

This paper shows a possibility of creation stabilization and pointing system for land moving objects AHRS based. It is illustrated by the biaxial system of indirect stabilization. It is shown the way to get two stabilization angles in quaternions representation. The main advantage of coordinate converter quaternions based is that the Rodrigues-Hamilton parameters do not degenerate under any position of rigid body and solving the problem of conversion is reduced to solving a system of four linear equations.

**stabilization system, position detection system course, quaternions**

Одержано 12.11.15

УДК 621.311

**Ю.Н. Веприк, проф., д-р техн. наук, О.А. Небера, асп.,**

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г.Харьков, Украина, E-mail: neberaolga@gmail.com*

**А.П. Свиридов, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г.Кировоград, Украина*

## Математическая модель переходных процессов в системах электроснабжения с двигательной нагрузкой и ее программная реализация

В статье представлена модель систем электроснабжения в переходных режимах и её программная реализация на основе уравнений в фазных координатах, которая позволяет воспроизводить как электромагнитные, так и электромеханические составляющие переходных процессов в электрической сети произвольной конфигурации.

**переходные процессы, фазные координаты, математическая модель, электрические машины, двигательная нагрузка**

**Ю.М. Веприк, проф., д-р техн. наук, О.О. Небера, асп.**

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м.Харків, Україна*

**А.П. Свіридов, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна*

**Математична модель перехідних процесів в системах електропостачання з двигунним навантаженням та її програмна реалізація**

У статті запропоновано метод математичного моделювання систем електропостачання в перехідних режимах, що забезпечує можливість представлення електричної мережі довільної конфігурації. Представлена модель розроблена на основі рівнянь в фазних координатах і дозволяє відтворювати як електромагнітні, так і електромеханічні складові перехідних процесів.

**перехідні процеси, фазні координати, математична модель, електричні машини, двигунне навантаження**

**Постановка проблемы.** В реальной эксплуатации системы электроснабжения с двигательной нагрузкой (ЭСДН) находятся в условиях постоянно действующих возмущений – со стороны внешней энергосистемы, со стороны рабочих механизмов, со стороны внешней среды. Результатом этих воздействий является появление небалансов мощностей и моментов на валах электродвигателей. Отклонения параметров режима системы в ходе возникающих при этом переходных процессов могут выходить за

допустиме пределы и приводить к повреждениям и отключениям оборудования, нарушениям технологических процессов и ущербам. Выяснить влияние переходных процессов на оборудование, выбрать средства противоаварийного управления и оценить их эффективность можно только на основании расчетов переходных процессов, возникающих при внешних возмущающих, управляющих и защитных воздействиях, что, в свою очередь, возможно только при наличии соответствующих средств моделирования.

Развитие средств математического моделирования режимов работы электрических систем для повышения их точности и расширения круга решаемых задач принципиально возможно на основе перехода к математическим моделям, использующим уравнения в фазных координатах. Модели в фазных координатах как отдельных элементов, так и систем различной степени сложности имеют не только большую универсальность, но и более широкие возможности развития. Переход к моделям, основанным на уравнениях в фазных координатах, позволяет создать более полные модели, ориентированные не на конкретные расчетные схемы, а на широкий класс задач и энергетических объектов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известные и применяемые в расчетной практике модели и программные продукты, как правило [1], основаны на выделении и исследовании лишь одной из составляющих (электромагнитной или электромеханической), что ограничивает их по области применения, по точности и, что более существенно, по составу воспроизводимых явлений. Ряд явлений, в том числе и изменения частоты в течение переходных процессов, при этом выпадают из числа учитываемых факторов и вообще не рассматриваются.

Для упрощения задачи в применяемых моделях вводится ряд упрощений:

- расчет выполняется на одну фазу – по однофазной расчетной схеме;
- емкостные параметры элементов не учитываются;
- электромагнитные составляющие переходных процессов не рассматриваются, т.е. принимается допущение о том, что токи и напряжения в сети при коммутациях изменяются мгновенно, поэтому вместо дифференциальных уравнений переходных процессов электрическая сеть представляется алгебраическими уравнениями, а в систему уравнений переходных процессов включаются только уравнения движения роторов электродвигателей.

