



ISBN 978-1-948507-40-0



[HTTPS://SCIENTIFIC-CONFERENCE.COM](https://scientific-conference.com)



LIBRARY OF CONGRESS (USA)

IV INTERNATIONAL CORRESPONDENCE SCIENTIFIC SPECIALIZED CONFERENCE

INTERNATIONAL SCIENTIFIC REVIEW OF THE TECHNICAL SCIENCES, MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCES

Boston. USA. August 13-14, 2018

ISBN 978-1-948507-40-0

UDC 08

**IV INTERNATIONAL CORRESPONDENCE
SCIENTIFIC SPECIALIZED CONFERENCE
«INTERNATIONAL SCIENTIFIC REVIEW OF
THE TECHNICAL SCIENCES, MATHEMATICS
AND COMPUTER SCIENCE»
(Boston. USA. August 13-14, 2018)**

BOSTON. MASSACHUSETTS
PRINTED IN THE UNITED STATES OF AMERICA
2018

INTERNATIONAL SCIENTIFIC REVIEW OF THE PROBLEMS OF THE TECHNICAL SCIENCES, MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCE / COLLECTION OF SCIENTIFIC ARTICLES. IV INTERNATIONAL CORRESPONDENCE SCIENTIFIC SPECIALIZED CONFERENCE (Boston, USA, August 13-14, 2018). Boston. 2018

EDITOR: EMMA MORGAN
TECHNICAL EDITOR: ELIJAH MOORE
COVER DESIGN BY DANIEL WILSON

CHAIRMAN OF THE ORGANIZING COMMITTEE: *VALTSEV SERGEI*
CONFERENCE ORGANIZING COMMITTEE:

Abdullaev K. (PhD in Economics, Azerbaijan), *Alieva V.* (PhD in Philosophy, Republic of Uzbekistan), *Akbulaev N.* (D.Sc. in Economics, Azerbaijan), *Alikulov S.* (D.Sc. in Engineering, Republic of Uzbekistan), *Anan'eva E.* (D.Sc. in Philosophy, Ukraine), *Asaturova A.* (PhD in Medicine, Russian Federation), *Askarhodzhaev N.* (PhD in Biological Sc., Republic of Uzbekistan), *Bajtasov R.* (PhD in Agricultural Sc., Belarus), *Bakiko I.* (PhD in Physical Education and Sport, Ukraine), *Bahor T.* (PhD in Philology, Russian Federation), *Baulina M.* (PhD in Pedagogic Sc., Russian Federation), *Blejh N.* (D.Sc. in Historical Sc., PhD in Pedagogic Sc., Russian Federation), *Bobrova N.A.* (Doctor of Laws, Russian Federation), *Bogomolov A.* (PhD in Engineering, Russian Federation), *Borodaj V.* (Doctor of Social Sciences, Russian Federation), *Volkov A.* (D.Sc. in Economics, Russian Federation), *Gavrilenkova I.* (PhD in Pedagogic Sc., Russian Federation), *Garagonich V.* (D.Sc. in Historical Sc., Ukraine), *Glushhenko A.* (D.Sc. in Physical and Mathematical Sciences, Russian Federation), *Grinchenko V.* (PhD in Engineering, Russian Federation), *Gubareva T.* (PhD Laws, Russian Federation), *Gutnikova A.* (PhD in Philology, Ukraine), *Datij A.* (Doctor of Medicine, Russian Federation), *Demchuk N.* (PhD in Economics, Ukraine), *Divnenko O.* (PhD in Pedagogic Sc., Russian Federation), *Dmitrieva O.A.* (D.Sc. in Philology, Russian Federation), *Dolenko G.* (D.Sc. in Chemistry, Russian Federation), *Esenova K.* (D.Sc. in Philology, Kazakhstan), *Zhamuldinov V.* (PhD Laws, Kazakhstan), *Zholdoshev S.* (Doctor of Medicine, Republic of Kyrgyzstan), *Ibadov R.* (D.Sc. in Physical and Mathematical Sciences, Republic of Uzbekistan), *Il'inskih N.* (D.Sc. Biological, Russian Federation), *Kajrakbaev A.* (PhD in Physical and Mathematical Sciences, Kazakhstan), *Kaftaeva M.* (D.Sc. in Engineering, Russian Federation), *Klinkov G.T.* (PhD in Pedagogic Sc., Bulgaria), *Koblanov Zh.* (PhD in Philology, Kazakhstan), *Kovaljov M.* (PhD in Economics, Belarus), *Kravcova T.* (PhD in Psychology, Kazakhstan), *Kuz'min S.* (D.Sc. in Geography, Russian Federation), *Kulikova E.* (D.Sc. in Philology, Russian Federation), *Kurmanbaeva M.* (D.Sc. Biological, Kazakhstan), *Kurpajaniidi K.* (PhD in Economics, Republic of Uzbekistan), *Linkova-Daniels N.* (PhD in Pedagogic Sc., Australia), *Lukienko L.* (D.Sc. in Engineering, Russian Federation), *Makarov A.* (D.Sc. in Philology, Russian Federation), *Macarenko T.* (PhD in Pedagogic Sc., Russian Federation), *Meimanov B.* (D.Sc. in Economics, Republic of Kyrgyzstan), *Muradov Sh.* (D.Sc. in Engineering, Republic of Uzbekistan), *Nabiev A.* (D.Sc. in Geoinformatics, Azerbaijan), *Nazarov R.* (PhD in Philosophy, Republic of Uzbekistan), *Naumov V.* (D.Sc. in Engineering, Russian Federation), *Ovchinnikov Ju.* (PhD in Engineering, Russian Federation), *Petrov V.* (D.Arts, Russian Federation), *Radkevich M.* (D.Sc. in Engineering, Republic of Uzbekistan), *Rakhimbekov S.* (D.Sc. in Engineering, Kazakhstan), *Rozyhodzhaeva G.* (Doctor of Medicine, Republic of Uzbekistan), *Romanenkova Yu.* (D.Arts, Ukraine), *Rubcova M.* (Doctor of Social Sciences, Russian Federation), *Rumyantsev D.* (D.Sc. in Biological Sc., Russian Federation), *Samkov A.* (D.Sc. in Engineering, Russian Federation), *San'kov P.* (PhD in Engineering, Ukraine), *Selitrenikova T.* (D.Sc. in Pedagogic Sc., Russian Federation), *Sibircev V.* (D.Sc. in Economics, Russian Federation), *Skripko T.* (D.Sc. in Economics, Ukraine), *Sopov A.* (D.Sc. in Historical Sc., Russian Federation), *Strekalov V.* (D.Sc. in Physical and Mathematical Sciences, Russian Federation), *Stukalenko N.M.* (D.Sc. in Pedagogic Sc., Kazakhstan), *Subachev Ju.* (PhD in Engineering, Russian Federation), *Sulejmanov S.* (PhD in Medicine, Republic of Uzbekistan), *Tregub I.* (D.Sc. in Economics, PhD in Engineering, Russian Federation), *Uporov I.* (PhD Laws, D.Sc. in Historical Sc., Russian Federation), *Fedos'kina L.* (PhD in Economics, Russian Federation), *Khiltukhina E.* (D.Sc. in Philosophy, Russian Federation), *Cuculjan S.* (PhD in Economics, Republic of Armenia), *Chiladze G.* (Doctor of Laws, Georgia), *Shamshina I.* (PhD in Pedagogic Sc., Russian Federation), *Sharipov M.* (PhD in Engineering, Republic of Uzbekistan), *Shevko D.* (PhD in Engineering, Russian Federation).

PROBLEMS OF SCIENCE

PUBLISHED WITH THE ASSISTANCE OF NON-PROFIT ORGANIZATION

«INSTITUTE OF NATIONAL IDEOLOGY»

VENUE OF THE CONFERENCE:

1 AVENUE DE LAFAYETTE, BOSTON, MA 02111, UNITED STATES

TEL. OF THE ORGANIZER OF THE CONFERENCE: +1 617 463 9319 (USA, BOSTON)

THE CONFERENCE WEBSITE:

[HTTPS://SCIENTIFIC-CONFERENCE.COM](https://scientific-conference.com)

PUBLISHED BY ARRANGEMENT WITH THE AUTHORS

Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>

Contents

TECHNICAL SCIENCES.....	4
<i>Averyanov D.A., Golovin E.V., Zuev A.I. (Russian Federation) INFLUENCE OF ASYMMETRY OF TENSION ON OPERATION OF ASYNCHRONOUS ENGINES / Аверьянов Д.А., Головин Е.В., Зувев А.И. (Российская Федерация) ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ</i>	<i>4</i>
<i>Averyanov D.A., Golovin E.V., Zuev A.I. (Russian Federation) RESEARCH OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF ELECTRIC BRAKING AT REMOTE POWER PLANT / Аверьянов Д.А., Головин Е.В., Зувев А.И. (Российская Федерация) ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА УДАЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ</i>	<i>8</i>
<i>Averyanov D.A., Golovin E.V., Zuev A.I. (Russian Federation) REVIEW OF WAYS OF DECREASE IN LOSSES OF ACTIVE POWER / Аверьянов Д.А., Головин Е.В., Зувев А.И. (Российская Федерация) ОБЗОР СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ</i>	<i>11</i>
<i>Averyanov D.A., Golovin E.V., Zuev A.I. (Russian Federation) WAYS OF ACCESSION OF WIND POWER PLANT TO ELECTRICAL POWER SYSTEMS / Аверьянов Д.А., Головин Е.В., Зувев А.И. (Российская Федерация) СПОСОБЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ВЕТРЯНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ К ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ.....</i>	<i>15</i>
<i>Averyanov D.A., Golovin E.V., Zuev A.I. (Russian Federation) COMPARISON OF VARIOUS TYPES OF EXECUTION OF AIR-LINES OF THE ELECTRICITY TRANSMISSION / Аверьянов Д.А., Головин Е.В., Зувев А.И. (Российская Федерация) СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ИСПОЛНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ.....</i>	<i>20</i>
<i>Charlygin N.A. (Russian Federation) BIOCOMPUTERS / Чаплыгин Н.А. (Российская Федерация) БИОКОМПЬЮТЕРЫ.....</i>	<i>23</i>
MACHINE STRUCTURE AND MACHINE MANAGEMENT	26
<i>Yusupova O.V., Kobyilkin D.S. (Russian Federation) A MATHEMATICAL MODEL OF SPARE PARTS SUPPLY CONTROL AT THE TRANSPORT COMPANY / Юсупова О.В., Кобылкин Д.С. (Российская Федерация) МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПОСТАВКАМИ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА АВТОТРАНСПОРТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ</i>	<i>26</i>
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT	33
<i>Valko I.N., Khlystunova E.A. (Russian Federation) MODELING OF MOTION OF SPACE OBJECTS / Валько И.Н., Хлыстунова Е.А. (Российская Федерация) МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ.....</i>	<i>33</i>

