного трансформатора. Разновидность ВДТ – линейные трансформаторы для поперечного регулирования,

позволяющие сдвигать по фазе напряжение сети, не изменяя его значения. В этом случае первичная обмотка регулируемого автотрансформатора каждой фазы включается на линейное напряжение двух других фаз. Вследствие улучшения коэффициента мощности достигается снижение потерь напряжения в электрической сети.

Вольтодобавочный трансформатор (бустер) – устройство, которое устанавливается в непосредственной близости от потребителей, имеющих пониженное напряжение, для его повышения. Изделия компактно, габариты составляют 482 мм в ширину, 360 мм в глубину и 974 мм в высоту. Монтируется на одностоечной опоре и имеет массу не более 170 кг. Основа бустера – это три автотрансформатора с пошаговым регулированием уровня выходного напряжения отдельно от каждой фазы. Время срабатывания устройства (время стабилизации уровня напряжения) составляет 300 мс. Необходимые защитные устройства, ограничители перенапряжений и предохранители уже входят в комплект устройства.

На рис. 1 показана принципиальная схема включения вольтодобавочного трансформатора.

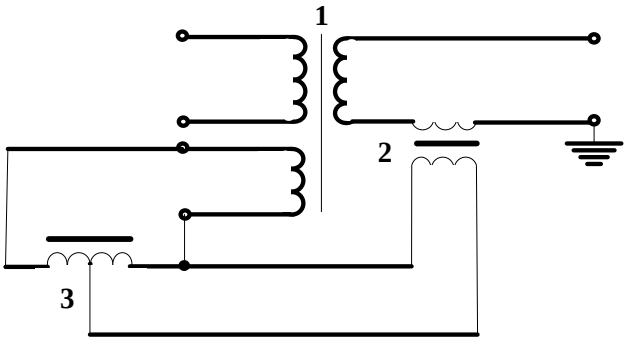

Рис. 1. Принципиальная схема включения вольтодобавочного трансформатора: 1–основной трансформатор; 2 – вольтодобавочный трансформатор; 3 – автотрансформатор

После поступления многочисленных жалоб на низкое напряжение от потребителей было решено исправить данную проблему путем установки ВДТ-45 кВА компании *Ensto-Booster VB*45*K*-3*P*-003. В табл. 1 приведены его основные технические характеристики.

Таблица 1

Технические характеристики VB45K3P

Основные характеристики	Значения
Номинальная мощность, кВА	45
Номинальный ток, А	3х65
Максимальный ток на входе, А	3х75
Корпус	Окрашенная оцинкованная сталь, *IP*55
Сеть	220В АС 50 Гц 3-фазы *TN* (*TN-C*)
Время стабилизации, мс	300
КПД, %	98
Масса, кг	170
Уровни регулирования	20% (*U*вх = 165 … 198 В) 13,3% (*U*вх = 198 … 209 В) 6,5% (*U*вх = 209 … 222 В)
Байпас по пониженному напряжению	*U*вх> 222 В
Байпас по нормальному напряжению	*U*вх< 165 В
Допустимая температура окружающей среды, °С	-50…+60

После установки вольтодобавочного трансформатора были произведены замеры уровня напряжения прибором Энерготестер ПКЭ на участке до установленного ВДТ, а также в конце линии до и после установки бустера. Длина ВЛ-0,4кВ от распределительного устройства-0,4кВ (РУ-0,4кВ) до концевой опоры составляет 0,796 км, марка провода – А-35. После снятия суточных значений уровня напряжения получились следующие результаты (рис. 2), где *UA, UB, UC* - напряжение на фазах *A, B, C* соответственно.

Из векторной диаграммы на рис. 2 видно, что уровень напряжения на входе в ВДТ в норме и соответствует ГОСТ 32144-2013, длина магистральной линии от РУ-0,4кВ до установленного ВДТ составляет 0,6 км.

На векторной диаграмме (рис. 3) показаны значения напряжения в конце линии до установки бустера. Во время пиковых нагрузок (с 6:00 до 8:00 и с 17:00 до 23:00) уровень напряжения спадает до значений, приближенных к допустимому отклонению напряжения: ±10 %. Подключение еще одного потребителя к данной линии может привести к расстройству технологического процесса и, как следствие, к нарушениям в работе электрооборудования у потребителей.