Задача при этом упрощается, но и характер переходного процесса отражается упрощенно – изменяются количественные и качественные характеристики переходного процесса.

С развитием средств вычислительной техники возможности развития математических моделей на основе уравнений в фазных координатах расширяются. Эти уравнения содержат параметры элементов сети (активные сопротивления, собственные и взаимные индуктивности и емкости) и параметры ее режима (токи, напряжения, мощности фаз), которые соответствуют реальным физическим параметрам электрических систем. Метод фазных координат разрабатывается, например, в работах [4, 5]. Математические модели элементов электрических систем в фазных координатах с использованием численного интегрирования дифференциальных уравнений неявными методами получены в [2]. Вместе с тем, целый ряд вопросов, связанных с определением параметров, получением математических моделей элементов, разработкой эффективных алгоритмов и программных средств на основе уравнений в фазных координатах и др. еще ждут своего решения. В числе сдерживающих факторов можно отметить также сложившиеся традиции (переходные процессы традиционно моделируются уравнениями Парка-Горева) и действующие

нормативные документы (для расчетов токов коротких замыканий предписывается [3] пользоваться методом симметричных составляющих), хотя адекватность получаемых результатов ограничена рамками принимаемых допущений.

Однако при том уровне развития элементной базы и программного обеспечения ЭВМ, который достигнут к настоящему времени, эти трудности становятся менее существенными и преодолимыми.

**Постановка задания.** Реализовать структурных подход моделирования систем электроснабжения с двигательной нагрузкой. Разработать модели трехфазных элементов в виде дифференциальных либо интегро-дифференциальных уравнений в фазных координатах и представить их в форме, удобной для включения в модель системы.

**Изложение основного материала.** В разработанной модели в качестве расчетной принята трехфазная схема системы и уравнения в фазных координатах. В систему дифференциальных уравнений переходных процессов включаются уравнения как вращающихся электрических машин, так и статических элементов сети с учетом их активных, индуктивных и емкостных параметров и схем соединения обмоток. Это позволяет получить более адекватную картину протекания переходных процессов как в электродвигателях, так и в электрической сети.

Разработанные в составе математической модели средства и их программная реализация (AnFaz3) позволяют воспроизводить как электромагнитную, так и электромеханическую составляющие переходных процессов в электрических системах произвольной конфигурации. Для обеспечения более высокой точности получаемых результатов до расчета непосредственно переходных процессов программой AnFaz3 выполняются расчеты параметров элементов сети в фазных координатах

Возможности программного продукта AnFaz3 ниже проиллюстрированы на примере расчетной схемы, представленной на рис. 1.

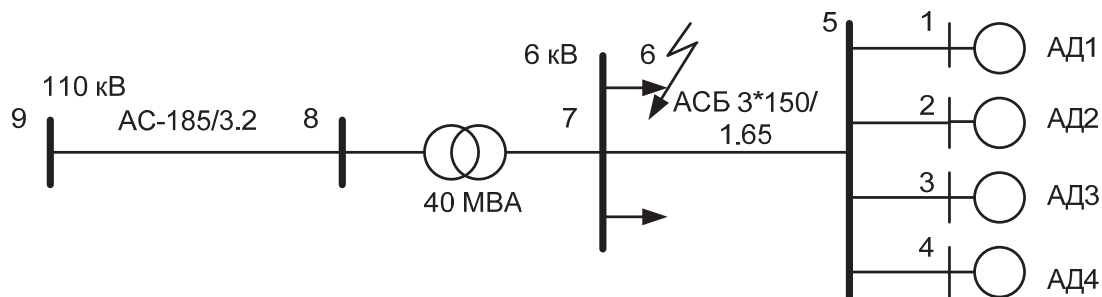


Рисунок 1 – Расчетная схема

На рис. 2 представлены цифрограммы переходных процессов в двигателях (узел 5) и электрической сети при кратковременном (0.5 с) отключении питающей кабельной линии (ветвь 5-7). Расчеты выполнены с шагом интегрирования 0.0001 с. (на цифрограммах первые 0.5 с (5000 шагов интегрирования) – переходный процесс до установления начальных условий, соответствующих исходному нормальному режиму, следующие 0.5 с – перерыв питания, и затем – время до окончания заданного времени расчета переходного процесса).