INFLUENCE OF ASYMMETRY OF TENSION ON OPERATION OF ASYNCHRONOUS ENGINES

Averyanov D.A.¹, Golovin E.V.², Zuev A.I.³ (Russian Federation)

Email: Averyanov54@scientifictext.ru

¹Averyanov Danila Andreevich – Student;

²Golovin Evgeny Viktorovich – Student;

³Zuev Alexander Igorevich – Student,

DEPARTMENT OF ELECTRIC POWER SYSTEMS,

NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY

MOSCOW POWER ENGINEERING INSTITUTE,

MOSCOW

Abstract: in article the reasons of distortion of symmetry in a three-phase chain and their possible consequences for elements of an electrical network and a power supply system in general are considered. Asymmetry of currents and tension — the phenomenon in multiphase (for example, three-phase) alternating current mains at which amplitudes of the phase tension (currents) and/or corners between them aren't equal among themselves. The reasons of asymmetry of tension can be different, but the main of them is the asymmetry of currents in network caused by inequality of loading on phases. Also in article sources of asymmetry of tension have been considered. Characteristics of asymmetry of tension (currents) are provided. The way of assessment of asymmetry of tension (currents) which is called method of symmetric components is given. Asymmetry sources in power supply systems of the Urals and Siberia and their consequence are given.

Keywords: power industry, asymmetry, phase, tension, direct sequence, return sequence, zero sequence.

ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аверьянов Д.А.¹, Головин Е.В.², Зуев А.И.³

(Российская Федерация)

¹Аверьянов Данила Андреевич – студент;

²Головин Евгений Викторович – студент;

³Зуев Александр Игоревич – студент,

кафедра электроэнергетических систем,

Национальный исследовательский университет

Московский энергетический институт,

г. Москва

Аннотация: в статье рассмотрены причины искажения симметрии в трехфазной цепи и их возможные последствия для элементов электрической сети и энергосистемы в целом. Несимметрия токов и напряжений — явление в многофазной (например, трёхфазной) сети переменного тока, при котором

амплитуды фазных напряжений (токов) и/или углы между ними не равны между собой. Причины несимметрии напряжений могут быть разными, но основная из них — это несимметрия токов в сети, обусловленная неравенством нагрузки по фазам. Также в статье были рассмотрены источники несимметрии напряжения. Приведены характеристики несимметрии напряжений (токов). Приведен способ оценки несимметрии напряжений (токов), который называется методом симметричных составляющих. Приведены источники несимметрии в энергосистемах Урала и Сибири и их последствия.

Ключевые слова: *электроэнергетика, несимметрия, фаза, напряжение, прямая последовательность, обратная последовательность, нулевая последовательность.*

Напряжение в трехфазной сети может быть несимметричным. Несимметричное напряжение нормируется по его параметрам на основной частоте. Если амплитуды фазных (междуфазных) напряжений равны и сдвиг фаз (угол между ними) одинаков, то напряжение симметрично. Если один из этих признаков или оба нарушаются, то напряжение несимметрично. Аналогичное определение может быть распространено и на токи [2].

При этом всегда при оценке несимметрии напряжения трехфазной сети в соответствии с требованиями [3] имеют в виду напряжение (ток) основной частоты (первая гармоника) [1]. Тогда как несимметричная система может быть образована на любой частоте, в том числе и на частоте высших гармоник. Это обстоятельство необходимо учитывать при расчете или измерении симметричных составляющих напряжений (токов) в сети с несинусоидальным напряжением следующим образом: сначала выделяют основную гармонику напряжения, а затем рассчитывают её симметричные составляющие [2].

Причин несимметрии напряжений много, но основная из них – это несимметрия токов в сети, что обусловлено неравенством нагрузки по фазам. Значительная часть бытовых и промышленных электроприемников имеют одно- или двухфазное исполнение и присоединяются к сетям 380 В. Именно для питания таких электроприемников сети напряжением 380 В имеют четырехпроводное исполнение. Обмотка 380 В трансформаторов, питающих такие сети, соединена в «звезду», а ее нейтраль выводится четвертым токоведущим проводом. Без нулевого провода эксплуатация сети невозможна. При его обрыве наступает аварийная ситуация, обусловленная существенной несимметрией напряжения. При этом на отдельных фазах напряжение приближается к междуфазному (380 В), а на других – к нулю [2].

К источникам несимметрии напряжения относятся, например, дуговые сталеплавильные печи. Регулирование тока электрической дуги в таких печах осуществляется пофазно. В режиме расплава могут возникать и эксплуатационные несимметричные короткие замыкания [2].

В сетях высокого напряжения несимметрия может быть обусловлена конструкцией линии из-за неравенства ее сопротивлений по фазам. Для симметрирования сопротивлений фаз линии проводят транспозицию фазных проводов, что требует сооружения специальных транспозиционных опор. Конструкции таких опор сложны и дорогостоящие, кроме того, они являются элементами, повреждения в которых наиболее вероятны. Поэтому количество опор стремятся уменьшить, что, естественно, отражается на симметрии напряжений, но способствует повышению надежности электроснабжения [2].

Еще одна причина несимметрии напряжений – это неполнофазные режимы в сетях с изолированной нейтралью. Их относят к особым, но допустимым по условиям эксплуатации режимам. Эти режимы допускают для сохранения электроснабжения потребителей в ущерб симметрии напряжений на приемном конце такой линии. К таким же особым режимам следует отнести режимы с замыканием на землю одной из фаз в сетях с изолированной нейтралью [2].

Несимметрию напряжений (токов) характеризуют симметричными составляющими основной частоты прямой, обратной и нулевой последовательности. Прямая последовательность является основной составляющей. Именно она определяет чередование фазных (междуфазных) напряжений и рабочее (номинальное) напряжение сети. Напряжение обратной и нулевой последовательности следует рассматривать как помеху, под влиянием которой в цепи трехфазной нагрузки протекают соответствующие токи. Эти токи не совершают полезной работы, приводя, например, к снижению вращающего момента на валу вращающихся машин и их дополнительному нагреву. Утроенное значение токов нулевой последовательности в нулевых проводах сетей напряжением 380 В приводит к их перегрузке. Замыкаясь в обмотках трансформаторов, соединенных в «треугольник», токи нулевой последовательности создают эффект подмагничивания. Однако благодаря этому токи нулевой последовательности не проникают в сеть 6–10 кВ из сети 380 В [2].

Для оценки несимметрии напряжений (токов) пользуются методом симметричных составляющих, согласно которому любая трехфазная система синусоидальных напряжений (токов) может быть представлена тремя симметричными составляющими: прямой, обратной и нулевой последовательности [2].

При несимметрии напряжений, составляющей 2%, срок службы асинхронных двигателей ввиду дополнительных потерь активной мощности сокращается на 10,8 %. Для того чтобы избежать дополнительного нагрева, нагрузка двигателя (момент на валу) должна быть снижена [2].

Согласно МЭК 892 номинальная нагрузка двигателя допускается при $K2U < 1\%$. При коэффициенте обратной последовательности 2% нагрузка двигателя должна быть снижена до 96%, при 3% - до 90%, при 4% - до 83% и при 5% - до 76%. Эти цифры справедливы при условии, что двигатель работает с постоянной нагрузкой, т.е. в установившемся тепловом режиме [2].

Известно, что в энергосистемах Урала и Сибири, где источником несимметрии являются электрифицированные железные дороги (ЭЖД), горнообогатительные комбинаты, лесопромышленные комплексы, максимальные значения $K2U$ наблюдались в пределах полигонов Западно-Сибирской электрифицированной железной дороги: 1,5% в сетях 220 кВ, 7,5% в сетях 27,5 кВ и 9,2% в сетях 10,5 кВ. Аналогично известно о сетях Южно-Уральской и Восточно-Сибирской ЭЖД [2].

Под воздействием этих искажений были зарегистрированы преждевременный выход из строя крупных синхронных машин, насосных станций в западной части Иркутской энергосистемы, нарушения работы устройств сигнализации и блокировки на Южно-Уральской ЭЖД [2].

Список литературы / References

1. Электрические системы. Электрические сети: учебник для электроэнергетических спец. вузов. В.А. Веников, А.А. Глазунов, Л.А. Жуков и др.; под ред. В.А. Веникова, В.А. Строева, 1998 г.
 2. Управление качеством электроэнергии. И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов, Ю.В. Шаров, А.Ю. Воробьёв. М.: Издательство МЭИ, 2008
 3. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
-

**RESEARCH OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF
ELECTRIC BRAKING AT REMOTE POWER PLANT**
Averyanov D.A.¹, Golovin E.V.², Zuev A.I.³ (Russian Federation)
Email: Averyanov54@scientifictext.ru

¹Averyanov Danila Andreevich – Student;

²Golovin Evgeny Viktorovich – Student;

³Zuev Alexander Igorevich – Student,

DEPARTMENT OF ELECTRIC POWER SYSTEMS,
NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY
MOSCOW POWER ENGINEERING INSTITUTE,
MOSCOW

Abstract: in article the efficiency of application of electric braking at remote power plant, for ensuring steady work of a power supply system is considered. The characteristic normally of the mode is given. Stability of electric system is considered. Consequences of violation of a normal operating mode of electric system are given. It is considered at what power plants and to what equipment electric braking is applied. Methods of application of electric braking are considered and examples are given.

Keywords: power industry, electrical power system, air-line, compact line, capacity.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА УДАЛЕННОЙ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**
Аверьянов Д.А.¹, Головин Е.В.², Зувев А.И.³
(Российская Федерация)

¹Аверьянов Данила Андреевич – студент;

²Головин Евгений Викторович – студент;

³Зувев Александр Игоревич – студент,

кафедра электроэнергетических систем,

Национальный исследовательский университет

Московский энергетический институт,

г. Москва

Аннотация: в статье рассмотрена эффективность применения электрического торможения на удаленной электростанции, для обеспечения устойчивой работы энергосистемы. Дана характеристика нормально режима. Рассмотрена устойчивость электрической системы. Приведены последствия нарушения нормального рабочего режима электрической системы. Рассмотрено, на каких электростанциях и для какого оборудования применяется электрическое торможение. Рассмотрены способы применения электрического торможения и приведены примеры.

