

## Список литературы

1. Чудновский А. Д. Информационные технологии управления в туризме: учеб. пособие / А. Д. Чудновский, М. А. Жукова. — 4-е изд., стер. — М.: КНОРУС, 2011. — 104 с.
2. Русин В. Н. Логистика в туризме: учеб. пособие / В. Н. Русин. — СПб.: ГУВК, 2011. — 83 с.
3. Мескон М. Х. Основы менеджмента: пер. с англ. / М. Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедори. — М.: Вильямс, 2008. — 670 с.

**УДК 621.3.087.9**

**Г. Е. Барщевский,**  
аспирант,  
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИСКАЖЕНИЯ КРИВОЙ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ СО СТАТИЧЕСКИМИ ВЫПРЯМИТЕЛЯМИ

### IDENTIFICATION OF THE DISTORTION FACTOR OF THE VOLTAGE CURVE OF THE DRILLING RIG POWER SYSTEMS WITH STATIC RECTIFIERS

*В статье выполнен статистический анализ точности различных полиномиальных моделей путем сравнения результатов расчетов, произведенных с помощью вычислительных и полиномиальных моделей.*

*In the paper a statistical analysis of the accuracy of the different polynomial models is carried out by comparing the results of calculations made by using of computing and polynomial models.*

*Ключевые слова:* электроэнергетическая система, полиномиальная модель, статистический анализ.

*Key words:* electric power system, polynomial model, statistical analysis.

**С**УДОВАЯ автоматизированная электроэнергетическая система (ЭЭС) представляет собой совокупность источников электроэнергии, преобразователей, автоматических систем и других электротехнических устройств, объединенных процессом производства, преобразования и распределения электроэнергии, предназначеннной для питания судовых приемников (потребителей).

Одним из основных требований, предъявляемых к судовым автоматизированным электроэнергетическим системам, является обеспечение заданного качества электроэнергии в установившихся, переходных и квазистабилизированных режимах. Промежуточное место между установившимися и переходными процессами занимают квазистабилизированные (квазистационарные) процессы, характерные для нормальной работы статических преобразователей и сопровождающиеся искажением формы кривой напряжения. В настоящей статье будет рассмотрена идентификация показателей качества квазистационарных электромагнитных процессов.

Научно-технический прогресс в области силовой полупроводниковой техники привел к широкому использованию в современных и перспективных автономных ЭЭС статических преобра-

зователей, которые имеют существенные технико-экономические преимущества перед другими преобразователями электроэнергии.

Статические выпрямители нашли широкое применение в ЭЭС судов, предназначенных для освоения Мирового океана, в частности ЭЭС буровых судов и установок [1]. Наиболее эффективные меры по обеспечению заданного качества электроэнергии с учетом требований, предъявляемых к ЭЭС в аварийных режимах, необходимо принимать при предпроектных исследованиях и на ранних стадиях проектирования.

Полиномиальные модели показателей качества электроэнергии получаются путем обработки, осуществляющей на основе вычислительных моделей ЭЭС, результатов вычислительного эксперимента, позволяющих определять искомые значения показателей качества электроэнергии [2].

Анализ различных видов полиномиальных моделей коэффициента искажения ЭЭС показал, что достаточно высокую точность при ограниченном числе точек спектра плана обеспечивает кусочно-полиномиальная модель, у которой локальные модели коэффициента искажения определяются следующим образом:

$$K_u(S_B, x_\Gamma, v_\pi, \lambda_p) = S_B x_\Gamma K'_u(S_B, x_\Gamma, v_\pi, \lambda_p), \quad (1)$$

где третий сомножитель представляет собой полный полином третьего порядка от четырех расчетных параметров.

Значительно более сложную задачу представляет собой вероятностная формализация показателей качества искажения кривой напряжения САС с несколькими выпрямителями. При этом следует учитывать, что в реальных условиях не существует однородных выпрямителей, то есть выпрямителей, работающих в одинаковых режимах, так как ввиду разброса углов управления и коммутации квазиоднородные выпрямители всегда работают в режимах, которые несколько отличаются друг от друга. Отсюда возникает задача вероятностной оценки показателей качества несинусоидальных процессов в ЭЭС с несколькими выпрямителями с учетом взаимной компенсации гармонических составляющих токов отдельных выпрямителей и их взаимного влияния.

Рассмотрим ЭЭС самоподъемной буровой установки.

