

ВАРИАНТ СОГЛАСОВАНИЯ ШТЫРЕВЫХ АНТЕНН С ПРОВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Е. В. Окунев, А. О. Жуков, В. О. Скрипачев,
А. Ю. Сабадаш, А. С. Новиков

Рассматривается пример разработки штыревой антенны, предназначенной для приема и передачи информации и установки на проводящие поверхности. Показаны варианты построения антенн с различными параметрами. При построении антенны с широкой диаграммой направленности основная проблема – согласование с проводящей поверхностью для уменьшения энергетических потерь. При необходимости формирования определенных диаграмм направленности и усиления антенны проблемы согласования с проводящей поверхностью и формирования необходимых параметров приходится решать в совокупности. Решение таких задач показано в работе на примере конкретных образцов и их параметров. Моделирование антенны выполнено с помощью средств ЭВМ. Изготовленная антенна снабжена радиопрозрачным колпаком обтекаемой формы. Приведено сравнение данных, полученных путем моделирования и макетирования.

Ключевые слова: штыревая антенна, коэффициент стоячей волны, диаграмма направленности, коэффициент усиления.

Введение

Для связи между небольшими стационарными (персональными радиоэлектронными системами, частными домами, системами беспроводного доступа в Интернет) и мобильными объектами (автомобилями, катерами, беспилотниками), а также для построения сетей мобильной связи важными элементами систем являются различные антенны. Если на базовой радиостанции можно применять полноразмерные антенные устройства, которые занимают достаточно много места, то на мобильном объекте габариты антенны весьма ограничены. Поэтому на автомобили, катера и другие мобильные объекты устанавливаются антенны малых размеров [1 – 4]. Как правило, на мобильных объектах применяется вертикальная штыревая антенна, которая обладает наименьшими габаритами и весом.

Важным аспектом работы штыревой антенны является ее согласование с линией питания, а при размещении антенны на проводящей поверхности (металлический корпус мобильного объекта) – согласование с проводящей поверхностью. Как согласование с линией питания, так и согласование с проводящей поверхностью вносит изменения и в характеристики антенны и в ее конструкцию.

Согласование штыревой антенны

Штыревые антенны на проводящей поверхности (металлический корпус) близки к идеальной штыревой антенне по своим параметрам и имеют входное сопротивление около 36 Ом. В таком случае для согласования с линией питания 50 или 75 Ом линию питания необходимо подключить к участку антенны, имеющему указанное сопротивление (50 или 75 Ом) [5, 6]. Участок антенны с таким сопротивлением находится в нижней части штыря, что связано с распределением входного сопротивления – оно изменяется от

минимального значения, расположенного у основания антенны, до максимального – на его открытом конце [7, 8]. Чтобы сохранить согласование с кабелем, от которого в этом случае отходили бы длинные отрезки провода, этот участок штыря необходимо согнуть – получится так называемое гамма-согласование. В зарубежной литературе это согласование носит название «hairpin» [8, 9].

Именно такой тип согласования использовался в разрабатываемой антенне. Он позволил получить хорошее согласование на проводящей поверхности (коэффициент стоячей волны (КСВ) – 1,2) при этом, габаритные размеры антенны не превысили $125 \times 125 \times 55$ мм.

Под вертикальной плоскостью подразумевается плоскость XZ , углы отсчитываются в направлении стрелки угла Θ , начала отсчета (ноль) – ось Z , под горизонтальной – плоскость XY , что показано на рис. 1.

