

УДК 621.311.004.12

Основные зависимости параметров электрической энергии в однопроводной линии электропередачи

Г.А. Большанин^{1*}, Л.Ю. Большанина¹

¹Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия. E-mail: bolshaninga@mail.ru
Статья поступила 17.01.2012, принята 22.05.2012

Рассмотрены особенности передачи электрической энергии пониженного качества по однопроводной линии электропередачи. Представлена математическая модель однородного участка однопроводной линии электропередачи (ЛЭП). Получены законы распространения напряжения и тока вдоль однопроводной ЛЭП. Показана тенденция уменьшения количества передаваемой мощности при увеличении протяженности участка. Эта тенденция наиболее резко проявляется при превышении протяженности рассматриваемого участка ЛЭП половины длины волны электромагнитного поля. Построены графические интерпретации зависимости распределения напряжения от первичных параметров ЛЭП: от емкости, от активной проводимости между проводом и заземленными конструкциями линии, от активного сопротивления провода и его собственной индуктивности.

Ключевые слова: линия электропередачи, электрическая энергия пониженного качества, продольные и поперечные параметры, постоянная распространения, коэффициент фазы, коэффициент затухания электромагнитной волны.

Basic dependences of electric power parameters in the single-wire lines

G.A. Bol'shanin^{1*}, L.Yu. Bol'shanina¹

¹Bratsk State University, 40, Makarenko str., Bratsk, Russia. E-mail: bolshaninga@mail.ru
Received 17.01.2012; Accepted 22.05.2012

The features of down-graded electric-power transmission along the single-wire transmission line have been examined. The mathematical model of a homogeneous section of the single-wire line has been proposed. The laws for propagation of voltage and current along the single-wire transmission line have been obtained. The tendency for reducing the transmitted power amount under the section length increase has been shown. This tendency reveals most apparently when the length of the power line section under consideration is twice as much half-wavelength of the electromagnetic field. Graphical interpretations of the voltage distribution dependences upon the power line primary parameters: capacity, active conductance between the wire and the grounded line constructions, wire active resistance and its self-inductance.

Key words: power line, down-graded electric power, longitudinal and crosscut parameters, propagation constant, phase coefficient, electromagnetic wave attenuation coefficient.

Линии электропередачи (ЛЭП), входящие в состав современных электроэнергетических систем, участвующие в транспортировке электрической энергии, уже, как правило, пониженного качества, то есть характеризующейся несинусоидальными напряжениями и токами, при анализе электроснабжения следует представлять линиями с распределенными параметрами. Передача электрической энергии от места генерации до места ее потребления в современных электроэнергетических системах выполняется при посредстве линий электропередачи чаще всего трехфазного трехпроводного исполнения. Традиционно при анализе результатов транспортировки электрической энергии по таким ЛЭП рассматривают передачу этой энергии по одному из проводов анализируемой линии электропередачи, а полученные при этом результаты распространяют на все три провода. При этом абсолютно без каких-либо серьезных оснований считается, что свойства распространения электрической энергии по однопроводной

ЛЭП идентичны свойствам распространения этой энергии по трехпроводной линии электропередачи.

Для того, чтобы доказать или опровергнуть это мнение, необходимо исследовать свойства распространения электрической энергии по однопроводным и многопроводным ЛЭП. В этом плане однопроводная линия электропередачи представляет особый интерес.

На рис. 1 представлена схема замещения однородного участка однопроводной ЛЭП на частоте n -ой гармонической составляющей напряжения и тока [1]. Протяженность рассматриваемого участка ЛЭП принята бесконечно малой, определяемой величиной dl .

Погонные активное сопротивление R_{0n} и собственная индуктивность L_{0n} иллюстрируют на этой схеме замещения продольные параметры ЛЭП. Они означают, что при анализе распределения электрической энергии по однородному участку однопроводной ЛЭП

следует учитывать собственные активное сопротивление и индуктивность токоведущих частей линии.