Система включает четыре генератора типа МСК-1250-750, один из которых является резервным, и пять трехфазных статических управляемых выпрямителей. Полная мощность генератора МСК-1250-750  $S_\Gamma^* = 1250$  ква, его базисное сопротивление  $Z_6 = 0,128$  Ом, а индуктивное сопротивление коммутации генератора  $x_\Gamma = 0,1485$  о. е. Индуктивное сопротивление двух параллельно включенных реакторов  $x_p = 0,0158$  Ом;  $x_\pi = \frac{x_p}{Z_6} = 0,123$ .

В результате произведены расчеты коэффициента искажения буровой установки в различных режимах (табл. 1).

Таблица 1

	Спуск подъем	Бурение	Цементирование
Без ФКУ	14,11 %	15,36 %	17,87 %
С ФКУ	9,92 %	10,45 %	12,17 %

Из приведенных расчетов видно, что применение ФКУ позволяет существенно уменьшить расчетное значение коэффициента искажения напряжения.

Произведен статистический анализ точности различных полиномиальных моделей путем сравнения результатов расчетов, произведенных с помощью вычислительных и полиномиальных моделей. Расчетные точки выбирались случайным образом исходя из предположения, что исследуемые параметры подчиняются равномерному закону распределения.

Для сравнительной оценки точности полученных ПМ произведен расчет коэффициентов искажения кривой напряжения ЭЭС с трехфазным статическим выпрямителем.

Сравнивались четырехфакторные полиномиальные модели четвертого порядка, построенные на основе оптимального и стандартного планов. Сравнение результатов расчетов коэффици-

ентов искажения методом статических испытаний позволило получить следующие значения характеристик ошибок полиномиальных моделей, сведенных в табл. 2:

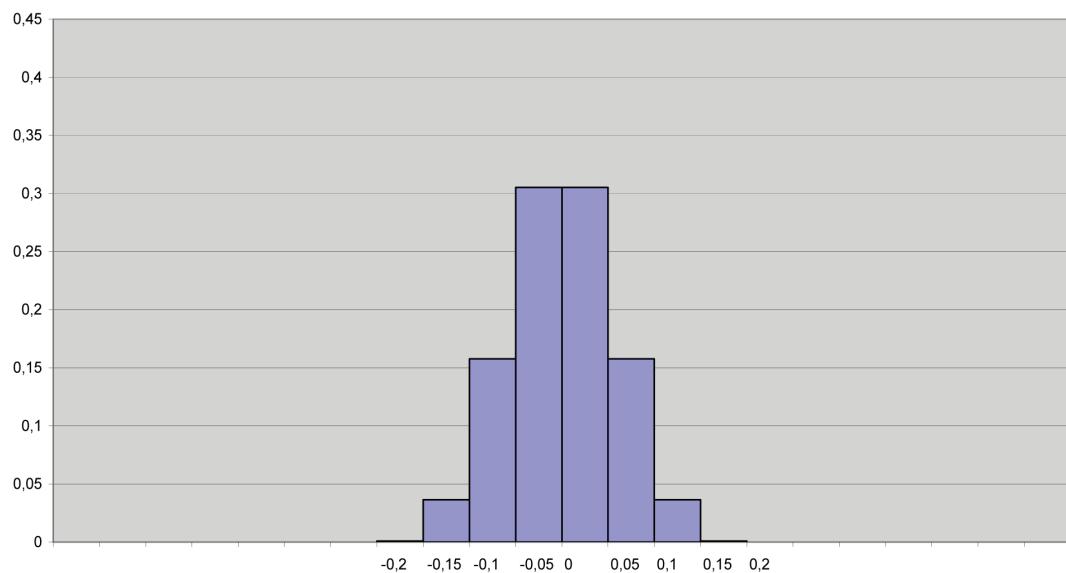
Таблица 2

Характеристика	Четвертый порядок	
	оптимальный	стандартный
$M =$	-0,000109951	-0,002746192
$\sigma =$	0,045526217	0,069624818