Ключевые слова: электроэнергетика, устойчивость электрической системы, электрическое торможение, ротор, генератор.

Одним из значимых направлений в электроэнергетике является обеспечение устойчивой работы энергосистемы. Устойчивость электрической системы - способность электрической системы восстанавливать исходное или практически близкое к нему состояние (режим) после возмущения, проявляющегося в отклонении значений параметров режима электрической системы от начальных значений. В электрической системе источниками электрической энергии обычно являются синхронные генераторы, связанные между собой сетью, причем роторы всех генераторов вращаются синхронно. Такой режим, называется нормальным. Он должен быть устойчив, то есть электрическая система должна возвращаться в исходное состояние после отклонений от установившегося режима. Отклонения могут быть связаны с изменением мощности нагрузки, короткими замыканиями, отключениями линий электропередачи. Устойчивость системы, как правило, уменьшается при увеличении нагрузки (мощности, отдаваемой генераторами) и понижении напряжения (росте мощности потребителей, снижении возбуждения генераторов). Различные аварийные ситуации в работе энергосистем могут приводить к разному роду пагубным последствиям. Например, нарушение устойчивости могут приводить к нарушению электроснабжения большого числа потребителей, повреждению оборудования, выходу из синхронизма генераторов электростанций и другим тяжелым последствиям. Всякое внезапное нарушение нормального рабочего режима электрической системы, состоящей из различных узлов: электростанций, линий электропередачи и нагрузок, вызывает качания синхронных машин (генераторов, синхронных двигателей и компенсаторов). При критических условиях амплитуда качаний может стать настолько большой, что отдельные машины или целые электростанции выпадут из режима синхронной работы. Согласно действующим в ЕЭС нормативам переходный процесс считается устойчивым, если выполняются условия динамической устойчивости и обеспечивается статическая устойчивость с коэффициентом запаса, не ниже нормативного, на всех фазах процесса вплоть до установления нового стационарного режима [1].

Для улучшения устойчивости систем и преодоления неблагоприятных сложностей в применении вышеназванных управляющих воздействий были разработаны средства управления, обеспечивающие управляющие воздействия импульсного типа. К числу их относится и электрическое торможение генераторов (ЭТ), осуществляемое включением параллельно или последовательно специальных резисторов. Однако в настоящее время известны лишь отдельные случаи практического использования установок электрического торможения генераторов ввиду высокой стоимости этих установок. ЭТ применяется в случае неэффективности (невозможности) использования для предотвращения нарушения динамической устойчивости генерирующего оборудования электростанций кратковременной разгрузки турбин (КРТ) и отключение генераторов (ОГ) на ТЭС, АЭС и ОГ на ГЭС [2].

Остановка явнополюсного ротора синхронной машины во многих случаях может продолжаться более получаса. Но длительная работа машины при малой частоте вращения может быть опасной для подшипников машины из-за низкого давления масла. Поэтому для остановки турбины возможно применение механического торможения, по принципу механического трения, которое замедляет вращающуюся массу генератора. В условиях пиковых нагрузок, а также на ГАЭС, где требуются частые пуски и остановки агрегата, механическое торможение не является

оптимальным решением из-за больших затрат на техобслуживание. В таких случаях часто используется электрическое торможение [2].

Электрическое торможение применяют для гашения избыточной энергии, которую накапливается роторами генераторов во время КЗ. Основная задача ЭТ состоит в предотвращении выпадения из синхронизма генераторов электростанции при интенсивном увеличении угла δ в первом цикле синхронных качаний. [1]

Из теории оптимального управления известно, что для достижения оптимального переходного процесса под действием управляющих воздействий, ограниченных по модулю, необходимо иметь релейное управление. Следовательно, непрерывное или плавное регулирование, если рассматривать его с точки зрения сохранения динамической устойчивости ЭЭС в первом цикле качаний роторов, но не эффективного демпфирования этих качаний, не имеет существенных преимуществ перед релейным управлением. Поэтому устройства ЭТ по возможности сразу в момент возникновения короткого замыкания (КЗ) должны мгновенно включаться в работу, оказывая предельно возможное положительное воздействие на ротор генератора. Поэтому тормозные сопротивления присоединяются через быстродействующие выключатели с предельно малым временем запаздывания [1].

При включении нагрузочных сопротивлений в цепь, значительная часть накопленной генераторами энергии, превращается в теплоту. Вследствие этого значительно уменьшается избыточная кинетическая энергия роторов генераторов.

Список литературы / References

1. *Локтионов С.В., Шульженко С.В.* Электроэнергетические системы и сети: Конспект лекций: Учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2013.
2. *Жданов П.С.* Вопросы устойчивости электрических систем. М: Энергия, 1979. 456 е.: ил.

REVIEW OF WAYS OF DECREASE IN LOSSES OF ACTIVE POWER

Averyanov D.A.¹, Golovin E.V.², Zuev A.I.³ (Russian Federation)
Email: Averyanov54@scientifictext.ru

¹Averyanov Danila Andreevich – Student;

²Golovin Evgeny Viktorovich – Student;

³Zuev Alexander Igorevich – Student,

DEPARTMENT OF ELECTRIC POWER SYSTEMS,
NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY
MOSCOW POWER ENGINEERING INSTITUTE,
MOSCOW

Abstract: in this article the review of ways of decrease in losses of active power is made. Ways of optimization of the modes are considered, types of criteria of optimization are also considered. Ways of the choice of criteria for a certain type of optimization of parameters and the modes are considered. The ways directed to optimization of parameters and the modes of systems of transfer and distribution of the electric power are given, the most essential operational ways of optimization of the modes which aren't demanding additional capital expenditure are also considered.

Keywords: optimization, losses of active power, transfer and distribution, efficiency.

ОБЗОР СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Аверьянов Д.А.¹, Головин Е.В.², Зуев А.И.³
(Российская Федерация)

¹Аверьянов Данила Андреевич – студент;

²Головин Евгений Викторович – студент;

³Зуев Александр Игоревич – студент,

кафедра электроэнергетических систем,

Национальный исследовательский университет

Московский энергетический институт,

г. Москва

Аннотация: в данной статье произведен обзор способов снижения потерь активной мощности. Рассмотрены способы оптимизации режимов, также рассмотрены виды критериев оптимизации. Рассмотрены способы выбора критериев для определенного вида оптимизации параметров и режимов. Приведены пути, направленные на оптимизацию параметров и режимов систем передачи и распределения электроэнергии, также рассмотрены наиболее существенные эксплуатационные пути оптимизации режимов, не требующие дополнительных капитальных затрат.

Ключевые слова: оптимизация, потери активной мощности, передача и распределение, эффективность.

Проблема оптимизации параметров и режимов систем передачи и распределения электроэнергии весьма сложна и многогранна. Задачи оптимизации параметров

объектов приходится решать на стадии проектирования развития или реконструкции электрической сети. Текущая оптимизация режимов осуществляется при эксплуатации сети. Проектирование, сооружение объектов электрической сети и их эксплуатация связаны с большими материальными затратами. Поэтому важно, чтобы эти затраты были использованы с наибольшей эффективностью. При этом следует учитывать, что правильность решений по развитию систем передачи и распределения электроэнергии, принимаемых в какой-то момент, может проявляться через достаточно длительное время, когда допущенные ошибки исправить невозможно или очень трудно. Дополнительные трудности при выработке решения связаны с тем, что обычно присутствует неопределенность (недостаточная достоверность) исходной информации. Например, заранее обычно точно неизвестна перспективная нагрузка в каких-то узлах сети. При упрощенном подходе к решению такой задачи задаются тремя уровнями нагрузки (возможным наибольшим, возможным наименьшим и средним) и выбирают параметры для всех этих уровней. Окончательное решение принимают на основе соответствующих приемов, описанных в специальной литературе. В любом случае для оптимизации параметров предварительно должен быть выбран критерий оптимизации. При наиболее общем подходе обычно в качестве показателя эффективности решений выступает не один критерий, а несколько критериев, т.е. приходится решать многокритериальную (многоцелевую) задачу. Например, в качестве критериев могут выступать капитальные затраты, потери электроэнергии, пропускная способность сети, степень надежности электроснабжения, степень воздействия на окружающую среду и др. Методы решения многокритериальных задач электроэнергетики описаны в специальной литературе. В простейшем случае многокритериальная задача сводится к однокритериальной, в которой оптимизация параметров объекта осуществляется по одному критерию, принятому за главный, а остальные критерии учитываются в виде ограничений. Фактически задачу оптимизации параметров начинают решать уже на стадии выбора основных проектных решений, таких например, как выбор конфигурации сети, номинального напряжения линий, сечений их проводов и др. При этом основная цель заключается в достижении требуемого технического эффекта (необходимых пропускной способности, надежности электроснабжения, качества напряжения и др.) с минимально возможными денежными затратами [1].

В зависимости от постановки задачи в качестве критерия эффективности используют один из критериев. После выбора основных параметров для достижения заданного технического эффекта решается дополнительная (но не менее важная) задача применения каких-то дополнительных устройств и оптимизации их параметров, которая преимущественно нацелена на получение дополнительного экономического эффекта. Этот эффект, прежде всего, достигается за счет снижения потерь электроэнергии, хотя попутно могут улучшаться и технические возможности сети (например повышение пропускной способности, надежности и др.). В условиях эксплуатации задачи оптимизации принципиально отличаются от проектных задач тем, что наилучший режим определяется без дополнительных капитальных затрат. Поэтому в качестве наиболее общего критерия оптимизации выступают ежегодные издержки. Однако, учитывая, что ежегодные издержки состоят из постоянных отчислений от капитальных затрат и стоимости потерь электроэнергии, можно перейти от экономических к техническим критериям оптимизации. Если

оптимизация режима электрической сети осуществляется за какой-то период времени, то в качестве критерия используют потери электроэнергии

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n \Delta W_i \rightarrow \min,$$

где ΔW — потери электроэнергии в i -ом элементе сети за рассматриваемый период; n — количество элементов сети.