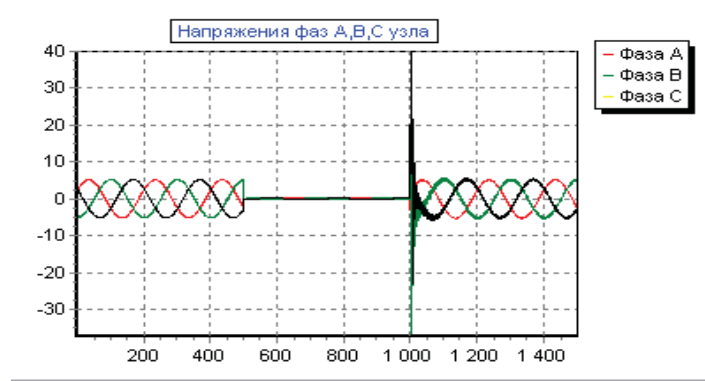


Рисунок 2 – Напряжения фаз на шинах ПС (узел 7)

На шаге численного интегрирования решается система дифференциальных уравнений, составляемых программно, определяются мгновенные значения напряжений в узлах (рис. 2), по ним находятся токи фаз в элементах сети и в обмотках двигателей (рис. 3), воспроизводятся электромагнитные моменты и скорости вращения двигателей (рис. 4), что позволяет определить предельно допустимую длительность перерыва питания и учитывать ее при выборе и настройке устройств АВР.

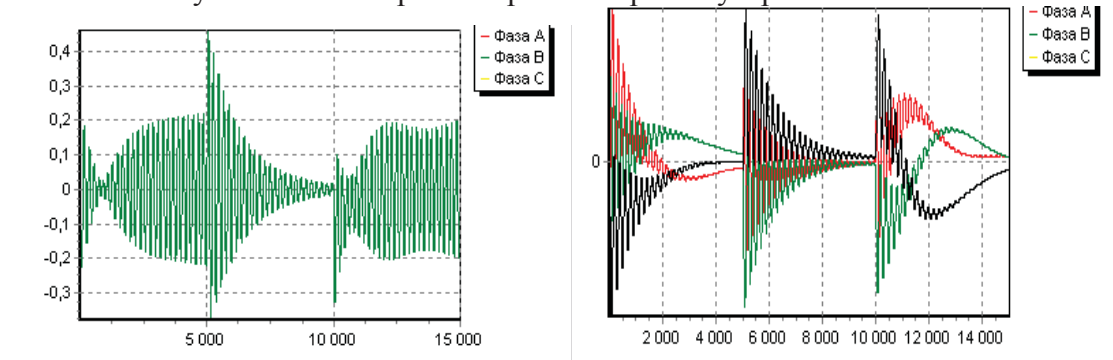


Рисунок 3 – Токи фаз статора и ротора АД

Воспроизводятся токи фаз статорных и роторных обмоток, что позволяет оценить влияние длительности самозапуска на электродвигатели, а также использовать результаты расчета для оценки механических воздействий на изоляцию обмоток.