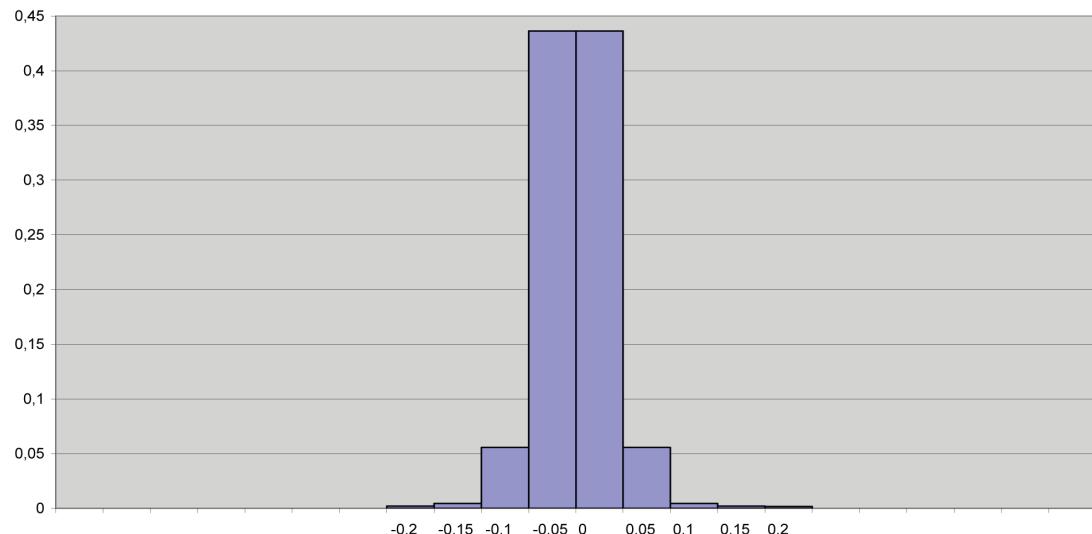
Как видно из табл. 2, полиномиальные модели, построенные на основе оптимальных планов, обеспечивают более высокую точность по сравнению с полиномиальными моделями, построенными на основе обычных планов. Использование оптимальных планов четвертого порядка значительно повышает точность полиномиальных моделей.

Рассмотрим статистические дифференциальные функции распределения ошибок двухфакторных и четырехфакторных полиномиальных моделей.

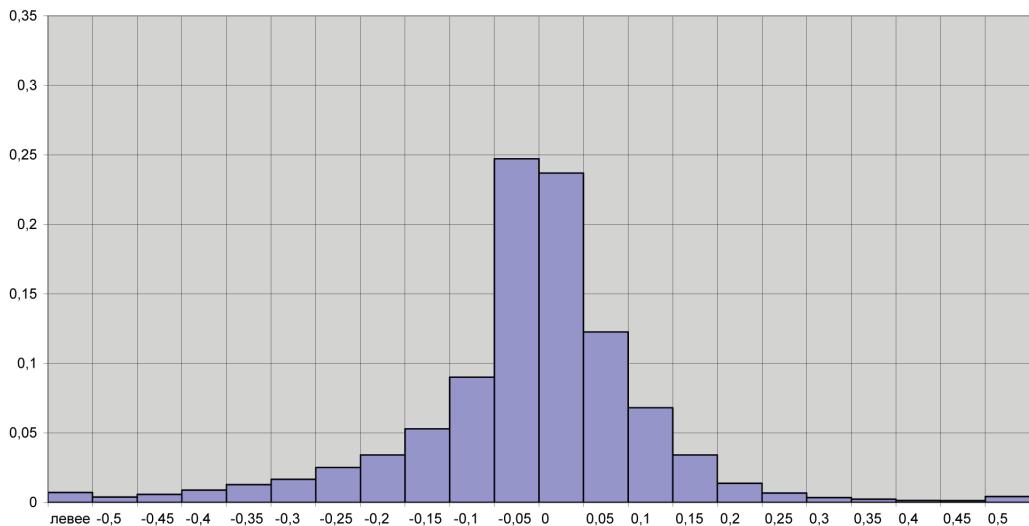
Статистические дифференциальные функции распределения ошибки  
 ПМ 4 порядка на два фактора