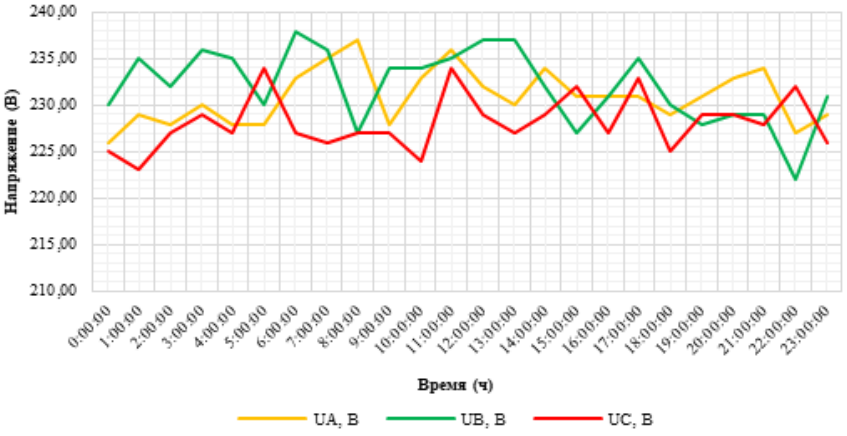

Рис. 2. Векторная диаграмма. Уровень напряжения на входе в ВДТ (*U*вх)

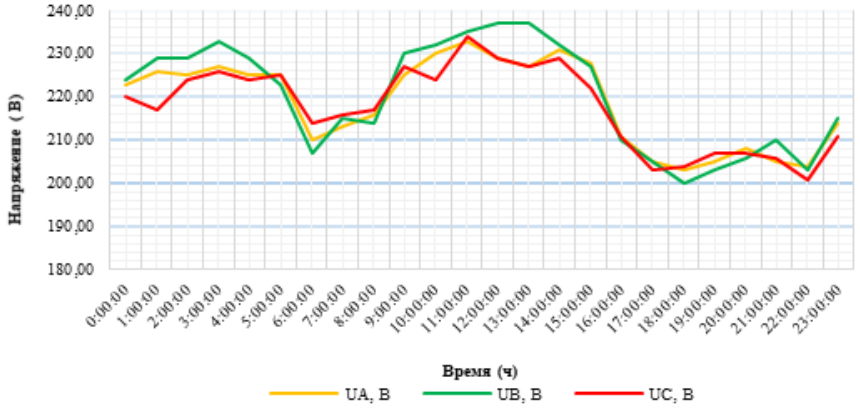

Рис. 3. Векторная диаграмма. Напряжение в конце линии до установки ВДТ

После установки ВДТ произведенные замеры показали, что напряжение у потребителя в конце линии значительно повысилось и стабилизировалось на уровне, превышающем номинальное (*U*ном=220В) на 1–7 %, что изображено на векторной диаграмме рис. 4.

Значения фазного напряжения в конце линии длиной 0,796 км после установки вольтодобавочного трансформатора полностью соответствуют пределам, установленным в ГОСТ 32144-2013.

До 2013 года в России, вследствие роста нагрузок и падения напряжения в конце некоторых линий электропередач (ЛЭП), задача по восстановлению уровня напряжения до допустимых значений решалась путем реконструкции ЛЭП, строительством новой ВЛ-0,4 кВ или установкой понижающей трансформаторной подстанции ближе к проблемному участку.

Сейчас же можно решить данную проблему путем установки ВДТ.

Рассмотрим 3 варианта и сравним: трудозатраты работников, использованные материалы для улучшения качества электроэнергии потребителей, а также пусконаладочные работы – это комплекс работ, выполняемых в период подготовки и проведения индивидуальных испытаний и комплексного опробования оборудования.

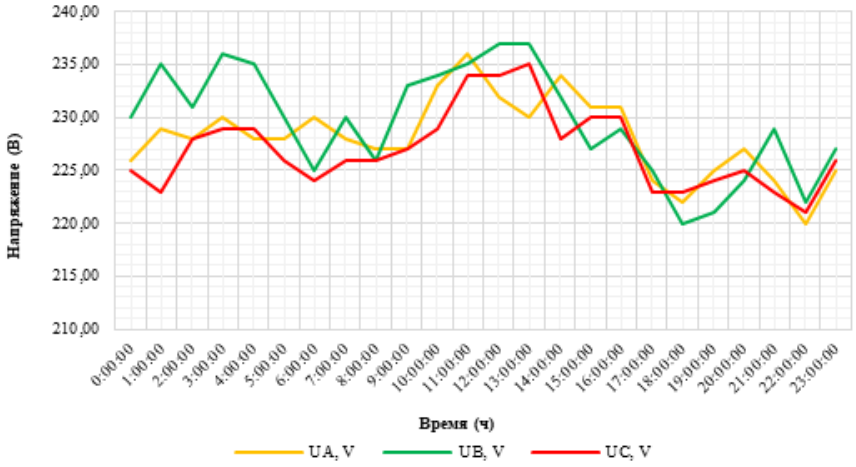

Рис. 4. Векторная диаграмма. Напряжение в конце линии после установки ВДТ

В качестве примера сравним три варианта:

1 – реконструкция ЛЭП с заменой провода на провод с большим сечением. Выбрана марка провода СИП-2 3х50+1х54,6.