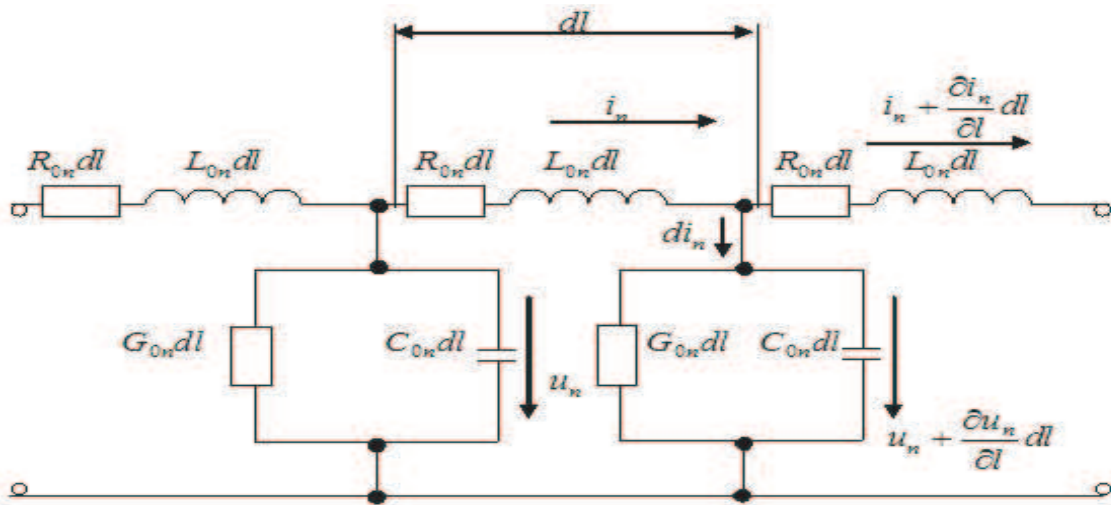


Рис. 1. Электрическая схема замещения однородного участка ЛЭП однопроводного исполнения на частоте n -ой гармонической составляющей.

Конечно, каждый провод ЛЭП обладает еще и собственной емкостью, но, как показали расчеты, ее величина настолько мала, что признаки ее присутствия полностью компенсируются собственной индуктивностью, и она не оказывает заметного влияния на результаты исследования. Поэтому собственную емкость провода в составе продольных параметров линии учитывать не имеет смысла.

Электромагнитную связь между токоведущими частями ЛЭП и поверхностью земли достаточно иллюстрировать погонными активной проводимостью G_{0n} и емкостью C_{0n} . Они здесь представляют поперечные параметры линии.

Математическая модель однородного участка однопроводной ЛЭП известна и представляет собой систему из двух уравнений, составленных на основании законов Кирхгофа:

$$\left. \begin{aligned} u_n G_{0n} dl + C_{0n} dl \frac{\partial u_n}{\partial t} + \frac{\partial i_n}{\partial t} dl &= 0; \\ i_n R_{0n} dl + L_{0n} dl \frac{\partial i_n}{\partial t} + \frac{\partial u_n}{\partial t} dl &= 0. \end{aligned} \right\}$$

После ряда преобразований получаются дифференциальные уравнения второго порядка:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{d^2 \dot{U}_n}{dl^2} &= Z_{0n} \frac{d \dot{I}_n}{dl}; \\ -\frac{d^2 \dot{I}_n}{dl^2} &= Y_{0n} \frac{d \dot{U}_n}{dl}, \end{aligned} \right\}$$

где \dot{U}_n и \dot{I}_n – изображения действующих значений напряжения и тока на комплексной плоскости на частоте n -ой гармонической составляющей;

$$\begin{aligned} Z_{0n} &= R_{0n} + jn\omega L_{0n}; \\ Y_{0n} &= G_{0n} + jn\omega C_{0n}. \end{aligned}$$