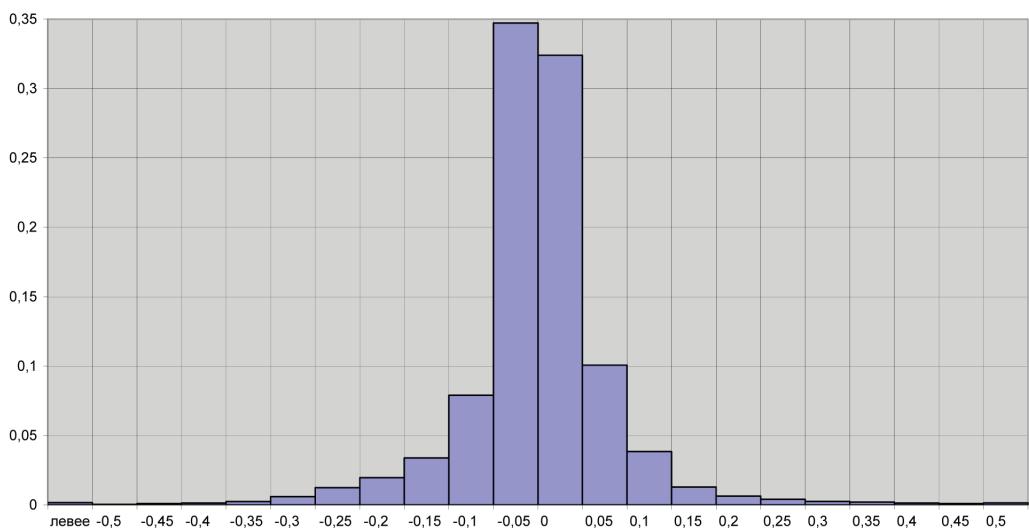
Статистические дифференциальные функции распределения ошибки  
 оптимальной ПМ 4 порядка на два фактора



Статистические дифференциальные функции распределения ошибки  
ПМ 4 порядка на четыре фактора



Статистические дифференциальные функции распределения ошибки  
оптимальной ПМ 4 порядка на четыре фактора



Как видно из анализа статистических дифференциальных функций распределения полиномиальных моделей четвертого порядка на два и четыре фактора:

— они близки к нормальному закону распределения ошибок

— наибольшие ординаты функции распределения соответствующих оптимальных планов значительно больше наибольших ординат в соответствии со стандартным планом.

Указанные соотношения объясняются тем, что при нормальном законе распределения наибольшая ордината обратно пропорциональна среднеквадратическому отклонению.

Для полиномиальных моделей, полученных на основе оптимальных планов вычислительного эксперимента на четыре фактора, можно с вероятностью 85,08 % сказать, что ошибка определения коэффициента искажения по абсолютной величине не будет превышать 0,1 %. В то же время для полиномиальных моделей, полученных на основе стандартных планов вычислительного эксперимента на четыре фактора, ошибка определения коэффициента искажения по абсолютной величине не будет превышать 0,1 % лишь с вероятностью 69,67 %.

Для полиномиальных моделей, полученных на основе оптимальных планов вычислительного эксперимента на два фактора, можно с вероятностью 98,4 % сказать, что ошибка определения

коэффициента искажения по абсолютной величине не будет превышать 0,1 %. В то же время для полиномиальных моделей, полученных на основе стандартных планов вычислительного эксперимента на два фактора, ошибка определения коэффициента искажения по абсолютной величине не будет превышать 0,1 % лишь с вероятностью 92,56 %.

### Список литературы

1. Зубарев Ю. Я. Планирование вычислительного эксперимента в электроэнергетике / Ю. Я. Зубарев. — СПб.: Энергоатомиздат, 2000.
2. Барщевский Е. Г. Идентификация и оптимизация судовых автоматизированных систем методами планирования эксперимента / Е. Г. Барщевский, Ю. Я. Зубарев. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012.

**УДК 681.3.07:656.6:005**

**А. П. Нырков,**  
д-р техн. наук, профессор,  
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

**А. А. Нырков,**  
канд. техн. наук, доцент,  
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

## МОДЕЛИ, АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МИНИМИЗАЦИИ РИСКОВ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

### MODELS, ALGORITHMS AND SOFTWARE FOR RISKS MINIMIZING OF MULTIMODAL TRANSPORTATIONS

*В статье предложены модели, алгоритмы и коды в Maple минимизации рисков мультимодальных перевозок.*

*The article tells about the models, algorithms and Maple codes for risks minimizing of multimodal transportations.*

*Ключевые слова: модель, алгоритм, риски, мультимодальные перевозки.*

*Key words: model, algorithm, risks, multimodal transport.*

**Н**а транспорте в целом и на водном транспорте в частности практически все технологические процессы (эксплуатация транспортных объектов, перевозка и перегрузка грузов, перевозка пассажиров и др.) подвержены влиянию случайных факторов [1; 2, с. 283–286; 3; 4]. Итогом их воздействия могут быть потери материальных ресурсов, и порой существенные. Для минимизации потерь можно воспользоваться методами теории риска.

В ISO Guide 73–2009 риск определяется как «следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей» [5, с. 5]. Под «следствием влияния» следует понимать вели-