

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

# **ВІСНИК**

**КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

Серія «Технічні науки»

**№ 2 (96), 2016**

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

*Київ 2016*

**Засновником журналу «ВІСНИК Київського національного університету технологій та дизайну» є**

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

Науковий фаховий журнал є правонаступником видання «Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности», який видавався з березня 1958 року у Київському технологічному інституті легкої промисловості (СРСР)

**№2 (96)  
2016**

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія KB №19330–9130 ПР від 08.08.2012р.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 993 від 24.07.2002р.

**Журнал входить до переліку наукових фахових видань України.** Наказ МОН України від 13.07.2015 № 747 (додаток 17, рішення щодо подовження) – фаховість із технічних та економічних наук.

---

**ISSN 1813-6796**

Журнал зареєстровано в Міжнародному центрі періодичних видань (ISSN International Centre, Париж, Франція) 22.12.2004р.

Журнал реферується та індексується у наступних міжнародних базах даних: Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, РИНЦ, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar

---

**Засновник і видавець:**

Київський національний університет технологій та дизайну  
Україна, 01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2

---

**Головний редактор:**

**Грищенко І.М.**, д.е.н., професор, член-кореспондент НАПН України

**Заступник**

**головного редактора:**

**Каплун В.В.**, д.т.н., професор

---

**Київський національний університет технологій та дизайну є членом Асоціації університетів текстильного профілю (Autex) з 2006 року**

**Київський національний університет технологій та дизайну – повний індивідуальний член Асоціації Європейських університетів (EUA) з 20 жовтня 2005 року**

Тематична спрямованість журналу «Вісник КНУТД»: Мехатронні системи. Енергоефективність та ресурсозбереження. Матеріалознавство, швейне і текстильне виробництво. Метрологія та сертифікація. Технології хімічні, біологічні, фармацевтичні. Дизайн та мистецтвознавство.

Видання орієнтоване на науковців, викладачів, аспірантів, студентів, а також науково-практичних працівників і фахівців відповідних галузей промисловості.

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:**

01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2, корп. 1, к. 1-0252

тел./факс: +38 (044) 256-29-86

e-mail: [vistnuk@knutd.com.ua](mailto:vistnuk@knutd.com.ua)

<http://vistnyk.knutd.com.ua/>

---

**Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 8 від 27.04.2016 р.**

---

Матеріали друкуються мовою оригіналу. Відповідальність за переклад, достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв, назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей. Передруки та переклади статей дозволяються лише за згодою автора (-ів) та редакції.

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE**

# **BULLETIN**

**of the KYIV NATIONAL UNIVERSITY  
of TECHNOLOGIES and DESIGN**

Technical Science Series

**№ 2 (96), 2016**

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

*Kyiv 2016*

**The owner of «BULLETIN of the Kyiv National University of Technologies and Design» is**

**KYIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND DESIGN**

This Scientific Specialized Journal is the successor of the edition «Proceedings of Higher educational establishments. Technology of the light industry», which was published by Kiev Technological Institute of Light Industry from March, 1958 (USSR)

**№2 (96)  
2016** The state registration of print media is KB № 19330-9130 ПП, originating date 08.08.2012

License for publishing activity is ДК №993, originating date 24.07.2002

The journal is listed & reregistered in Higher Attestation Commission of Ukraine:

- № 747, originating date 13.07.2015. Fields: technological, economical.

---

**ISSN 1813-6796** The journal is registered in ISSN International Centre, Paris, originating date is 22.12.2004

The journal is abstracted and indexed by Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, ПИИЦ, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar

---

**Owner and  
Publisher:** Kyiv National University of Technologies and Design  
Ukraine, 01011, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str.

---

**Editor-in- Chief:** **Ivan M. Gryshchenko** - Dr., professor, Corresponding Member of NAPS of Ukraine

---

**Deputy Editor:** **Viktor V. Kaplun** - Dr., professor

---

*Kyiv National University of Technologies and Design is the member of the Association of Universities for Textiles (AUTEX) since 2006*

*Kyiv National University of Technologies and Design is the general member of European University Association (EUA) since 20 October, 2005*

Scientific fields: Mechatronic Systems. Energy Efficiency & Resource Saving. Materials Science. Textile and Apparel Manufacturing. Metrology, testing and quality certification. Chemical, Biological & Pharmaceutical Technologies, Design & Art Appreciation.

The journal is aimed at a wide range of researchers, professors, students, and graduate students and to bring the results of scientific research carried out under a variety of intellectual traditions and organizations of procedures to the attention of a specialized readership.

**EDITORIAL OFFICE:**

01011, Ukraine, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str., office 1-252

Tel./fax: +38 (044) 256-29-86

e-mail: [vistnuk@knuvd.com.ua](mailto:vistnuk@knuvd.com.ua)

<http://vistnyk.knuvd.com.ua/>

---

**Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 8, originating date 27.04.2016**

Articles are published in the original language. The authors are responsible for the translation, authenticity of facts, quotations, proper names, geographic names, names of enterprises and other information.

The Editorial Office's and author's consent is needed prior to republishing or translating the articles.

УДК 621.311.001

КАПЛУН В.В.<sup>1</sup>, ПАВЛОВ П.А.<sup>2</sup>, ШТЕПА В.Н.<sup>1</sup>  
Киевский национальный университет технологий и дизайна<sup>1</sup>  
Полесский государственный университет, Республика Беларусь<sup>2</sup>

### РЕСУРСНО-ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МИКРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

**Цель.** Обоснование использования ресурсно-процессного подхода для построения математической модели микроэнергетической системы.