В тех случаях, когда режим оптимизируется для данного момента времени, может быть использован более простой критерий в виде потерь активной мощности

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \Delta P_i \rightarrow \min,$$

где ΔP — потери мощности в i -м элементе сети в рассматриваемый момент времени. Известны многочисленные пути, направленные на оптимизацию параметров и режимов систем передачи и распределения электроэнергии, среди них наиболее важные, связанные с улучшением параметров электрических сетей и реализуемые на стадии проектирования, реконструкции, модернизации сети, следующие.

1. Повышение номинального напряжения системообразующих и межсистемных электропередач.

2. Установка устройств поперечной и продольной компенсации в протяженных электропередачах.

3. Повышение номинального напряжения распределительных электрических сетей.

4. Установка устройств компенсации реактивной мощности в системообразующих электрических сетях.

5. Рациональная компенсация реактивной мощности в распределительных сетях.

6. Установка устройств принудительного распределения мощностей в неоднородных замкнутых сетях.

7. Установка дополнительных устройств регулирования напряжения.

8. Замена проводов перегруженных линий электропередачи на провода большей площади сечения.

9. Упорядочение мощностей (перемещение) трансформаторов в распределительных сетях.

10. Замена морально устаревших трансформаторов в распределительных сетях на трансформаторы с меньшими потерями мощности холостого хода.

11. Увеличение рабочей мощности установленных в сети синхронных компенсаторов.

12. Установка на подстанциях дополнительных параллельных трансформаторов.

13. Сооружение дополнительных линий и подстанций.

14. Сокращение продолжительности сооружения линий и подстанций.

15. Оснащение действующих батарей конденсаторов устройствами автоматического регулирования их мощности.

16. Использование теплоты, отбираемой от трансформаторов подстанций.

17. Установка в сетях накопителей энергии.

18. Применение проводов воздушных линий с пониженным активным сопротивлением.

К наиболее существенным эксплуатационным путям оптимизации режимов, не требующим дополнительных капитальных затрат, относятся следующие.

1. Повышение уровня рабочего напряжения в разомкнутых распределительных сетях.

2. Выбор рациональных законов регулирования напряжения в центрах питания распределительных сетей.

3. Оптимизация режимов напряжения электропередач сверхвысокого напряжения.

4. Оптимизация режимов напряжения и реактивных мощностей в системообразующих сетях.

5. Управление потоками мощности в неоднородных замкнутых сетях.

6. Управление потоками реактивной мощности в разомкнутых сетях.

7. Оптимизация мест размыкания замкнутых сетей 35 кВ и выше с различными номинальными напряжениями линий в контурах.

8. Оптимизация мест размыкания замкнутых распределительных сетей 6-10 кВ и 0,38 кВ.

9. Оптимизация режимов работы трансформаторов на подстанциях.

10. Выравнивание нагрузки параллельных элементов сети, имеющих одинаковые параметры.

11. Выравнивание графика нагрузки сети за счет управления электропотреблением.

12. Перевод генераторов в режим синхронных конденсаторов.

13. Выравнивание нагрузок фаз трехфазной сети.

14. Сокращение продолжительности ремонтов элементов электрической сети. [2]

Еще раз обратим внимание на то, что эксплуатационные пути оптимизации режимов не требуют дополнительных капитальных затрат. Поэтому их возможность на практике должна реализовываться максимально. Если системы передачи и распределения электроэнергии условно разделить на протяженные электропередачи, системообразующие сети и системы распределения электроэнергии, то в большинстве случаев способы и средства оптимизации параметров и режимов каждого из выделенных объектов могут рассматриваться относительно независимо, хотя в ряде случаев взаимное влияние может быть достаточно существенно, например при решении вопросов оптимальной компенсации реактивной мощности.

Список литературы / References

1. Потери электроэнергии при её транспорте по электрическим сетям: расчёт, анализ, нормирование и снижение: учебное пособие для вузов / Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко ; под. Ред. Ю.С. Железко. М.:Издательский дом МЭИ, 2013.
2. Передача и распределение электрической энергии : учебное пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. 3-е издание., перераб. М.:КНОРУС, 2012.

WAYS OF ACCESSION OF WIND POWER PLANT TO ELECTRICAL POWER SYSTEMS

Averyanov D.A.¹, Golovin E.V.², Zuev A.I.³ (Russian Federation)
Email: Averyanov54@scientifictext.ru

¹Averyanov Danila Andreevich – Student;

²Golovin Evgeny Viktorovich – Student;

³Zuev Alexander Igorevich – Student,

DEPARTMENT OF ELECTRIC POWER SYSTEMS,
NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY
MOSCOW POWER ENGINEERING INSTITUTE,
MOSCOW

Abstract: *n* article ways of accession of wind power plant to electrical power systems are considered. Types of wind power installations are considered. The wind power plant is several wind power installations, collected in one or several places and united in uniform network. Large wind power stations can consist of 100 and more wind generators. Wind power installation represents the complex of the interconnected equipment and constructions intended for transformation of wind power to other types of energy (electric, mechanical, thermal, etc.).

Keywords: *wind power plant, types of accessions of wind power plant to electrical power systems.*

СПОСОБЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ВЕТРЯНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ К ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ

Аверьянов Д.А.¹, Головин Е.В.², Зуев А.И.³
(Российская Федерация)

¹Аверьянов Данила Андреевич – студент;

²Головин Евгений Викторович – студент;

³Зуев Александр Игоревич – студент,

кафедра электроэнергетических систем,
Национальный исследовательский университет
Московский энергетический институт,
г. Москва

Аннотация: *в статье рассмотрены способы присоединения ветряной электростанции к электроэнергетическим системам. Рассмотрены виды ветроэнергетических установок. Ветряная электростанция — это несколько ветроэнергетических установок, собранных в одном или нескольких местах и объединённых в единую сеть. Крупные ветровые электростанции могут состоять из 100 и более ветрогенераторов. Ветроэнергетическая установка представляет собой комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для преобразования энергии ветра в другие виды энергии (электрическую, механическую, тепловую и т. п.).*

Ключевые слова: ветряная электростанция, виды присоединений ветряной электростанции к электроэнергетическим системам.

Для ВЭУ с турбиной постоянной скорости, характерно оснащение асинхронным генератором с короткозамкнутым или фазным ротором. Это позволяет достичь максимальной эффективности при определенной скорости ветра. Кроме того, возможно применение синхронного генератора, тогда ВЭУ подключается к сети через синхронизирующее устройство (рис. 1). В этом случае каждый генератор может подключаться к ЭЭС независимо от других. Недостатком такой схемы является необходимость постоянной синхронизации и недовыработка ЭЭ, обусловленная постоянной частотой вращения ветровой турбины.

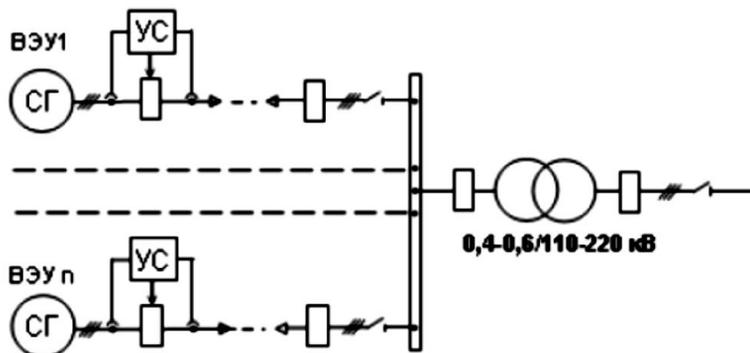


Рис. 1. ВП на базе ВЭУ с синхронными генераторами

При использовании асинхронного генератора синхронизирующие устройства исключаются, но требуется установка компенсирующих устройств, либо оплата за потребление реактивной мощности из ЭЭС сетевой компании. Для мягкого соединения с сетью ВЭУ оснащается устройством плавного пуска (рис 2).

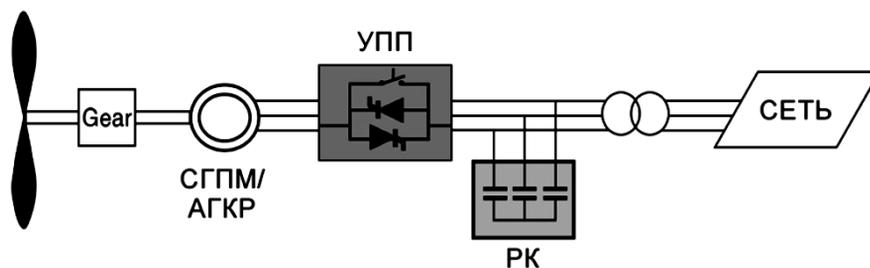


Рис. 2. ВЭУ с постоянной скоростью вращения генератора

В данной конфигурации используется асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором (АГКР) [1], который подключается непосредственно к сети через трансформатор.

Основными недостатками этой концепции являются: не поддержание ВЭУ какого-либо контроля скорости, требуется подключение к негибкой сети, и конструкция ВЭУ должна выдерживать высокие механические нагрузки.

Если ВЭУ имеют непостоянную частоту вращения ротора, то присоединение к сети происходит через инвертор. Инвертор контролирует скорость генератора.

Соответственно скачки мощности, связанные с изменением скорости ветра, поглощаются в основном путем изменения скорости ротора.

1) ВЭУ с ограниченной переменной скоростью с изменяемым сопротивлением ротора.

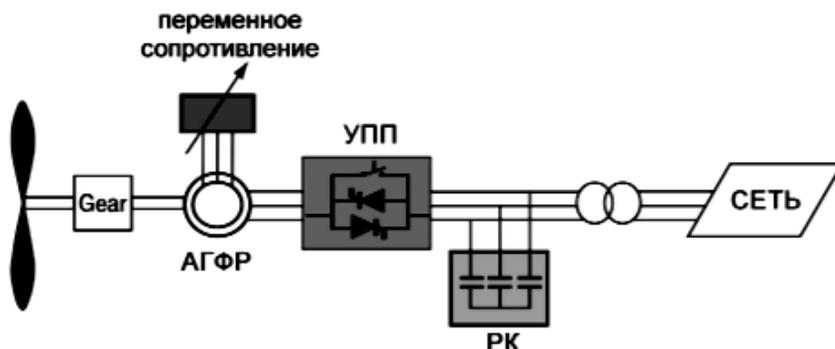


Рис. 3. ВЭУ с ограниченной переменной скоростью с переменным значением сопротивления генератора ротора

В основе данной концепции лежит идея использования асинхронного генератора с фазным ротором (АГФР) с переменным дополнительным сопротивлением, которое контролируется и изменяется динамически при помощи силовой электроники.