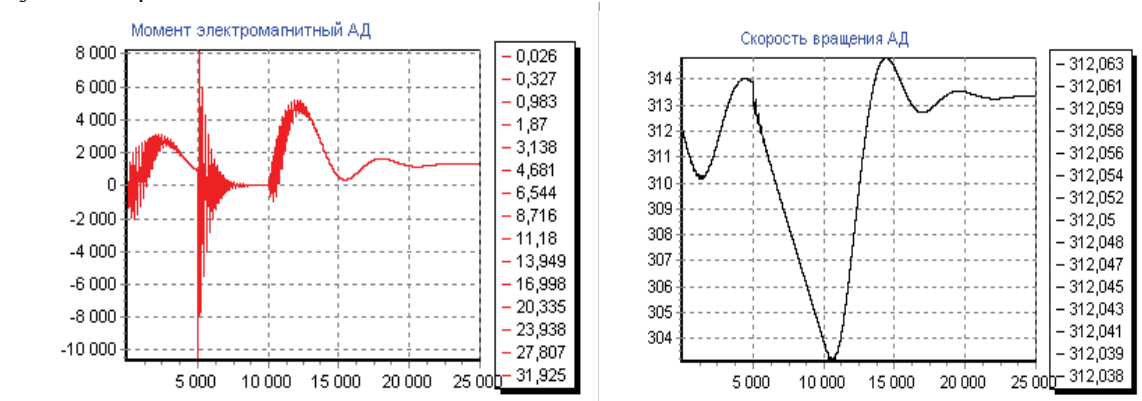


Рисунок 4 – Момент электромагнитный и скорость вращения ротора АД

Повышение точности моделирования по сравнению с упрощенными моделями достигается за счет того, что:

- в расчетную схему включается не упрощенная, а полная схема электрической сети с учетом активных, индуктивных и емкостных параметров фаз;
- расчет выполняется не на одну фазу (по однофазному эквиваленту), а для трехфазной сети;
- электромагнитные моменты электродвигателей (рис. 4) определяются не по статическим характеристикам, а по мгновенным значениям напряжений на зажимах и токов в обмотках двигателей на шаге численного интегрирования.

Важно отметить и то, что при наличии более полной модели и картина переходных процессов получается более полной. В частности, моделирование процессов самозапуска электродвигателей с воспроизведением переходных процессов и в электрической сети дает возможность определить изменения узловых напряжений во время переходного процесса как по модулю, так и по фазе. Это, в свою очередь, позволяет выявить перенапряжения в сети (и на шинах электродвигателей) при коммутациях (рис. 2) и локальные отклонения частоты в узлах сети (рис. 5) во время переходных процессов. Перенапряжения вызываются наложением на напряжения основной частоты высокочастотных составляющих, обусловленных колебательными процессами при наличии в сети индуктивных и емкостных элементов, и, как видно из рис. 2, могут достигать опасных для изоляции электродвигателей значений.

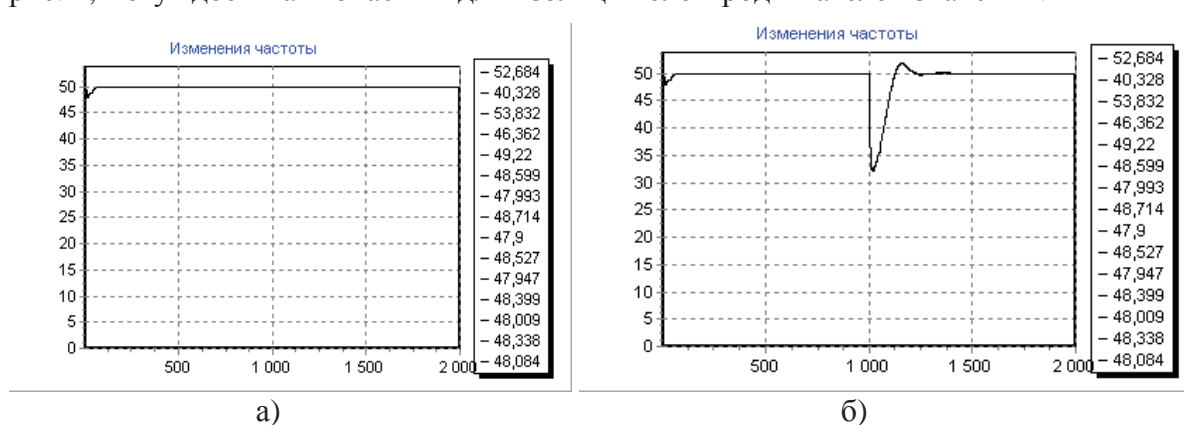


Рисунок 5 – Локальные отклонения частоты в узлах сети

Локальные отклонения частоты связаны с тем, что взаимные углы между векторами узловых напряжений во время переходных процессов изменяются, а это означает, что скорости вращения векторов (и частота) отклоняются от синхронной. Кратковременные перерывы питания электродвигателей, как это видно из рис. 5, сопровождаются локальными отклонениями частоты (рис. 5б) на шинах НН (узел 7) трансформаторной ПС при синхронной частоте на шинах источника питания (узел 9, рис. 5а).