Совместное решение этих уравнений определит законы изменения напряжения и тока вдоль однородного участка однопроводной ЛЭП. Их вид зависит от начальных условий. Если известен спектральный состав напряжения и тока в начале рассматриваемого участка, то законы изменения действующих значений напряжения и тока вдоль однородного участка ЛЭП предстанут в виде:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_n &= \dot{U}_{1n} ch \gamma_n l - \dot{I}_{1n} Z_{cn} sh \gamma_n l; \\ \dot{I}_n &= \dot{I}_{1n} ch \gamma_n l - \frac{\dot{U}_{1n}}{Z_{cn}} sh \gamma_n l, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где \dot{U}_{1n} и \dot{I}_{1n} – комплексные значения действующих величин напряжения и тока в начале рассматриваемого участка ЛЭП на частоте n -ой гармонической составляющей; γ_n – постоянная распространения волны электромагнитного поля на частоте n -ой гармонической составляющей, определяемая по формуле

$$\gamma_n = \sqrt{Z_{0n} Y_{0n}};$$

Z_{cn} – волновое сопротивление однородного участка однопроводной ЛЭП на частоте n -ой гармонической составляющей, определяемое по формуле

$$Z_{cn} = \sqrt{\frac{Z_{0n}}{Y_{0n}}};$$

l – расстояние от начала участка ЛЭП до места, где нужно определить действующие значения напряжения и тока.

Если известен спектральный состав напряжения и тока в конце линии, то закон распределения напряжения и тока вдоль ЛЭП определится несколько иначе:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_n &= \dot{U}_{2n} \operatorname{ch} \gamma_n y + \dot{I}_{2n} Z_{cn} \operatorname{sh} \gamma_n y; \\ \dot{I}_n &= \frac{\dot{U}_{2n}}{Z_{cn}} \operatorname{sh} \gamma_n y + \dot{I}_{2n} \operatorname{ch} \gamma_n y, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где \dot{U}_{2n} и \dot{I}_{2n} – комплексные значения действующих величин напряжения и тока в конце рассматриваемого участка ЛЭП на частоте n -ой гармонической составляющей; y – расстояние от конца участка ЛЭП до места, где нужно определить действующие значения напряжения и тока.

Результаты исследований законов распределения гармонических составляющих напряжения и тока вдоль однородного участка однопроводной ЛЭП (1) и (2) свидетельствуют о зависимости этого распределения от протяженности рассматриваемого участка.

При протяженности ЛЭП, равной четверти длины волны электромагнитного поля, реактивное сопротивление линии достигает максимальной величины, а количество передаваемой по линии энергии уменьшается.

При протяженности ЛЭП, равной половине длины волны электромагнитного поля, реактивное сопротивление становится равным нулю, а количество передаваемой мощности существенно увеличивается.

На следующей четверти волны количество передаваемой энергии снова уменьшается, а на следующей четверти – увеличивается и т. д. Хотя с ростом протяженности ЛЭП из-за увеличения активной проводимости и собственного активного сопротивления провода наблюдается общая тенденция к сокращению величины передаваемой мощности. Эта тенденция наиболее резко проявляется при превышении протяженности рассматриваемого участка ЛЭП половины длины волны электромагнитного поля.

Этот факт известен и подтверждается экспериментально.

На рис. 2 представлена графическая интерпретация распределения напряжения вдоль однородного участка однопроводной ЛЭП протяженностью 1000 км на частоте 15-й гармонической составляющей. Отсчет протяженности линии здесь ведется от ее конца, то есть значение абсциссы $y = 0$ км соответствует концу линии, а значение $y = 100$ км – ее началу. Судя по изображению распределения напряжения на рис. 2, уровень напряжения при переходе от начала линии ($y = 100$ км), к ее концу ($y = 0$ км) заметно снижается, что обусловлено затуханием электрической энергии.

Длина волны электромагнитного поля на частоте 15-й гармонической составляющей равна 400 км. На рис. 2 видно, что при протяженности участка ЛЭП, равной четверти длины волны электромагнитного поля ($y = 100$ км), напряжение достигает максимальной величины, что соответствует наибольшему сопротивлению передачи энергии. При протяженности линии, равной половине длины волны электромагнитного поля ($y = 200$ км), напряжение уменьшается, что соответствует уменьшению сопротивления передачи энергии. При протяженности линии, равной трем четвертям длины волны электромагнитного поля ($y = 300$ км), напряжение снова достигает своего очередного максимального экстремума, а сопротивление увеличивается. На конце линии, протяженность которой равна длине волны электромагнитного поля ($y = 400$ км), напряжение минимально, минимально и сопротивление. И так далее... Аналогичная кривая может быть построена и для тока.