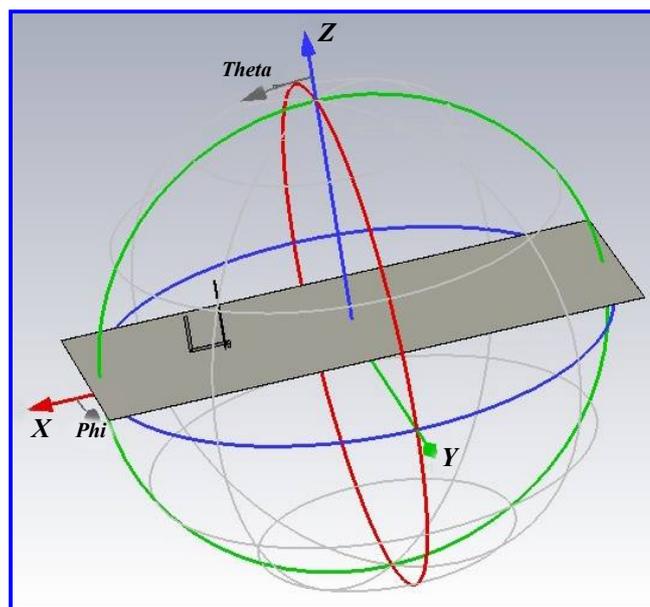


Рис. 1. Исследуемая модель

Излучатель разрабатываемой антенны

Антенна, 3D-модель которой изображена на рис. 2, представляет собой плоский металлический излучатель с плоской петлей гамма-согласования.

Проектирование антенны проводилось в пакете прикладных программ, благодаря которому вся конструкция была оптимизирована с учетом взаимодействия элементов и их расположения [8 – 10].

В результате расчета модели в пакете прикладных программ были получены следующие характеристики:

- КСВ не более 1,5 в полосе частот 770 – 880 МГц;
- максимальный расчетный коэффициент усиления (КУ) на частоте 810 МГц равен 3,5 дБ.

Частотная характеристика КСВ модели и КУ модели антенны на частоте 810 МГц в вертикальной плоскости представлены на рис. 3.

Антенна изготовлена из листа латуни толщиной 1 мм. Выбор латуни обоснован простотой обработки материала, легкостью пайки и стойкостью к внешним воздействиям.

На рис. 4 представлен опытный образец разрабатываемой штыревой антенны.

Далее были исследованы характеристики изготовленного образца. Диаграмма направленности (ДН) в вертикальной плоскости представлена на рис. 5, а, а частотная характеристика КСВ – на рис. 5, б.

Измеренные характеристики изготовленного опытного образца в сравнении с расчетными характеристиками модели показали высокую сходимость.

Улучшение диаграммы направленности антенны

Для использования такой антенны в задачах, требующих направленного излучения, необходимо добавить некоторые элементы к ее конструкции. Эти элементы могут выполнять сразу две функции – обужения диаграммы направленности и увеличения коэффициента усиления. В данной работе производилось обужение диаграммы направленности и увеличение коэффициента усиления в вертикальной плоскости. Дополнительным элементом конструкции является экран, установленный за антенной – рефлектор. 3D-модель такой антенны изображена на рис. 6, а.

Проектирование антенны с рефлектором проводилось так же, как и антенны без рефлектора, в пакете прикладных программ, конструкция антенны и расположение рефлектора оптимизировано. В результате расчета модели в пакете прикладных программ были получены следующие характеристики:

- КСВ не более 1,85 в полосе частот 770 – 880 МГц;
- максимальный расчетный КУ на частоте 810 МГц равен 3,8 дБ.