В применяемых в расчетной практике моделях принимаемые допущения ограничивают область их применения, точность и состав воспроизводимых явлений. То обстоятельство, что модели в фазных координатах обеспечивают более полное воспроизведение всех составляющих переходных процессов являются факторами в пользу разработки и применения таких моделей.

При симметричных коротких замыканиях (рис. 6) появление небаланса моментов и мощностей также приводит к локальному снижению частоты в расчетной части схемы при сохранении неизменной частоты на шинах источника питания.

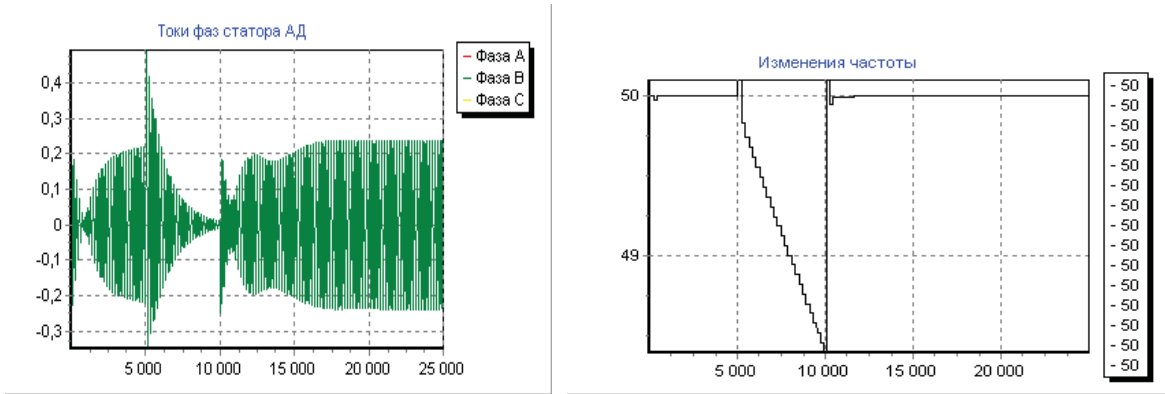


Рисунок 6 – Токи фаз статора и локальные отклонения частоты при КЗ

Степень снижения частоты зависит от загрузки двигателей, суммарной нагрузки узлов статической нагрузки, от длительности КЗ. Определение отклонений частоты необходимо при выборе настроек устройств АЧР. А отключения коротких замыканий при наличии в сети индуктивных и емкостных элементов сопровождаются перенапряжениями (рис. 7).

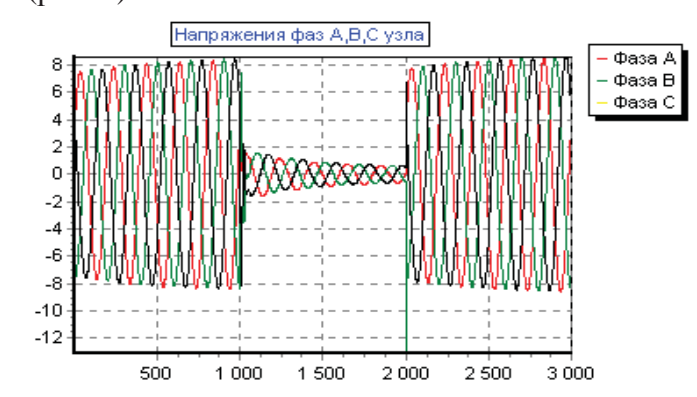


Рисунок 7 – Напряжения фаз

В качестве несимметричных коммутаций рассмотрены однофазные замыкания на землю. При однофазных замыканиях влияние электромагнитной составляющей переходных процессов на элементы сети характеризуется тем, что напряжение неповрежденных фаз возрастает до линейного, высокочастотные составляющие токов и напряжений приводят к дополнительным перенапряжениям.