Это позволяет управлять скольжением и мощностью на выходе генератора. Эта функция позволяет выбрать оптимальное значение скольжения в результате небольших колебаний крутящего момента трансмиссии и выхода мощности.

Система переменного скольжения является очень простым, надежным и экономически эффективным способом добиться снижения механической нагрузки по сравнению с более сложными решениями на основе использования инверторов полного преобразования для ВЭУ с переменной скоростью.

Данный тип ВЭУ требует использования устройства плавного пуска, чтобы уменьшить пусковой ток и реактивную мощность компенсатора, т.е. уменьшить (устранить) потребность генератора в реактивной мощности из сети. Преимуществом данной концепции является простая электрическая схема и улучшенный диапазон рабочих скоростей. В некоторой степени это позволяет уменьшить механические нагрузки и колебания мощности, вызываемые порывами ветра. Тем не менее, все еще требуется использование компенсирующего реактивную мощность устройства.

К недостаткам можно отнести:

- диапазон скоростей ограничен, так как он зависит от величины запаса переменного сопротивления ротора;
- плохой контроль активной и реактивной мощности;
- коэффициент скольжения может частично неправильно определен из-за рассеяния части мощности в переменном сопротивлении.

2) ВЭУ с ограниченной переменной скоростью с неполным частотным преобразователем. В данной конфигурации ВЭУ используется асинхронный генератор двойного питания (АГДП) [2], который соответствует ВЭУ ограниченно-переменной скорости с асинхронным генератором с фазным ротором и частично управляющим частотным преобразователем в цепи ротора

(мощностью около 30% от номинальной мощности генератора) (принципиальная схема представлена на рисунке 4).



Рис. 4. ВЭУ с ограниченной переменной скоростью с неполным частотным преобразователем

Этот тип ВЭУ не нуждается ни в системе плавного пуска, ни в компенсаторе реактивной мощности, так как частично управляющий частотный преобразователь может выполнять роль компенсации реактивной мощности и осуществлять плавный пуск.

Данный тип имеет более широкий диапазон динамического контроля скорости, в зависимости от выбранного частотного преобразователя. Как правило, диапазон скоростей составляет от -40% до $+30\%$ от синхронной скорости. Малый частотный преобразователь дает хороший экономический эффект.

Основные недостатки заключаются в необходимости дополнительной защите в случае неисправности сети и использование контактных колец для соединения с ротором.

3) ВЭУ с переменной скоростью с полным частотным преобразователем. Здесь наличие полного частотного преобразователя подразумевает дополнительные потери в преобразовании энергии, но это может быть компенсировано дополнительными техническими характеристиками. Преобразователь частоты позволяет контролировать передачу активной и реактивной мощности и более гибко подсоединяться к сети (рис. 5). Здесь возбуждение генератора может осуществляться электрически (в случае использования АГФР) или с помощью постоянных магнитов (в случае использования синхронных генераторов на постоянных магнитах (СГПМ)) [3].

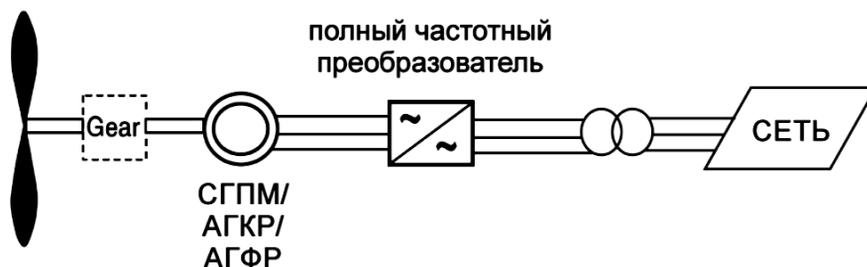


Рис. 5. ВЭУ с переменной скоростью с полным частотным преобразователем

Некоторые ВЭУ данного типа не имеют редуктора, в этих случаях используется прямой привод с многополюсным генератором большого диаметра.

Список литературы / References

1. *Hansen L.H., Helle L., Blaabjerg F.et al.* (2001) Conceptual survey of generators and power electronics for wind turbines. Risø-R-1205(EN), Risø National Laboratory, Denmark.
 2. *Leonhard W.* (1980) Control of Electrical Drives, Springer, Stuttgart.
 3. *Alatalo M.* (1996) Permanent magnet machines with air gap windings and integrated teeth windings. Technical report 288, Chalmers University of Technology, Sweden.
-

**COMPARISON OF VARIOUS TYPES OF EXECUTION
OF AIR-LINES OF THE ELECTRICITY TRANSMISSION**
Averyanov D.A.¹, Golovin E.V.², Zuev A.I.³ (Russian Federation)
Email: Averyanov54@scientifictext.ru

¹Averyanov Danila Andreevich – Student;

²Golovin Evgeny Viktorovich – Student;

³Zuev Alexander Igorevich – Student,

DEPARTMENT OF ELECTRIC POWER SYSTEMS,
NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY
MOSCOW POWER ENGINEERING INSTITUTE,
MOSCOW

Abstract: in article ways of the solution of the problems with transfer of electric energy arising with significant growth in consumption of electric energy are considered. A power line — one of components of an electrical network, the system of the power equipment intended for power transmission by means of electric current. Also electric line as a part of such system which is going beyond power plant or substation. Also various ways of execution of air-lines of an electricity transmission are presented in article and also the analysis of capacity is made for them. Comparison of types of air-lines, namely in traditional execution and in compact is presented.

Keywords: power industry, electrical power system, air-line, compact line, capacity.

**СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ИСПОЛНЕНИЯ
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**
Аверьянов Д.А.¹, Головин Е.В.², Зуев А.И.³
(Российская Федерация)

¹Аверьянов Данила Андреевич – студент;

²Головин Евгений Викторович – студент;

³Зуев Александр Игоревич – студент,

кафедра электроэнергетических систем,
Национальный исследовательский университет
Московский энергетический институт,
г. Москва

Аннотация: в статье рассмотрены способы решения проблем с передачей электрической энергии, возникающих при значительном росте потребления электрической энергии. Линия электропередачи — один из компонентов электрической сети, система энергетического оборудования, предназначенная для передачи электроэнергии посредством электрического тока. Также электрическая линия в составе такой системы, выходящая за пределы электростанции или подстанции. Также в статье представлены различные способы исполнения воздушных линий электропередачи, а также произведен анализ пропускной способности для них. Представлено сравнение типов воздушных линий, а именно в традиционном исполнении и в компактном.

Ключевые слова: электроэнергетика, электроэнергетическая система, воздушная линия, компактная линия, пропускная способность.

В настоящее время наблюдается значительный рост потребления электрической энергии как в промышленной, так и в социальной сферах, что требует дальнейшего увеличения объемов выработки электроэнергии, развития электроэнергетической системы (ЭЭС), строительства новых генерирующих источников, распределительных, транспортных и межсистемных линий электропередачи. К электросетевым объектам и, в частности, к воздушным линиям электропередачи (ВЛ) выдвигаются новые требования повышения эффективности их работы, снижения капитальных вложений в строительство, уменьшения эксплуатационных затрат, снижения экологического влияния на окружающую среду.

Для успешного решения указанных задач и достижения поставленных целей могут быть предложены управляемые электропередачи переменного тока повышенной пропускной способности, которые представляют собой комплекс технических решений, предусматривающих применение одноцепных и многоцепных ВЛ нового поколения (компактных ВЛ и управляемых самокомпенсирующихся ВЛ) в сочетании с современными средствами регулирования.

В таблице 1 показаны значения натуральной мощности при выполнении линии традиционной и компактной конструкции.

Таблица 1. Значения натуральной мощности при выполнении воздушной линии разным исполнением

№ п/п	Наименование типов ВЛ 220 кВ	Величина натуральной мощности, МВт	
		На одну цепь	На линию в целом
1	Традиционная одноцепная ВЛ 220 кВ (провода АС 300/66)	155,1	155,1
2	Компактная одноцепная ВЛ 220 кВ (провода АС 300/66)	277,9	277,9
3	Традиционная двухцепная ВЛ 220 кВ (провода АС 300/66)	152,3	304,6
4	Компактная двухцепная ВЛ 220 кВ (провода АС 300/66)	254,5	509,0

Из таблицы видно, что компактные линии имеют гораздо большую пропускную способность (на 40 – 45 %) по сравнению с традиционными ВЛ. Данный эффект достигается за счет сближения фаз и создания компактных конфигураций их расположения в одноцепных и многоцепных ВЛ обеспечивается улучшение электрических параметров линий и, прежде всего, повышение пропускной способности, благодаря изменению параметров электромагнитного поля в междуфазном и окружающем линию пространстве. Усиление параметров поля внутри линии за счет сближения фаз позволяет улучшить электрические параметры, увеличить пропускную способность, и, соответственно, технические характеристики линии, а ослабление поля во внешнем пространстве улучшить экологические показатели ВЛ.

Принципиальными являются вопросы выбора минимально допустимого расстояния между сближенными фазами.

Анализ и расчеты показали, что их значения с учетом разрядных характеристик изоляционных промежутков «фаза-фаза» при максимальных рабочих напряжениях, грозовых и коммутационных перенапряжениях могут быть приняты на уровне 0,35-0,5 от величины междуфазовых расстояний (D), применяемых на ВЛ традиционной конструкции, что не противоречит правилам устройства электроустановок (ПУЭ).

При сближении фаз в компактных ВЛ должны соблюдаться требования, чтобы максимальная напряженность электрического поля (E_m) на поверхности проводов не превышала величину напряженности поля начала короны (E_H). При этом должно соблюдаться условие: $E_m \leq 0,9 \cdot E_H$. Выбор проводов и конструкции фаз должны удовлетворять этому условию.

В зависимости от того, насколько сближаются фазы, осуществляется выбор проводов и определяются основные характеристики линии, ее волновое сопротивление и величина натуральной мощности.