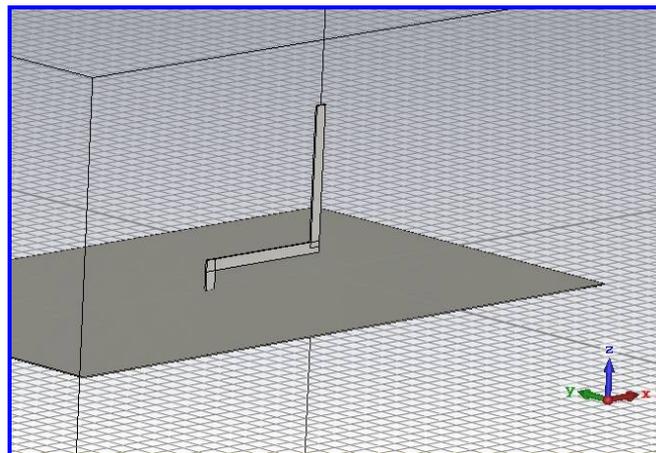


Рис. 2. 3D-модель штыревой антенны

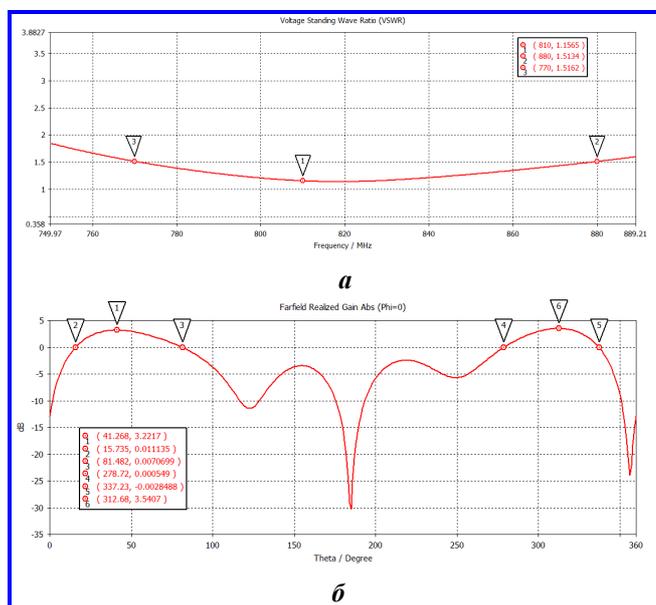


Рис. 3. Частотная характеристика модели антенны: а – коэффициент стоячей волны; б – коэффициент усиления на частоте 810 МГц в вертикальной плоскости



Рис. 4. Внешний вид опытного образца

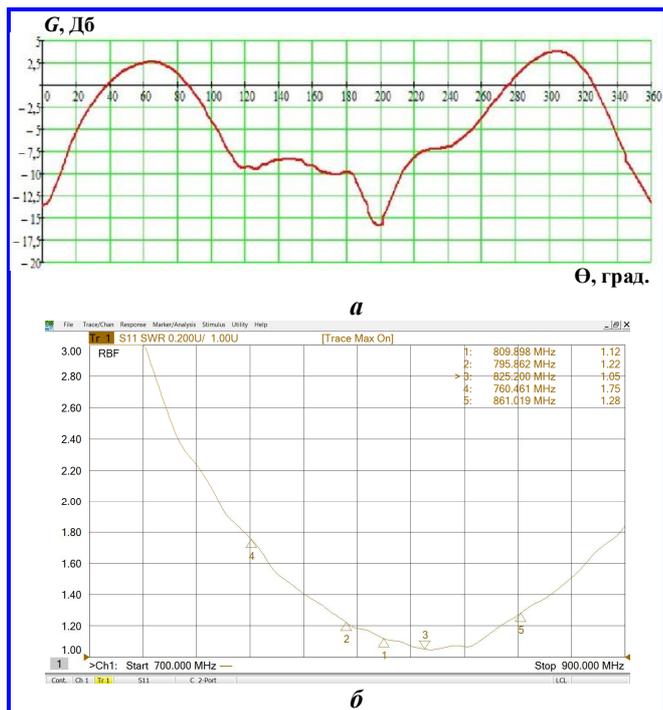


Рис. 5. Характеристики опытного образца: *а* – измеренная диаграмма направленности в вертикальной плоскости; *б* – частотная характеристика коэффициента стоячей волны