Распространение тока вдоль однопроводной ЛЭП тоже представляет собой колебательный процесс с признаками аперриодичности. Но колебания тока вдоль линии сдвинуты на четверть волны электромагнитного поля относительно кривой напряжения (рис. 3).

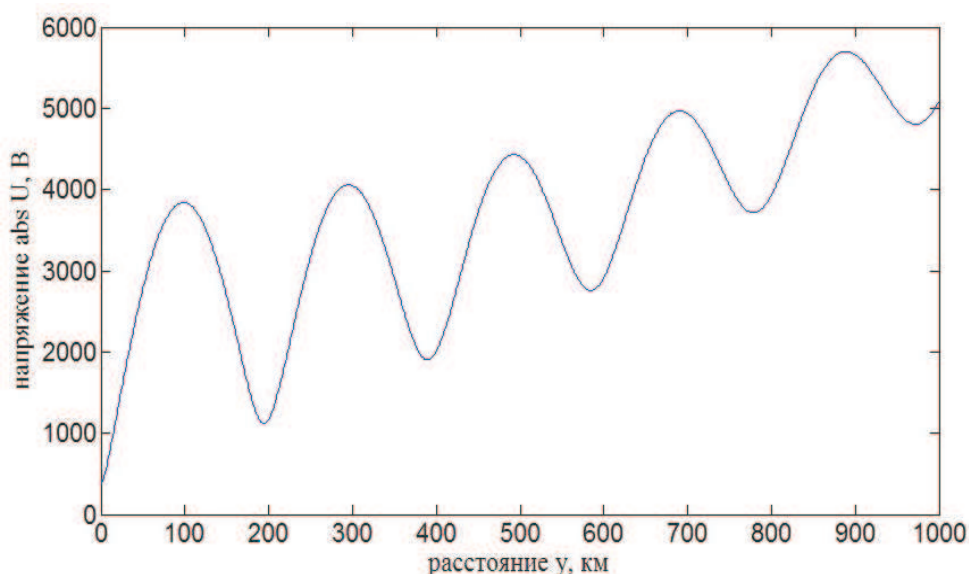


Рис. 2. Графическая интерпретация распределения напряжения вдоль однородного участка однопроводной ЛЭП на частоте 15-й гармонической составляющей.

Формы кривых напряжения и тока зависят от многих величин: от напряжения и тока в конце рассматриваемого участка ЛЭП, от его протяженности, от величин волнового сопротивления и постоянной распространения волны электромагнитного поля.

Постоянная распространения волны электромагнитного поля определяется суммой коэффициента затухания β_n и коэффициента фазы α_n :

$$\gamma_n = \beta_n + j\alpha_n .$$

Форма распределения напряжения и тока, расположение максимальных и минимальных экстремумов

существенно зависит от величины коэффициента фазы, а, в конечном счете, от первичных параметров ЛЭП.

На рис. 4 приведена графическая зависимость распределения напряжения по однопроводной исследуемой ЛЭП от величины емкости между проводом и заземленными конструкциями линии. Увеличение этой емкости приводит к существенному возрастанию напряжения, особенно на протяженных ЛЭП.

На рис. 5 представлена графическая зависимость распределения напряжения вдоль однопроводной ЛЭП на частоте 15-й гармонической составляющей от активной проводимости между проводом и заземленными конструкциями линии. Рост активной проводимости заметного влияния на распространение напряжения вдоль однопроводной линии не оказывает.