Список литературы / References

1. Повышение эффективности электросетевого строительства / ред. Н.Н. Тиходеев. Ленинград: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1991. 240 с.
2. Рыжов Ю.П. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 488 с., ил.
3. Зарудский Г.К., Самалюк Ю.С. О режимных особенностях компактных воздушных линий электропередачи напряжением 220 кВ / Зарудский Г.К., Самалюк Ю.С. // Электричество. 2013. № 5. С. 8-13.

BIOCOMPUTERS

Chaplygin N.A. (Russian Federation)

Email: Chaplygin54@scientifictext.ru

Chaplygin Nikita Alekseevich – Student,

*PROFILE: INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES,
NORTH CAUCASIAN FEDERAL UNIVERSITY, STAVROPOL*

Abstract: *the article describes the principle of the biocomputer, parallel computing. The features of this computer are shown. The analysis of comparison of a biocomputer with a quantum computer and a classical computer is carried out. The shortcomings and impossibility of realizing a quantum computer are shown. Conclusions are made about the future development of biocomputing.*

Keywords: *computer, biocomputer, quantum, multitasking, parallel computin.*

БИОКОМПЬЮТЕРЫ

Чаплыгин Н.А. (Российская Федерация)

Чаплыгин Никита Алексеевич – студент,

*профиль: информационные системы и технологии,
Северо-Кавказский государственный университет, г. Ставрополь*

Аннотация: *в статье описан принцип работы биокомпьютера, параллельных вычислений. Показаны особенности данной вычислительной машины. Проведен анализ сравнения биокомпьютера с квантовым компьютером и классическим компьютером. Показаны недостатки и невозможность реализации квантового компьютера. Сделаны выводы о будущем развития биокомпьютинга.*

Ключевые слова: *компьютер, биокомпьютер, квантовый, многозадачность, параллельные вычисления.*

Компьютеры повсюду: начиная от смартфонов и планшетов до ПК и игровых консолей и вплоть до суперкомпьютеров и умных часов. Суть в том, что все они работают по одинаковому принципу – они используют машинный код, состоящий из нулей и единиц. Это похоже на чтение, компьютер считывает набор инструкций за набором инструкций, а затем выполняет задачу и переходит к следующему шагу. Мы называем такие компьютеры классическими. Возникает вопрос: «Если компьютер может выполнять только одну задачу за раз, как могут работать несколько программ одновременно?». В основном процессор обрабатывает по одной задаче за раз или по одному набору инструкций за раз, но переключается между ними очень быстро: примерно 2,5 миллиарда раз в секунду для одноядерного однопоточного процессора на 2,5 ГГц. Этого достаточно для работы программного обеспечения и прочих подобных приложений, но иногда требуется гораздо больше вычислительной мощности, которая позволяла решать сложные уравнения почти без ограничений: криптография или сложные симуляции поведения нашего мира, современные математические модели. Такие задачи можно описать и классифицировать, как требующие экспоненциально всё больше времени на решение с возрастанием сложности. Классические компьютеры не могут хорошо справляться с такими задачами. Лучшее, что есть на данный момент – множество

классических компьютеров, соединённых между собой и названных суперкомпьютером. Нам нужен компьютер, способный на самом деле решать множество задач одновременно, нам нужен компьютер с параллельными вычислениями. Такой компьютер называется квантовым.

Практичность квантовых компьютеров с точки зрения производства и эксплуатации не доказана. Квантовому компьютеру для работы необходима температура, очень близкая к абсолютному нулю. Эти проблемы могут быть решены в будущем, но на данный момент требуется решение получше. Тут приходят на помощь биокомпьютеры, оказавшиеся совершенно новым реализуемым решением. Метод биокомпьютинга потребляет меньше 1 процента от той энергии, что потребляют современные электронные транзисторы. В результате можно получить мощность современных суперкомпьютеров, умещенную в ноутбук и без абсурдных энергозатрат и тепловыделения [1].

Как оказалось, решение было всегда рядом в виде белка миозина – составного элемента мышечной ткани. Миозин можно представить в виде множества крошечных молекулярных двигателей, преобразующих химическую энергию в механическую. Биокомпьютер использует миозин, чтобы направлять белковые нити вдоль искусственных дорожек. Он включает в себя построение сети наноканалов, которая обеспечивает регуляцию потока нанобелковых нитей, ответ в сети соответствует решению математического уравнения, и множество молекул одновременно могут найти свой путь через сеть. Поэтому, вместо того, чтобы использовать множество компьютеров, соединенных между собой, для выполнения множественных одновременных вычислений, можно будет использовать наноразмерный молекулярный мотор, делающий то же самое, а это – гораздо меньшие по размеру и более мощные компьютеры. Эта биокомпьютерная система гораздо проще и дешевле в производстве, чем квантовый компьютер, в основном за счет того, что основные компоненты такого компьютера распространены в природе. Исследователи утверждают, что биокомпьютеры скорее всего в десятилетиях от производства. Они также утверждают, что существующие программные алгоритмы могут быть использованы в этой системе с некоторой оптимизацией. [2]

В отличие от обычных вычислительных устройств биокомпьютеры имеют ряд уникальных возможностей. Вместо бинарного кода они используют тенарный, так как информация в них кодируется тройками нуклеотидов. Их производительность может достигать 10¹⁴ операций в секунду. Плотность хранения данных с помощью устройств на основе ДНК в триллионы раз превышает показатели оптических дисков. Наконец, биокомпьютеры имеют исключительно низкое энергопотребление. [3]

Существующие на данный момент системы биокомпьютинга позволяют находить множество решений одновременно. Сейчас они выглядят медленными и примитивными. Но эти исследования были доказательствами концепта, показавшего, что идея работает, что позволяет исследователям получить достаточно данных, чтобы убедиться, что это жизнеспособная альтернатива квантовому компьютерам.

В то время как квантовые вычисления могут стать изобретением на долгосрочной перспективе, которое заменит огромные помещения с суперкомпьютерами, данные доказательства работоспособности концепта практичной, лёгкой в производстве, требующей гораздо меньшей энергии и недорогой параллельно-вычислительной системы может означать, что будущие ПК,

а может даже и смартфоны смогут вместить мощность современных суперкомпьютеров. В итоге только время покажет, станет ли этот метод действительно тем, о чем говорят учёные и исследователи.

Список литературы / References

1. *Шукин Д.* Биокomпьютеры – есть ли перспективы? // Компьютерные вести, 2005. № 28.
2. *Пул Ч., Оуэнс Ф.* Мир материалов и технологий. Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2004.
3. Лаборатория биологических микрочипов // Институт молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта РАН. 2009. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.biochip.ru/>. (дата обращения: 12.08.2018).

MACHINE STRUCTURE AND MACHINE MANAGEMENT

A MATHEMATICAL MODEL OF SPARE PARTS SUPPLY CONTROL AT THE TRANSPORT COMPANY

Yusupova O.V.¹, Kobyilkin D.S.² (Russian Federation)

Email: Yusupova54@scientifictext.ru

¹Yusupova Olesya Vladimirovna – Senior Lecturer,
INFORMATION TECHNOLOGY DEPARTMENT,
Post Graduate,

MOTOR VEHICLES TRANSPORT DEPARTMENT;

²Kobyilkin Dmitry Sergeevich – Candidate of Engineering Science, Associate Professor,
INFORMATION TECHNOLOGY DEPARTMENT,
FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION
ORENBURG STATE UNIVERSITY,
ORENBURG

Abstract: the article describes the scheme of spare parts supply at the Transport Companies of Orenburg town. It reviews different methods of spare parts supply during the maintenance and repair of the vehicles. The article proposes methods of calculation of spare parts control in a social-technical system based on the example of the Transport Company that help to provide the repaired units and spare parts on time. Analytical dependence is defined, providing optimal calculation of spare parts reserves at the Transport Company.

Keywords: spare parts, maintenance and repair, Transport Company, car, negotiable warehouse.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПОСТАВКАМИ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА АВТОТРАНСПОРТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ Юсупова О.В.¹, Кобылкин Д.С.² (Российская Федерация)

¹Юсупова Олеся Владимировна – старший преподаватель,
кафедра информатики,
аспирант,

кафедра автомобильного транспорта;

²Кобылкин Дмитрий Сергеевич – кандидат технических наук, доцент,
кафедра информатики,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Оренбургский государственный университет,
г. Оренбург

Аннотация: в статье приведена схема поставок запасных частей на автотранспортных предприятиях г. Оренбурга. Рассмотрены различные способы организации обеспечения расходными материалами при проведении технического

обслуживания и ремонта подвижного состава на автотранспортном предприятии. Предложены методы расчета управления запасными частями в социально-технической системе на примере автотранспортного предприятия, позволяющие своевременно и в оптимальном количестве обеспечивать исправными (отремонтированными) узлами и запасными частями. Определены аналитические зависимости, обеспечивающие оптимальный расчет запаса запасных частей на автотранспортном предприятии.

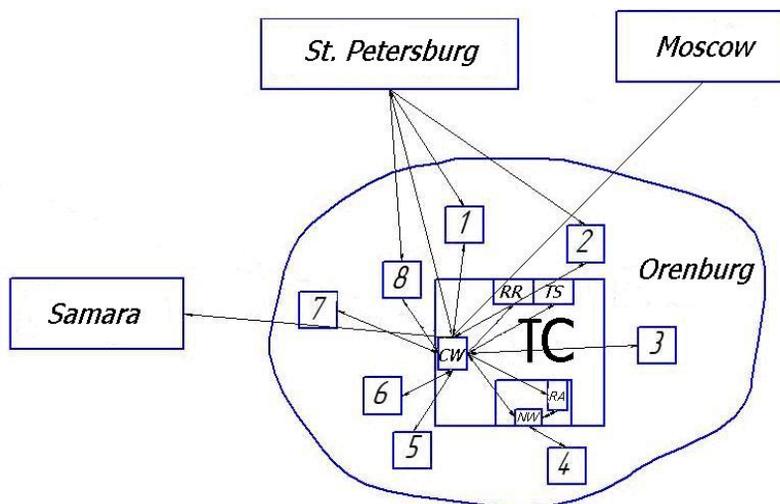
Ключевые слова: запасные части, техническое обслуживание и ремонт, автотранспортное предприятие, автомобиль, оборотный склад.

Aiming to provide uninterrupted working process the transport company should constantly keep the required level (insurance) of spare parts, so that they are always available. However, sometimes there is a necessity to look for a required spare part in the shops as this part is not available in the company's warehouse. In this case a company calls the nearest shop to find out if there is a spare part it needs. Sometimes the spare part is available in the shop and so the shutdown is not so long. It can happen that the spare part is available only at manufacturer that is in another city and the waiting period for the delivery will cause significant expenses.