2 – строительство участка ВЛ-6кВ с установкой ТП и строительство участка ВЛ-0,4 кВ до потребителей.

3 – установка ВДТ на существующей ЛЭП-0,4 кВ.

Стоимость затрат на осуществление модернизации приведена в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ методов по устранению низкого напряжения у потребителей

Объем работ*	Варианты модернизации		
	1 вариант	2 вариант	3 вариант
Стоимость материалов	218368	1932487	691008
Стоимость монтажа	44020	168042	24 869
Стоимость пусконаладочных работ	17767	42651	2735
ИТОГО	280155	2143180	718612
*Все цены указаны в российских рублях *(по состоянию на 2018 год)*			

Таким образом, из табл. 2 видно, что наиболее дорогостоящим методом по устранению низкого напряжения у потребителей является 2 вариант - строительство участка

ВЛ – 6 кВ с установкой ТП и строительство участка ВЛ – 0,4 кВ до потребителей. Этот вариант применяется реже не только из-за его дороговизны, но и из-за отсутствия места для строительства в населенных пунктах. При этом данный метод является наиболее надежным из представленных и может применяться в случае большой перспективы развития сетей в конкретной локации.

1 вариант – реконструкция ЛЭП с заменой провода на провод с большим сечением по затратам на материалы (провод, лента крепления, кронштейны, хомуты, ответвительные и анкерные зажимы, скрепа и т.п.) является наиболее выгодным, но при оперативном обслуживании не представляется возможным. Это объясняется тем, что сетевые организации закладывают бюджет на капитальный ремонт и строительство новых линий заблаговременно. А когда встает вопрос о скором разрешении проблемы по обеспечению качественной электроэнергии у потребителей, возникает множество нюансов, которые не позволяют оперативно решить проблему. Прежде всего, это заказ оборудования и материалов, который во многих сетевых организациях проходит поквартально.

Что же касается 3 варианта – установки ВДТ на существующей ЛЭП – 0,4 кВ, то здесь можно отметить, что при планировании бюджета на будущий год можно заложить несколько вольтодобавочных трансформаторов в зависимости от количества обслуживаемых электросетей и использовать их при необходимости. Преимуществом ВДТ является так же и возможность перенести ВДТ с одного проблемного участка на другой. На объектах, где решение вопроса низкого напряжения требует работ капитального характера, ВДТ можно применять как временное решение вопроса с дальнейшим разукрупнением или реконструкцией ВЛ-0,4кВ. Таким образом, можно максимально быстро отреагировать на жалобу без срочных капиталовложений. А со временем, когда будут проведены работы капитального характера и ВДТ будет не нужен, его легко можно перенести на другой объект, требующий стабилизации и повышения напряжения.

ВДТ наиболее эффективно использовать как завершающее решение проблемы низкого напряжения на ВЛ 0,4 кВ большой протяженности при отсутствии возможности разукрупнения ВЛ, в стесненных условиях, где нет возможности подвода сети 6 (10) кВ, нет возможности установить дополнительную комплектную трансформаторную подстанцию (КТП) или затраты на разукрупнение ВЛ-0,4кВ в несколько раз превосходят стоимость установки ВДТ.

Литература

1.Lypkivskyi K.O., Mozharovskyi A.G. Increasing the efficiency of using booster transformers with segmented winding composed of AC voltage stabilizer // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. 2016. №45. С. 86–92.

2.Vlasayevsky S., Klimash S., Klimash V. Principles for construction the compensators of reactive power with voltage stabilization for transformer substations // IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE 19. Сер. "Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport, EMMFT 2017". - Khabarovsk: Institute of Physics Publishing, 2017. С. 012043.

3.Булатов О.А. Анализ измерений качества электроэнергии после установки бустерного трансформатора // Материалы Международной научно-практической конференции «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли». Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2017.С. 86–90.

4.Воробьева Д.Ю., Глушкова А.И., Долгопол Т.Л. Повышение энергоэффективности систем электроснабжения сельских потребителей // Автоматизация и IT в энергетике. 2016. №6. С. 38–40.

5.Галиев А.Р., Николавеа О.Л., Сидоров А.Е. Оптимизация распределительных сетей электрической энергии при модернизации существующих // СОВРЕМЕННАЯ НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции / под общей редакцией А.И. Вострецова. Нефтекамск: Научно-издательский центр "Мир науки", 2017. С. 66–69.

6.Герасименко О.А., Панков С.Е. Экономические проблемы энергосбережения и повышения качества услуг по передаче электрической энергии // Экономика и предпринимательство. 2016. №12-3. С. 1171–1175.