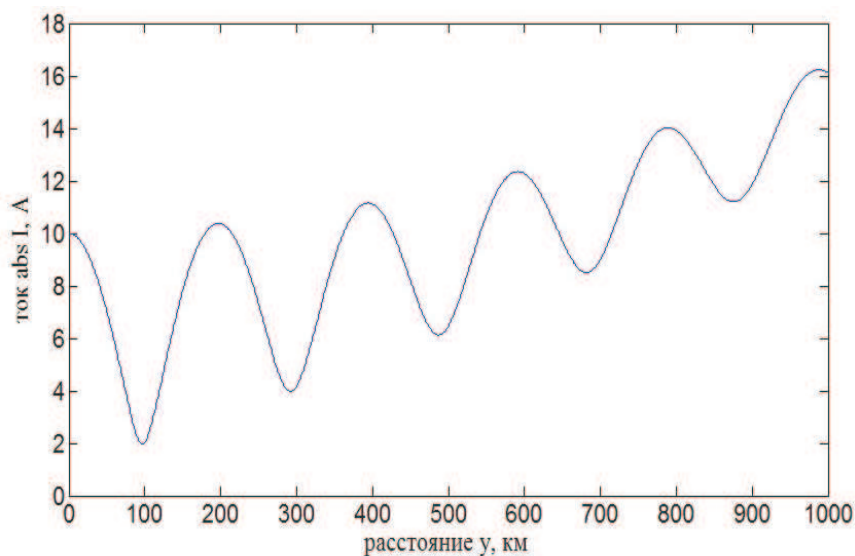


Рис. 3. Графическая интерпретация распределения тока вдоль однородного участка однопроводной ЛЭП на частоте 15-й гармонической составляющей.

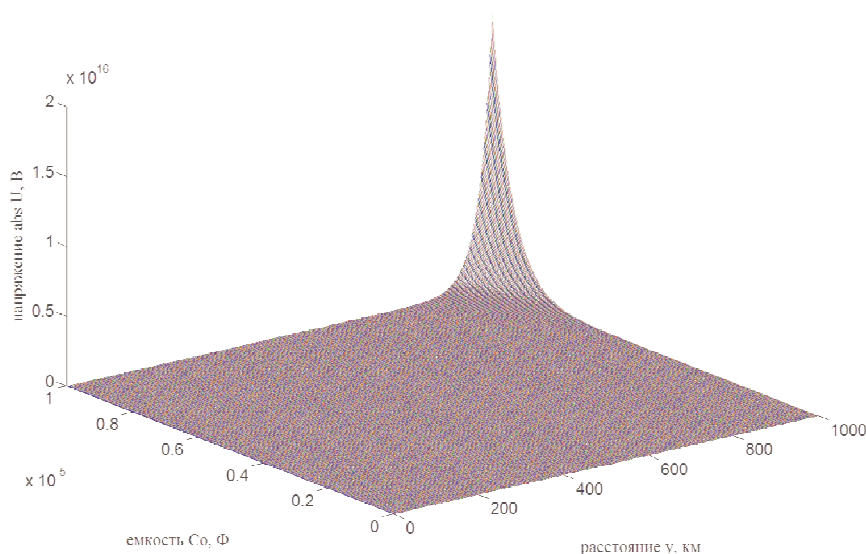


Рис. 4. Графическая зависимость распределения напряжения вдоль однопроводной ЛЭП на частоте 15-й гармонической составляющей от емкости между проводом и заземленными конструкциями линии.

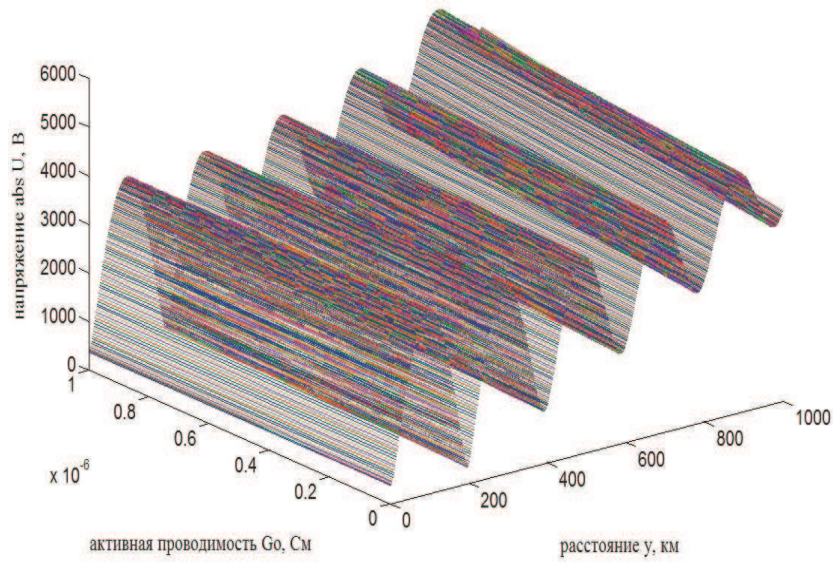


Рис. 5. Графическая зависимость распределения напряжения вдоль однопроводной ЛЭП на частоте 15-й гармонической составляющей от активной проводимости линии.