Let's look at the example of shutdowns in car repair caused by unsatisfactory procurement. For example shutdowns due to lack of spare parts in the company's warehouse and shutdowns emergency procurement situations.

Reduction of organizational shutdowns mainly depends on cooperation with spare parts suppliers and manufacturers.

For example here is the scheme of spare parts supply for the transport company located in Orenburg. The specific feature of this region is its boundary location that complicates connection with other regions of the Russian Federation. The area is characterized by its significant length from the west to the east and the largest cities are located within 450 km and more. The scheme of spare parts supply is presented in the figure 1:



1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 – spare parts shops in Orenburg; 4 – repair; TC – Transport Company; RR – Radiator's Repair shop; TS – Truckbody Shop; CW – Central Warehouse; NW – Negotiable Warehouse; RA – Repair Area

Fig. 1. Scheme of Spare parts supply at Transport Company in Orenburg

Transport Company cooperates with different suppliers:

- suppliers of the vehicles (car manufactures, dealers);
- suppliers of fuel and lubricating materials;
- suppliers of engineering, management and working personnel (Universities, colleges, driver schools).

Majority of planning tasks for spare parts delivery are variable. Searching for the most effective solution demands labor and time costs. Therefore there is a necessity of using economical-mathematical methods that will help to find the optimal solution within the shortest terms.

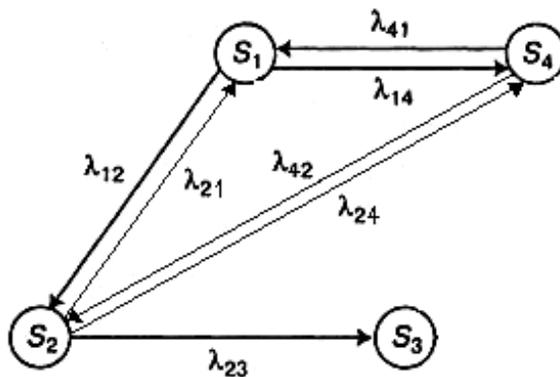
Shutdowns and losses are closely associated with deliveries from manufactures, central storages and shops, and with organization and cooperation between structural units at Transport Company. The company with 250 vehicles usually has several types of warehouses and maintenance and repair depend on its operation.

There are different schemes of spare parts supply during maintenance and repair of vehicles (with negotiable warehouse available):

- from manufacturer directly to the central warehouse;
- from manufacturer to the central warehouse via shops located within the city.

These cooperation schemes allow us to sum up, that the negotiable warehouse operation is associated with a number of problems such as: excess amount of repaired units in the warehouse thus increasing storage costs (by 30% of total costs of spare parts) and vice versa, lack of spare parts leads to shutdowns in repair shops that is unacceptable for a transportation process. In order to solve this problem we offer the method of calculation of spare parts control.

Resource of any vehicle and duration of its repair, and the moment of its delivery to the exchange fund is the random value. Due to this fact the working hours of Transport Company has a random character, therefore it can be related to a private type (Markovskiy process). This process can be illustrated by graph of spare parts movement (figure 2). Queuing lines may arise due to lack of new (repaired) required parts.



S1 – manufacturer; S2 – central warehouse; S3 – negotiable warehouse; S4 – shops in Orenburg; λ_{ij} - stream of possibility of transfer from status S_i to status S_j

Fig. 2. Graph of status of spare parts movement

Stock of units for vehicles located in the area of the negotiable warehouse, may be calculated with a help of a famous Erlang equality [2], for vehicles located in several areas, operated by one repair company, - mathematical methods of theory of mass maintenance. In the second case the task is more complicated as apart from the number of units of turnover fund, it is necessary to identify the storage location: distributed in several areas or centralized in one place.

Let's review the case of optimal storage of the turnover fund n_i taking into account minimal time for replacement of vehicles located in several areas. As an example we will compare average time for the unit replacement waiting in two different areas and in one central storage area.

Average waiting time $T_{n.d.}$ at different storage areas with $n_1 = n_2 = n$; $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$; $\nu_1 = \nu_2 = \nu$ will be:

$$T_{n.d.} = T_{n.1.} = T_{n.2.} = \frac{\Pi(n, \nu, \lambda)}{n\nu - \lambda},$$

where λ_i - number of failed units delivered to i-section;

ν - service time $t_{serv} (\nu = 1/t_{serv})$.

At central storage of turnover fund, where system parameters will be equal $2n, 2\lambda, \nu$, respectively, average waiting time can be defined by formula:

$$T_{n.c.} = \frac{\Pi(2n, 2\lambda, \nu)}{2n\nu - 2\lambda} = \frac{1}{2} \frac{\Pi(2n, 2\lambda, \nu)}{n\nu - \lambda} \quad (1)$$

Relation $T_{n.d.}$ to $T_{n.c.}$ shows coefficient of shutdown increase K at distributed storage of turnover fund:

$$K = \frac{T_{n.d.}}{T_{n.c.}} = 2 \frac{\Pi(n, \lambda, \nu)}{\Pi(2n, 2\lambda, \nu)} \quad (2)$$

Probability (P) that there won't be required units in the warehouse is defined by formula:

$$\Pi = \frac{\nu P_0}{(n-1)!(n\nu - \lambda)} \left(\frac{\lambda}{\nu} \right)^n \quad (3)$$

where P_0 - probability that at certain period of time there will not be any requirements for the parts, and all the n of turnover fund will be available.

Inserting the value P into the formula (2), we will get a formula (4).

$$\begin{aligned}
K &= 2 \frac{\nu P_0(n, \lambda, \nu)}{(n-1)!(n\nu - \lambda)} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^n : \frac{P_0(2n, 2\lambda, \nu)}{(2n-1)!(2n\nu - 2\lambda)} \left(\frac{2\lambda}{\nu}\right)^{2n} = \\
&= 4 \frac{(2n-1)! \left[\sum_{\gamma=0}^{2n-1} \frac{2^\gamma}{\gamma!} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^\gamma + \frac{1}{(2n-1)! \binom{n-\lambda}{\nu}} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^{2n} 2^{2n-1} \right]}{(n-1)! 2^{2n} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^n \left[\sum_{\gamma=0}^{n-1} \frac{1}{\gamma!} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^\gamma + \frac{1}{(n-1)! \binom{n-\lambda}{\nu}} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^n \right]} \quad (4)
\end{aligned}$$

Therefore we can see that at central storage of turnover fund the coefficient of shutdown decrease $K > 2$, thus proving economic feasibility of the central storage.

However this condition is valid only at unchanged ν , i.e. in case of vehicles location within the vicinity of production base. If vehicles are located far from the base, at central storage of the turnover fund t_{serv} will increase for the time of transportation $2t_{TT}$, whereas the value ν will decrease.

With decreasing ν the efficiency of central location will be reduced, and at long transportation it can be turned out that central storage is not feasible. In general creation of central storage with location of turnover fund at separate maintenance areas can be more efficient. In order to reduce the vehicle shutdown it is necessary to calculate reserves resulting from the target function thus allowing to reduce total costs.

Optimal criteria is defined by the following target function:

$$F = T(n_1, n_2, \dots, n_k, n_0)SM + C\left(\sum n_i + n_0\right), \quad (5)$$

where T – average shutdown period at every change of the vehicle;

S – losses per day of car shutdown;

M – number of replaced units per year;

C – costs of one turnover unit;

n_i – turnover fund at i-m area;

n_0 – turnover fund at central area (company).

To minimize function F by parameters n_1, n_2, \dots, n_0 it is necessary to define dependence of waiting time T_i from these values. The task can be solved by means of modelling of work of mixed system using statistical tests. It is possible to generalize Erlang formulas for a multivariate task. However, the first option demands time, the second – the solution is too enormous.

In order to use Erlang formulas for finding optimal turnover fund in n-systems we can use another method of calculation. So λ_{us-i} parameter of the flow “unsatisfied” at i-area. This flow is not a simple one, it is a flow of P [3] type, i.e. ordinary with limited sequence. However, according to the theorem [3], it is expected that superposition of these flows

coming to central warehouse, is leading to the simple flow with parameters $\lambda_{us} = \lambda_i P_i$, where P_i – probability of failure at i -area:

$$P_i = \frac{\left(\frac{\lambda_i}{\nu_i}\right)^{n_i}}{n_i! \sum_{k=0}^{n_i} \left(\frac{\lambda_i}{\nu_i}\right)^k \frac{1}{K!}} \quad (6)$$

Waiting time (T_w) will depend on parameter of the flow of applications λ_f of number of turnover fund n_0 and service parameter ν :

$$T_w = T_w(\lambda_f, n_0, \nu) = \frac{P}{n_0 \nu - \lambda_f}, \quad (7)$$

where $P = \frac{\left(\frac{\lambda_f}{\nu}\right)^{n_0}}{n_0} \times \frac{P_0}{1 - \frac{\lambda_f}{\nu n_0}}$;

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{n_0-1} \frac{\left(\frac{\lambda_f}{\nu}\right)^k}{K!} + \frac{\left(\frac{\lambda_f}{\nu}\right)^{n_0}}{(n_0-1)! \left(n_0 - \frac{\lambda_f}{\nu}\right)} \right]^{-1}.$$

Shutdown caused by transportation of turnover fund, will depend on conditional probability of application delivery to i -area, on probability of failure to perform the request and on transportation time for central base i.e.:

$$t_{TT} = \frac{\lambda_i}{\sum_{\gamma=1}^k \lambda_\gamma} \Pi_i T_{TTi}.$$

Then average shutdown time can be defined by formula:

$$T = \sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{\sum_{\gamma=1}^k \lambda_\gamma} \Pi_i T_{TTi} + T_w. \quad (8)$$

Function is as follows: (9).

$$F = \left[\sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{\sum_{\gamma=1}^k \lambda_\gamma} P_i(n_i, \lambda_i, \nu) T_{TTi} + T_w(n_0, \sum_{f,\gamma} \lambda_{f,\gamma}(n_i), \nu) \right] SM + C(\sum n_i + n_0) \quad (9)$$

SO we can see (9), that with increasing n_i through $P_i T_{TTi}$ the shutdown period is reduced, and through T_w the shutdown period is increased. At $T_{TTi} = 0$ central storage of the turnover fund will be optimal.