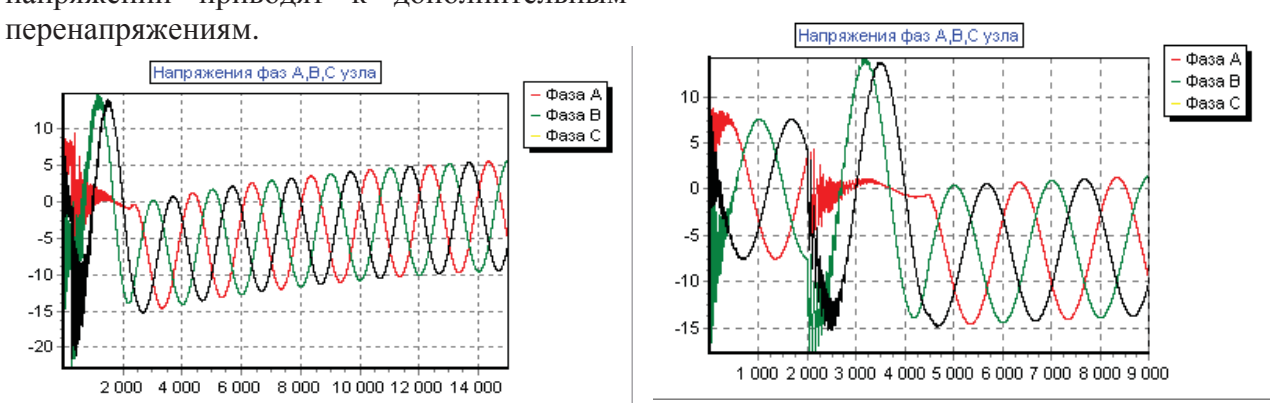


Рисунок 8 – Напряжения фаз в точке замыкания (при изменении сопротивления изоляции от  $R_{из}=10^4$  до  $10^6$  Ом) при ОЗЗ и его отключении



После отключения замыкания треугольник напряжений смещается, длительность перезаряда емкостей фаз и восстановления симметрии зависит от состояния изоляции сети (рис. 8).

В качестве внешних воздействий в программе AnFaz3 предусмотрены: симметричные и несимметричные короткие замыкания, перерывы питания, изменения нагрузки, АВР, АПВ и набор их при необходимости можно увеличить без изменения состава и структуры основных вычислительных процедур. Это позволяет в рамках одной модели рассматривать весь комплекс вопросов, решение которых необходимо в задачах противоаварийного управления систем ЭСДН.

#### **Выводы.**

1. Разработанная математическая модель систем электроснабжения с двигательной нагрузкой позволяет моделировать переходные процессы по уравнениям в фазных координатах с воспроизведением электромагнитных и электромеханических составляющих при симметричных и несимметричных коммутациях в системах ЭСДН произвольной структуры.

2. Переход к моделированию в фазных координатах позволяет расширить возможности моделей, а также включить в число учитываемых факторы, вообще не рассматриваемые традиционными моделями (перенапряжения, изменения частоты, неодновременность коммутации по фазам и др.).

3. Модель отражает все основные факторы, влияющие на режимы работы систем ЭСДН и может служить для выбора и оценки эффективности средств защиты (отключения КЗ, действие АПВ, АВР), а также для разработки противоаварийных средств в тех случаях, когда средства защиты оказываются недостаточно эффективными.

В дальнейшем планируется провести исследование по применению разработанных моделей и программных средств для анализа переходных процессов в электрических сетях среднего класса напряжения 6-35 кВ.