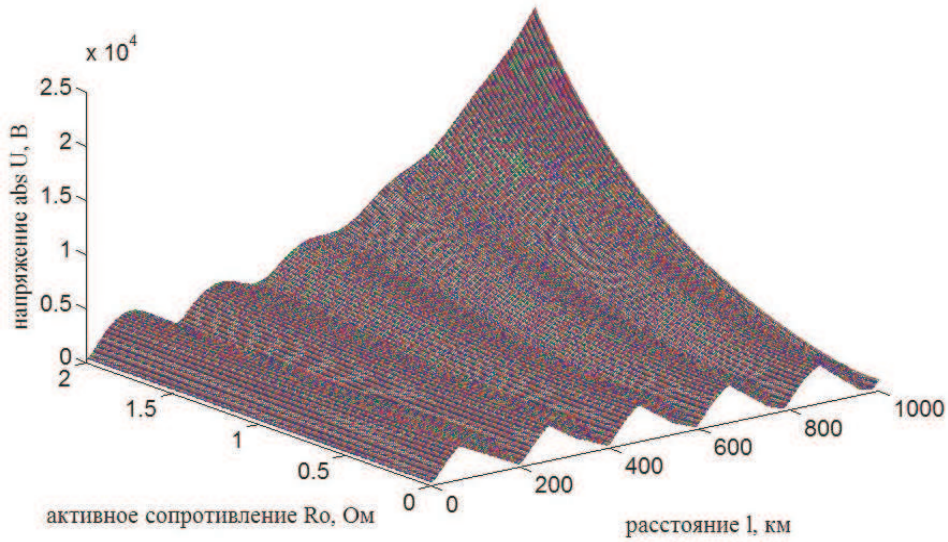


Рис. 6. Графическая зависимость распределения напряжения вдоль однопроводной ЛЭП на частоте 15-й гармонической составляющей от активного сопротивления линии.

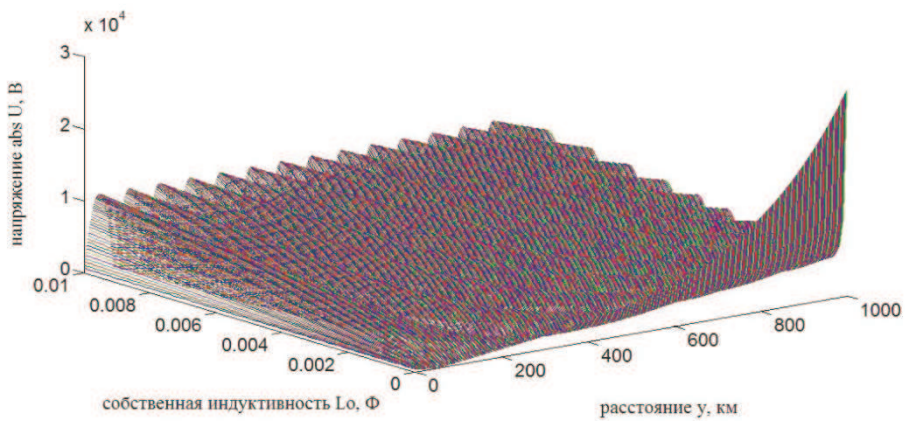


Рис. 7. Графическая зависимость распределения напряжения вдоль однопроводной ЛЭП на частоте 15-й гармонической составляющей от собственной индуктивности провода.

Судя по рис. 6, увеличение активного сопротивления проводов ЛЭП особенно опасно для протяженных линий электропередачи. А малая собственная индуктивность этих проводов для протяженных ЛЭП, как следует из рис. 7, крайне нежелательна и способствует существенному увеличению затухания напряжения.