Maximum value of the function is achieved at some values $n_{opt.i}$. $n_{opt.0}$. These values can be derived with a help of dynamic programming [4, 5]. Calculations are much easier and can be made practically by a method of directional selection using special calculation tables of factorials and sums.

Reviewed methods of calculations of spare parts control in social-technical system help to provide proper units and spare parts on time and in optimal amount.

Implementation of these methods will help to provide reduction of cars shutdown due to lack of spare parts. For a passenger's bus company with 250 vehicles and more these methods will help reduce the shutdown in a service areas by 12-16%.

Monitoring of procurement work of Transport Company shows that availability of unjustified warehouses (extra) affects spare parts supply. The proposed methods prove efficiency of central storage of units and vehicles parts.

References / Список литературы

1. *Saati T.L.* Elements of theory of mass maintenance and it applications. M.: Librocom, 2010. 520 p.
2. *Ventsel E.S.* Theory of Probability. M.: «Vysshaya Shkola», 2001. 575 p.
3. *Gordon M.* Procurement / M. Gordon, 1994. № 1-2. P. 59-61.
4. *Lukinskiy V.S.* Car transport logistics: Course book / V.S. Lukinskiy, V.I. Berezhnoy, E.V. Berezhnaya and others. M.: Finance and statistics, 2004. 368 p.
5. *Berezhnoy V.I.* Economic-mathematical methods and models in examples and tasks / V.I. Berezhnoy, V.I. Berezhnaya. Stavropol: Intellect-Service, 1996. 188 p.

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

MODELING OF MOTION OF SPACE OBJECTS Valko I.N.¹, Khlystunova E.A.² (Russian Federation)

Email: Valko54@scientifictext.ru

¹Valko Igor Nikolaevich – Graduate Student;
²Khlystunova Ekaterina Anatolievna – Graduate Student,
DEPARTMENT OF PHYSICS AND INFORMATION SYSTEMS,
KUBAN STATE UNIVERSITY,
KRASNODAR

Abstract: *the article analyzes the mathematical model of planetary motion, the basic physical laws and the solution of differential equations describing the basic processes are given. The description of the program, clearly depicting the trajectories of the motion of the planets depending on various parameters, is given. The article will be useful for teachers and students interested in computer modeling.*

Keywords: *computer modeling, Newton's laws, law of gravity, trajectories.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ Валько И.Н.¹, Хлыстунова Е.А.² (Российская Федерация)

¹Валько Игорь Николаевич – магистрант;
²Хлыстунова Екатерина Анатольевна – магистрант,
кафедра физики и информационных систем,
Кубанский государственный университет,
г. Краснодар

Аннотация: *в статье рассматривается математическая модель движения планет, приведены основные физические законы и решение дифференциальных уравнений, описывающих основные процессы. Приведено описание программы, наглядно изображающей траектории движения планет в зависимости от различных параметров. Статья будет полезна преподавателям и студентам, интересующимся компьютерным моделированием.*

Ключевые слова: *компьютерное моделирование, законы Ньютона, закон Всемирного тяготения, траектории.*

На сегодняшний день использование компьютеров дают широкие возможности в различных областях знаний для решения очень сложных задач. Столь бурное развитие информационных технологий и программирования делает необходимым хотя бы в небольшой степени знать и уметь применять компьютеры. Компьютерный эксперимент может быть выполнен в таких условиях, когда проведение натурального эксперимента затруднено или даже невозможно [1]. К тому же компьютерное моделирование предусматривает графическое представление полученных результатов в виде графиков, рисунков или анимаций, а это является неотъемлемой

частью быстрого восприятия и осмысления информации, что является важным в процессе обучения.

Движение планеты относительно звезды можно описать двумя фундаментальными уравнениями - вторым законом Ньютона и законом Всемирного тяготения [2]:

$$\ddot{\mathbf{r}} = \frac{\mathbf{F}}{m}, \quad (1)$$

$$\mathbf{F} = -\frac{GMm}{r^3} \mathbf{r}, \quad (2)$$

Приравняв силы друг к другу и разложив на проекции, получим систему дифференциальных уравнений:

$$\ddot{x} = -\frac{GMx}{(x^2 + y^2)^{3/2}} \quad (3)$$

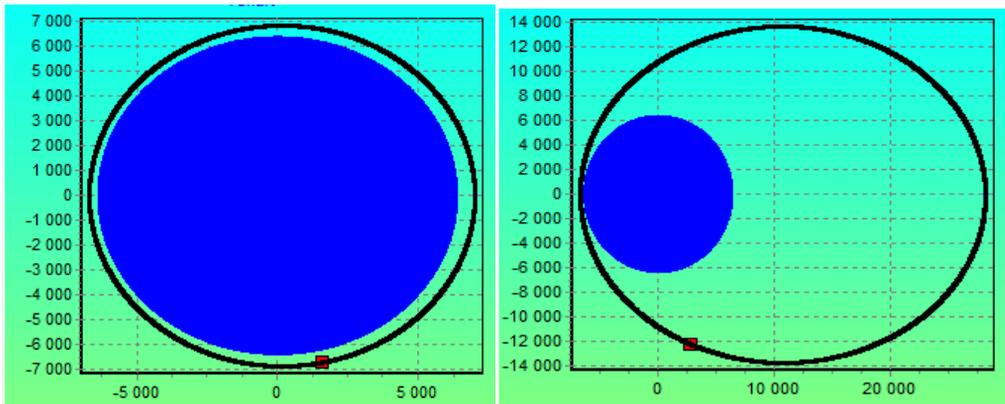
$$\ddot{y} = -\frac{GM y}{(x^2 + y^2)^{3/2}}, \quad (4)$$

где \ddot{x} и \ddot{y} – проекции ускорений на оси,

G – гравитационная постоянная, равная $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$,

x и y — координаты тела.

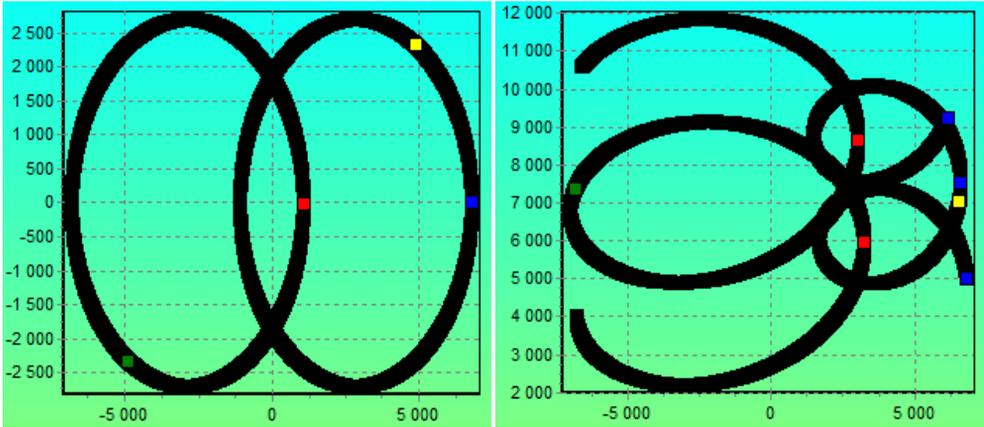
Приведенная система уравнений описывает движение тела вокруг другого массивного объекта, например, движение планеты относительно звезды или спутника относительно планеты. Систему можно дополнить и вывести уравнения для относительного движения двух объектов, что является более интересной задачей, а ее результаты получаются довольно неожиданными. Траектория движения тела будет зависеть от начальных условий: начальной скорости, начальной координаты и направления вектора скорости. Предполагаем, что массивное тело расположено в начале координат.



а)

б)

Рис. 1. Траектория движения искусственного спутника Земли с начальными скоростями: а) 7,9 м/с, и б) 9,8 м/с



а)

б)

Рис. 2. Траектории движения двух тел: а) с одинаковыми массами и б) с массами $M_1 = 2,97 \cdot 10^{24}$ кг и $M_2 = 5,97 \cdot 10^{24}$ кг

На рисунке 1 показана траектория движения искусственного спутника Земли на околоземной орбите с начальной скоростью 7,9 м/с, которая является первой космической скоростью. Увеличив скорость до 9,8 м/с, мы получаем уже эллиптическую орбиту.

Очень интересные результаты можно наблюдать, запрограммировав относительное движение двух звезд. Одна из таких траекторий, представленная на рисунке 2 (а), характеризует движения тел с одинаковыми массами.

Теперь изменим соотношение масс двух тел, уменьшив одно из них примерно в два раза. Рисунок 2б изображает траектории в виде двух спиралей, по большей спирали движется менее массивное тело, в то время как по меньшей спирали движется более массивное тело.

Изменяя параметры модели можно получать самые разные траектории движения космических объектов, наглядно изучать уже известные объекты.

Таким образом, реализация данной модели может стать интересной задачей для студентов при изучении закона всемирного тяготения и движения космических тел друг относительно друга.

Список литературы / References

1. Тупицына А.И. Методы компьютерного моделирования физических процессов и сложных систем. Учебное пособие. СПб: Университет ИТМО, 2014. 48 с.
2. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. Часть 1. М.: Мир, 1990. 350 с.

**IV INTERNATIONAL CORRESPONDENCE SCIENTIFIC SPECIALIZED CONFERENCE
INTERNATIONAL SCIENTIFIC REVIEW
OF THE TECHNICAL SCIENCES,
MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCES
Boston. USA. August 13-14, 2018
[HTTPS://SCIENTIFIC-CONFERENCE.COM](https://scientific-conference.com)**



**COLLECTION OF SCIENTIFIC ARTICLES
PUBLISHED BY ARRANGEMENT WITH THE AUTHORS**



You are free to:

Share – copy and redistribute the material in any medium or format

**Adapt – remix, transform, and build upon the material
for any purpose, even commercially.**

Under the following terms:

**Attribution – You must give appropriate credit,
provide a link to the license, and indicate if changes were made.**

You may do so in any reasonable manner,

but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.

**ShareAlike – If you remix, transform, or build upon the material, you must
distribute your contributions under the same license as the original.**

**ISBN 978-1-948507-40-0
INTERNATIONAL CONFERENCE**

PRINTED IN THE UNITED STATES OF AMERICA

DISTRIBUTED FREE OF CHARGE