#### **Список литературы**

1. Гуревич Ю.Е. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах / Ю.Е. Гуревич, Л.Е. Либова, А.А. Окин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.
2. Веприк Ю.Н. Базовая модель электромагнитных переходных процессов в электрических системах с несимметрией. / Ю.Н. Веприк // Восточно- Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №2. – С.37-42.
3. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках напряжением свыше 1 кВ. ГОСТ 2751-87.
4. Коротков Б. А. Алгоритмы имитационного моделирования переходных процессов в электрических системах / Б.А. Коротков, В.Л. Попков. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. – 280с.
5. Мисриханов М.Ш. Уточнение определения мест повреждения на ВЛ при использовании фазных составляющих. / М.Ш. Мисриханов, В.А. Попов, Н.Н. Якимчук, Р.В. Медов // Эл. станции. – 2001. – № 1. – С. 28-32.

**Veprik Yuriy, Prof., DSc., Nebera Olga, post-graduate**

*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine*

**Albert Sviridov, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd National Technical University, Kirovograd, Ukraine*

#### **A mathematical model transients in power supply systems with motor load and its software implementation**

The article presents a model of of power supply systems in transient modes based on the equations in the phase coordinates, which allows you to reproduce transients in the electrical network of any configuration.

Based on the presented model have been developed software tools that allow to research of electromagnetic and electromechanical switching transients (symmetrical and asymmetrical short-circuit,

automatic reclosure, supply interruptions, ARS, etc..) in electrical networks with the motor load for the choice of means of antifault control and protection.

Transition to modeling based on phase coordinates allows to extend the capabilities of models, and also to take into account factors that are not considered by traditional models.

**transients, phase coordinates mathematical model, electrical machines, motor load**

Одержано 29.01.16

**УДК 681.5:004:635.64:004**

**Л.Г. Віхрова, проф., канд. техн. наук, В.М. Каліч, проф., канд. техн. наук,  
Т.О. Прокопенко, асист.**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,  
E-mail: arabeska@ukr.net*

## **Адаптивна автоматизована система збору та контролю основних параметрів мікроклімату в теплиці**

У статті запропонований програмно-технічний комплекс автоматизованого збору та контролю основних параметрів мікроклімату в теплиці призначений для контролю мікроклімату в середині теплиці; відстеження зовнішніх метеоумов; аналізу одержуваних даних, як бази знань адаптивної системи керування.

**нейронна мережа, температурно-вологісний режим, теплиця, система керування**

**Л.Г. Вихрова, проф., канд. техн. наук, В.М. Каліч, проф., канд. техн. наук, Т.А. Прокопенко, асист.**  
*Кіровоградский национальный технический университет, г. Кіровоград, Украина*

**Адаптивная автоматизированная система сбора и контроля основных параметров микроклимата в теплице**

В статье предложен программно-технический комплекс автоматизированного сбора и контроля основных параметров микроклимата в теплице предназначен для контроля микроклимата в середине теплицы; отслеживание внешних метеоусловий; анализа получаемых данных, как базы знаний адаптивной системы управления.

**нейронная сеть, температурно-влажностный режим, теплица, адаптивная система управления**

**Постановка проблеми.** Однією з найважливіших задач в поліпшенні життєвих умов населення України є забезпечення його свіжими овочами. Споживчий ринок України в зимово-весняний період року забезпечується тільки за рахунок споруд закритого ґрунту. Серед технологічних процесів, що проводяться в теплицях, особливу важливість мають процеси автоматичного контролю і підтримки параметрів мікроклімату теплиць. Усі параметри мікроклімату тісно пов'язані між собою, оскільки вони впливають один на одного, а усі разом визначають ріст та розвиток рослин певної культури. В останній час все більшого розповсюдження набувають адаптивні системи керування з використанням нейронних мереж. Застосування в автоматичних системах керування мікроклімату в теплиці математичного апарату нечіткої логіки дозволяє формалізувати і обробляти інформацію про умови контролю, отриману від експерта в лінгвістичній формі. Однак більшість розглянутих таких систем не мають інформації з об'єкта досліджень в реальному часі, оскільки опрацьовують бази даних з раніше