Аналогичные зависимости можно построить и для тока. Следует помнить, что здесь идет речь о погонных параметрах линии.

Предлагаемые зависимости напряжения и тока вдоль однопроводной линии от ее погонных параметров построены на основании уравнений (2). Этот факт подтверждает универсальность этих уравнений, которые могут быть использованы не только для прогнозирования, спектрального состава напряжения и тока в любом месте ЛЭП, но и для определения оптимальных значений первичных параметров линии. Но только однопроводной линии электропередачи. Для многопроводных линий и, тем более, при передаче электроэнергии пониженного качества эти уравнения не справедливы.

Таким образом, качественные и количественные характеристики распределения электрической энергии зависят от величин активных сопротивлений проводов, собственных индуктивностей, емкостных и активных проводимостей между проводом и заземленными конструкциями ЛЭП. Проследив эти зависимости, можно сделать заключение об оптимальных величинах параметров исследуемой линии.

Выводы. Количественные и качественные оценки распространения электрической энергии вдоль однопроводной ЛЭП зависят от ее вторичных и, в конечном счете, от ее первичных параметров: увеличение емкости между проводом и заземленными конструктивными элементами приводит к возрастанию напряжения и тока на протяженных ЛЭП, а изменение активной проводимости между проводом и заземленными конструктивными элементами линии электропередачи в диапазоне от 0 до 1 См практически не оказывает влияния на оценку распространения электрической энергии вдоль однопроводной ЛЭП; увеличение активного сопротивления провода ЛЭП особенно опасно для протяженных линий электропередачи, а малая собственная индуктивность этих проводов для протяженных ЛЭП крайне нежелательна и способствует существенному увеличению затухания напряжения и тока.

Литература

1. Большанин, Г.А. Распределение электрической энергии пониженного качества по участкам электроэнергетических систем. В 2 кн. / Г.А. Большанин. – Братск: БрГУ, 2006. 807 с.

References

1. Bol'shanin G.A. Down-graded electric energy distribution along the power systems sections. V 2 kn. / G.A. Bol'shanin. Bratsk, BrGU, 2006. 807 p.

УДК 681.3,681.5

Распределение параллельных программ между ролями-сотрудниками в облачном кластере

Ю.А. Шичкина¹

¹Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия. E-mail: strange.y@mail.ru
Статья поступила 20.12.2011, принята 19.05.2012

В последнее время набирают популярность услуги по предоставлению вычислительных мощностей в «облаках». Исследования показывают, что методы оптимизации параллельных алгоритмов могут быть успешно применены для автоматизации процесса выделения вычислительных ресурсов в «облаке» по запросу пользователя. В данной статье рассматривается архитектура приложения в облаке, включающая: веб-роли, предназначенные для получения и обработки входящих запросов по протоколу HTTP через службы веб-сервера; роли-сотрудники, получающие данные из хранилища данных и обменивающиеся информацией с веб-ролями посредством запросов, размещаемых в очередях; диспетчер очереди, осуществляющий распределение задач из очереди по ролям-сотрудникам; диспетчер программ, необходимый для выбора программы из базы данных и ее параметров и передачи в очередь; а также очередь с информацией о задачах, поступивших на выполнение, и базу данных программ. Показано, что при использовании схем с применением диспетчеров очереди и программ вероятность превышения допустимого времени решения задачи становится намного меньше в сравнении с другими способами. Для получения оптимального распределения нагрузки среди ролей-сотрудников применялся аппарат матричной алгебры, теории множеств и теории графов. В дальнейшем взаимосвязь задач и процессоров можно представить с помощью взвешенного ориентированного графа, в котором весами ребер будут количества процессоров, необходимых для решения задачи, а именами узлов – номера решаемых задач. На основе взвешенного графа построен алгоритм распределения задач по ролям-сотрудникам в диспетчере очереди, основанный на теории множеств.

Ключевые слова: параллельный алгоритм, облачные вычисления, диспетчер очереди, диспетчер задач, роли-сотрудники.