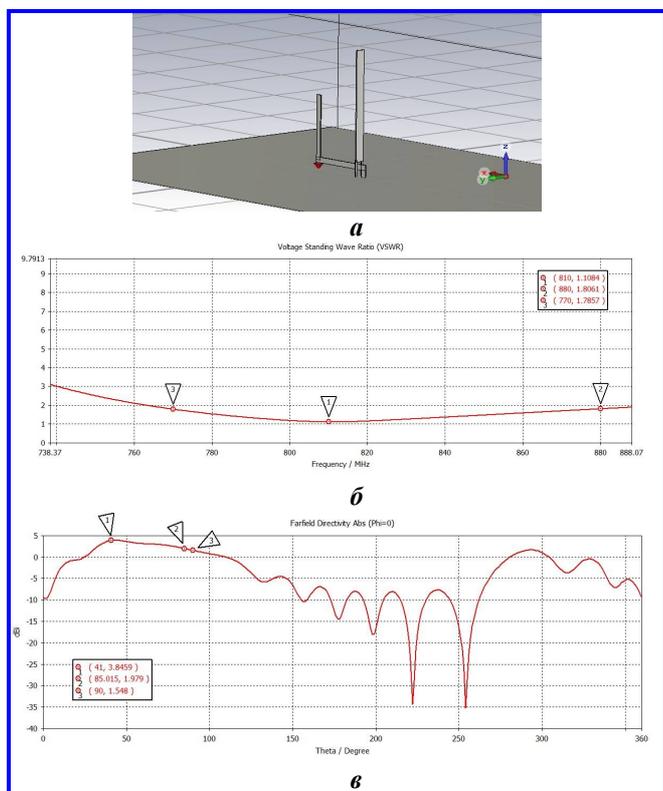


Рис. 6. Штыревая антенна с рефлектором: *а* – 3D-модель; *б* – частотная характеристика коэффициента стоячей волны; *в* – рассчитанный коэффициент усиления модели антенны с рефлектором на частоте 810 МГц в вертикальной плоскости

Частотная характеристика КУ на частоте 810 МГц в вертикальной плоскости и КСВ модели антенны с рефлектором представлены на рис. 6, *б* и *в*, соответственно.

Антенна с рефлектором также изготовлена из листа латуни толщиной 1 мм. Опытный образец антенны с рефлектором представлен на рис. 7, *а*.

После изготовления опытного образца антенны с рефлектором были проведены исследования его характеристик. Результаты (график КУ и частотная характеристика КСВ) представлены на рис. 7, *б* и *в*, соответственно.

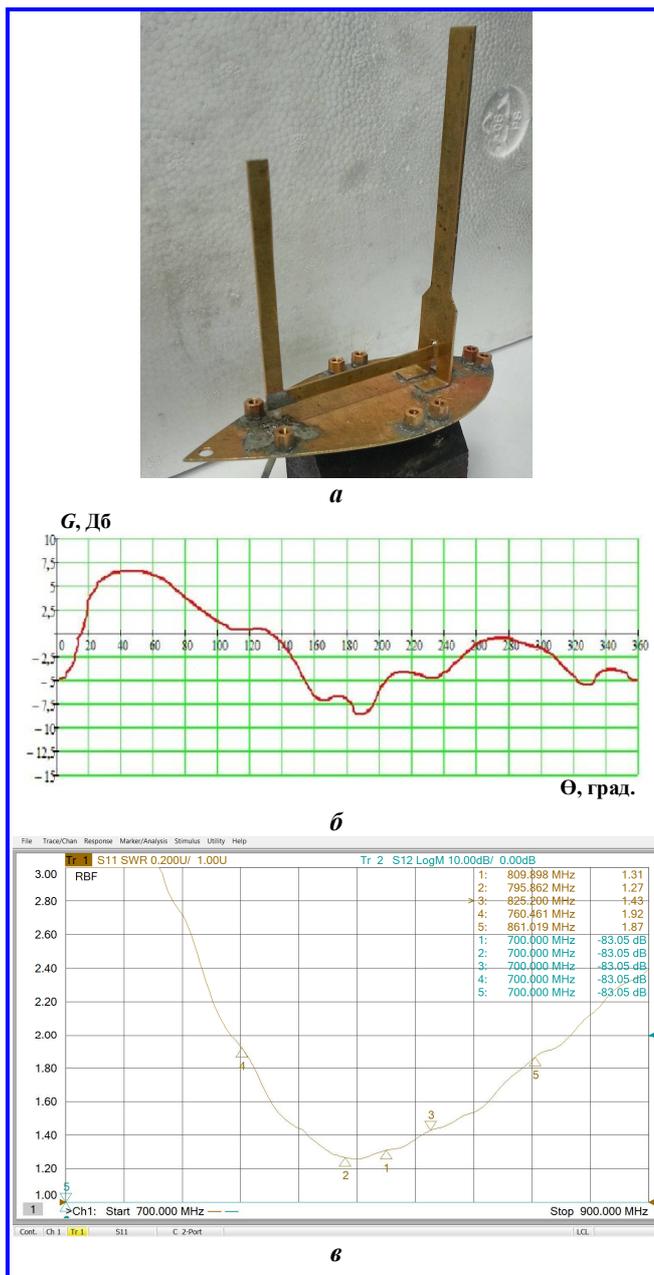


Рис. 7. Опытный образец антенны с рефлектором: *а* – внешний вид; *б* – частотная характеристика коэффициента стоячей волны; *в* – измеренный график коэффициента усиления в вертикальной плоскости

Заключение

Таким образом, изменение взаимного расположения элементов антенны приводит к изменению угла наклона ДН в вертикальной плоскости без потерь в согласовании. Основной задачей при разработке данной антенны являлась необходимость «прижать» ДН к горизонтальной плоскости. Экспериментальные результаты и результаты моделирования показали, что поставленная задача решена успешно. Один из вариантов решения этой задачи – установка отражательного элемента, позволяющего повысить усиление вдоль горизонтальной плоскости – был реализован в настоящей работе.