7.Дулепов Д.Е., Кондраненкова Т.Е. Снижение потерь и повышение качества электрической энергии при несимметричных режимах в сельских распределительных электрических сетях // Электроэнергетика глазами молодежи – 2017 : Материалы VIII Международной научно-технической конференции. Самара: Самарский государственный технический университет, 2017. С. 328–331.

8.Жилин М.И., Воркунов О.В. Повышение качества электрической энергии // Приоритетные направления развития науки : Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Научное партнерство "Апекс", 2017. С. 83–85.

9.Журавлев Д.М., Балашов О.В., Мураховец В.М. Анализ технических решений для обеспечения требуемых показателей качества электроэнергии у потребителей в электрической сети 0,4 кВ // Энергетик. 2013. №9. С. 16–19.

10. Укьясов С.В., Рудых А.В. Способы повышения качества электрической энергии в распределительных сетях 0,38 кВ // Актуальные проблемы энергетики АПК : материалы VIII международной научно-практической конференции. Саратов: ООО «ЦеСАин», 2017. С. 242–247.

11. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4–10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. №9-10. С. 40–45.

Авторы публикации

Фетисов Леонид Валерьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» (ЭЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Роженцова Наталья Владимировна – канд. техн. наук, заведующая кафедрой «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» (ЭЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Булатов Олег Александрович – магистр Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

References

1. Lypkivskyi K.O. Mozharovskyi A.G., Increasing the efficiency of using booster transformers with segmented winding composed of AC voltage stabilizer//Praci Інституту elektrodinamiki akademii Nauk Nacionalnoi Ukraini. 2016. No. 45. P. 86–92.

2. Vlasayevsky S., Klimash S., Klimash V. Principles for construction the compensators of reactive power with voltage stabilization for transformer substations//IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE 19. CEP. "Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport, EMMFT 2017". Khabarovsk: Institute of Physics Publishing, 2017. P. 012043.

3. Bulatov O.A. Analysis of power quality measurements after installation buster transformer//Materials of the international scientifically - practical Conference "Achievements, problems and prospects of development of the oil and gas industry. Milano: Almetyevsk State oil Institute, 2017. P. 86–90.

4. Vorobyov D.Y., Glushkov A.I., Dolgopol T.L. Energy efficiency of power supply systems of rural consumers//automation and IT in the energy sector. 2016. No. 6. P. 38–40.

5. Galiev A.R., Nikolavea O.L., Sidorov A.E. Optimization of electricity distribution networks in the modernization of the existing//MODERN SCIENCE: CURRENT ISSUES and prospects of development of Materials International (part-time) scientific-practical the Conference. Under the general editorship of A.I. Vostretsova. Neftekamsk: Scientific publishing center "Science World", 2017. P. 66–69.

6. Gerasimenko, O.A., Punks S.E. Economic problems of saving energy and improving the quality of services for the transfer of electrical energy//Economics and entrepreneurship. 2016. No. 12-3. P. 1171–1175.
7. Dulepov D.E., Kondranenkova I.E. Reducing losses and improving the quality of electric energy in asymmetric modes in rural distribution electric networks//Power through the EYES of YOUTH-2017 : Materials VIII International Scientific and technical conference. Samara: Samara State Technical University, 2017. P. 328–331.
8. Zhilin M.I., Vorkunov O.V. Electric energy quality improvement // Priority directions of development of science collection of articles based on the materials of the international scientifically - practical Conference. In 2 parts. -Moscow: Limited liability company "Scientific partnership" Apex ", 2017. P. 83–85.
9. Zhuravlev D.M., Balashov O.V., Murahovec V.M. Analysis of technical solutions to ensure the required quality of electricity consumers in the 0.4 kV electric network//Energy. 2013. No. 9. P. 16–19.
10. Ukjasov S.V., Rudyh A.V. Methods for improving the quality of electric energy in distributive networks of 0.38 kV//ACTUAL PROBLEMS of ENERGY of AIC : materials VIII international scientific-practical Conference. Saratov: Ltd. "CeSAin", 2017. P. 242–247.
11. Fedotov A.I., Akhmetshin A.R., Abdrakhmanov R.S. Providing normative level voltage 0.4 -10 kV distributive networks using voltodobavochnyh transformer//PROCEEDINGS of HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS. ENERGY PROBLEMS. 2011. No. 9-10. P. 40–45.

Authors of the publication

Leonid V. Fetisov – PhD in Engineering sciences, Associate Professor Kazan state power engineering university, Kazan, Russia.

Natalia V. Rozhencova **–** PhD in Engineering sciences, Head the Department Kazan state power engineering university, Kazan, Russia.

Oleg A. Bulatov **–** Master Kazan state power engineering university, Kazan, Russia.

Поступила в редакцию ***04 сентября 2018 г.***