Сравнительный анализ характеристик вариантов антенн без отражательного элемента и с ним показал улучшения в ДН при незначительных ухудшениях КСВ в заданной полосе частот.

Учитывая небольшие геометрические размеры, высокий КУ и дешевизну производства, предложенные антенны целесообразно применять в различных технических системах приема/передачи данных.

Статья подготовлена при финансовой поддержке гранта президента (проект НШ-2686.2020.8 «Модели, методы и средства получения и обработки информации о космических объектах в широком спектральном диапазоне электромагнитных волн»).

Литература

1. Application of spiral antennas for perspective vehicle-board systems and complexes / E. Gadzhiev, V. Skripachev,

A. Generalov [et al.] // Engineering and Telecommunication (EnT-MIPT). – Moscow, 2018. – P. 91 – 93.

2. Моделирование бортовой микрополосковой антенны / Е. В. Овчинникова, С. Г. Кондратьева, В. С. Бочаров [и др.] // Антенны. – 2016. – № 7 (227). – С. 10 – 22.

3. Особенности согласования штыревой антенны с проводящей поверхностью / Е. В. Окунев, В. И. Татевосян, Ю. А. Полушковский [и др.] // Тезисы докладов Третьей молодежной конференции Инновационная деятельность в науке и технике. Создание космических аппаратов. Актуальные проблемы и пути их решения. Иосифьяновские чтения 2019. – Истра : АО «НИИЭМ», 2019. – С. 50 – 55.

4. Беньковский З. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн : теория и практика / З. Беньковский, Э. Липинский ; пер. с польского В. М. Фроловой. – Москва : Радио и связь, 1983. – 379 с. : ил.

5. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ / Д. М. Сазонов. – Москва : Высшая школа, 1988. – 422 с.

6. Белоцерковский Г. Б. Основы радиотехники и антенны. В 2 частях. Ч. 2. Антенны / Г. Б. Белоцерковский. – Москва : Радио и связь, 1983. – 296 с.

7. Федоров Н. Н. Основы электродинамики / Н. Н. Федоров. – Москва : Высшая школа, 1980. – 399 с.

8. Оценка согласования штыревой антенны с проводящей поверхностью / Е. В. Окунев, А. О. Жуков, Ю. А. Полушковский [и др.] // Тезисы Седьмой Международной научно-технической конференции Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2019. – С. 135 – 136.

9. Constantine A. Balanis. Antenna Theory. Analysis and Design / Constantine A. Balanis // NY : John Wiley & Sons Limited, 1997.

10. Гаджиев Э. В. Моделирование бортовых антенн СВЧ космических аппаратов / Э. В. Гаджиев // Антенны. – 2013. – № 9 (196). – С. 65 – 68.

Поступила в редакцию 11.03.2020

Евгений Владимирович Окунев, начальник сектора, т. 8 (909) 649-79-88, e-mail: kve0r@rambler.ru. (АО «Особое конструкторское бюро Московского энергетического института»).

Александр Олегович Жуков, начальник отдела, т. 8 (926) 075-83-07, e-mail: aozhukov@mail.ru. (АО «Особое конструкторское бюро Московского энергетического института»).

Владимир Олегович Скрипачев, начальник лаборатории, т. 8 (903) 293-30-14, e-mail: skripatchevv@inbox.ru. (Институт астрономии РАН).

Алина Юрьевна Сабадаш, инженер-системотехник, т. 8 (916) 948-69-31, e-mail: alina-kogomatchenko@yandex.ru.

Антон Сергеевич Новиков, старший инженер, т. 8 (926) 320-87-41, e-mail: antonnovikov14@yandex.ru. (АО «Особое конструкторское бюро Московского энергетического института»).

PIN ANTENNA MATCHING OPTION WITH CONDUCTIVE SURFACE

**E. V. Okunev, A. O. Zhukov, V. O. Skripachev,
A. Y. Sabadash, A. S. Novikov**

In this article being consider an example of the development of a pin antenna designed for receiving and transmitting information and installation on conductive surfaces. The variants of antenna construction with different parameters are shown. When building an antenna with a

wide radiation pattern, the main problem is matching with a conductive surface to reduce energetic losses. If you need to create a specific directional pattern and antenna gain – the problems of matching with the conductive surface and the formation of the necessary parameters have to be solved together. The solution of such problems is shown in the article on the example of specific samples and their parameters. Simulation of the antenna is performed using computer tools. The manufactured antenna is equipped with a radio transparent cap of a streamlined shape. The comparison of data obtained by modeling and prototyping is given.

Key words: pin antenna, standing wave radio, antenna pattern, antenna gain factor.

References

1. Application of spiral antennas for perspective vehicle-board systems and complexes / E. Gadzhiev, V. Skripachev, A. Generalov [et al.] // Engineering and Telecommunication (EnT-MIPT). – Moscow, 2018. – P. 91 – 93.
2. Simulation of on-board microstrip antenna / E. V. Ovchinnikova, S. G. Kondrateva, V. S. Bocharov [et al.] // Antennas. – 2016. – No.7 (227). – Pp. 10 – 22.
3. Specifics of coordination between whip antenna and conducting surface. / E. V. Okunev, V. I. Tatevosian, Iu. A. Polushkovskii [et al.] // Abstracts of Third International Conference Innovative Activities in Science and Technics. Creation of spacecrafts. Current issues and ways of their solution. Iosifian Readings 2019. – Istra: JSC NIIEM, 2019. – Pp. 50 – 55.
4. Benkovskii Z. Non-professional short-wave and ultra-short-wave antennas: Theory and Practice / Z. Benkovskii, E. Lipinskii; translated from Polish by V. M. Frolova. – Moscow: Radio i Svyaz, 1983. – 379 p. : ill.
5. Sazonov D. M. Antennas and UHF devices / D. M. Sazonov. – Moscow: Vysshiaia Shkola, 1988. – 422 p.
6. Belotserkovskii G. B. Fundamentals of radio technics and antennas. In two parts. Part 2. Antennas / G. B. Belotserkovskii. – Moscow: Radio I Svyaz, 1983. – 296 p.
7. Fedorov N. N. Fundamentals of electrodynamics / N. N. Fedorov. – Moscow: Vysshiaia Shkola, 1980. – 399 p.
8. Assessment of coordination between whip antenna and conducting surface. / E. V. Okunev, A. O. Zhukov, Iu. A. Polushkovskii [et al.] // Abstracts of the Seventh International Scientific and Technical Conference ‘Current Issues of creation of the Earth remote sensing space systems’. – Moscow: VNIEM Corporation JC, 2019. – Pp. 135 – 136.
9. Constantine A. Balanis. Antenna Theory Analysis and Design // John Wiley. – NY, 1997.
10. Gadzhiev E. V. Simulation of on-board UHF antennas of spacecrafts / E. V. Gadzhiev // Antennas. – 2013. – No. 9 (196). – Pp. 65 – 68.

*Evgenii Vladimirovich Okunev, Head of Division, tel.: +7 (909) 649-79-88, e-mail: kve0r@rambler.ru.
(Special Design Bureau of the Moscow Power Engineering Institute).*

*Aleksandr Olegovich Zhukov, Head of Department, tel.: +7 (926) 075-83-07, e-mail: aozhukov@mail.ru.
(Special Design Bureau of the Moscow Power Engineering Institute,
Institute of Astronomy of the Russian Academy of Science).*

*Vladimir Olegovich Skripachev, Head of Laboratory, tel.: +7 (903) 293-30-14,
e-mail: skripatchevv@inbox.ru.*

*Alina Iurevna Sabadash, System Engineer, tel.: +7 (916) 948-69-31,
e-mail: alina-kogomatchenko@yandex.ru.*

*Anton Sergeevich Novikov, Senior Engineer, tel.: +7 (926) 320-87-41, e-mail: antonnovikov14@yandex.ru.
(Special Design Bureau of the Moscow Power Engineering Institute).*