**Методика.** Ввиду дискретного и комбинаторного характера математических задач для систем такого рода, применены принципы структурирования, декомпозиции, конвейеризации, а также методы дискретных систем и дискретной оптимизации, теории расписаний и сетевых графов, теории множеств, алгебры матриц.

**Результаты.** В работе обосновано применение ресурсно-процессного подхода к построению математической модели микроэнергетической системы. Показано, что создание электроэнергетических комплексов на основе взаимно-интегрированных распределенных источников электроэнергии (традиционных и альтернативных) и компьютерных систем управления с учетом их топологии, базовых и смешанных режимов функционирования, контроля генерации и потребления электроэнергии, синхронизации выполнения заданного множества процессов и использования программного ресурса обеспечит минимизацию расходов, связанную с вынужденными блокировками параллельных процессов при их распределенной обработке.

**Научная новизна.** Впервые предложен ресурсно-процессный подход для построения математической модели функционирования микроэнергетической системы с взаимно-интегрированными распределенными источниками электроэнергии и компьютерными системами управления с учетом топологии, базовых и смешанных режимов функционирования, контроля генерации и потребления электроэнергии, синхронизации выполнения заданного множества процессов и использования программного ресурса.

**Практическая значимость.** Полученные результаты создают предпосылки для решения задач, связанных с математическим моделированием функционирования сложных многокомпонентных систем, определения процедур анализа их эффективности и оптимальности, развитием алгоритмов управления и численных методов, созданием системного и прикладного программного обеспечения, разработкой принципов синтеза структур таких систем.

**Ключевые слова:** микроэнергетическая система (микросеть, microgrid), распределенные источники электроэнергии, smart grid, взаимодействующие процессы, программный ресурс, асинхронный и синхронный режимы.

**Введение.** Сегодняшние энергетические рынки претерпевают трансформацию. Альтернативные энергетические технологии становятся более доступными. Альтернативные источники с использованием солнечных батарей, ветрогенераторов, газогенераторов на основе биогаза и др. уже стали нормой во многих странах, где из-за высокой стоимости и опасности для экологии «традиционных» источников энергии переходят на возобновляемые источники. Часто возобновляемые источники малой мощности интегрируются в существующую систему электропитания и образуют так называемую микросеть или microgrid. Развитие распределенных микросетей придало значительный импульс

альтернативной энергетике, а применение smart grid технологий создает возможности для повышения надежности электрообеспечения и оптимизации расходов на электроэнергию [1].

Микросетью (microgrid) называют группу взаимосвязанных нагрузок одного или нескольких локальных объектов клиентов и распределенных энергетических ресурсов в рамках четко определенных границ, которая действует как единый управляемый объект, которую можно подключать к внешней электросети и использовать автономно. Основная отличительная особенность распределенной микросети заключается в возможности автономной работы при отключении от внешней электросети. Microgrid обладают широкими возможностями интегрировать распределенные возобновляемые источники энергии в существующие сети. Оптимальное взаимодействие распределенных источников электроэнергии, внешней электросети и потребителей является ключевым в функционировании микроэнергетических систем (МЭС) и требует инновационных подходов при решении задач управления ими.

Вместе с тем, microgrid также открывает дорогу для внедрения радикальных инноваций в энергетике на основе интеллектуальных on-line технологий smart grid. Такие распределенные микросети улучшают взаимодействие между разнородными источниками энергии, упрощают процедуру формирования алгоритмов управления.

Современный рынок электрической энергии, в основе функционирования которого используются дифференцированные тарифы по временным зонам, стимулирует проектирование и создание инновационных автоматизированных энергетических комплексов передачи, генерации и учета электроэнергии, позволяющие оптимизировать стоимость энергопотребления. Создание таких комплексов предусматривает взаимную интеграцию систем энергоснабжения и компьютерных систем регулирования энергопотреблением.

Очевидно, что задачи создания эффективных энергетических комплексов взаимно-интегрированных распределенных источников и компьютерных систем управления энергопотреблением имеют особую актуальность и призваны совершенствовать существующие математические методы и модели для адекватного описания топологии таких систем электрообеспечения, базовых и смешанных режимов их функционирования, процессов контроля генерации и потребления электроэнергии и др.

В настоящее время есть необходимость создания современных электротехнических комплексов электрообеспечения на основе МЭС как автоматизированных высокоэффективных масштабируемых энергетических систем с компьютерной обработкой одновременно взаимодействующих процессов в режиме реального времени. Такие системы позволят в реальном времени оптимально управлять любыми сегментами энергетического комплекса (генерация, накопление, потребление электроэнергии), планировать подключение новых объектов к энергосистеме, оперативно перераспределять потоки электроэнергии (изменять графики электропотребления), обрабатывать большие массивы информации. Они обеспечат оперативность и эластичность к критериям оптимального управления режима функционирования, включая различные тарифные зоны внешней сети, уровень генерации возобновляемых источников, контроль и учет электропотребления и др.

Решение такого рода задач связано с математическим моделированием функционирования сложных многокомпонентных систем, определения процедур анализа их

эффективности и оптимальности, развитием алгоритмов и численных методов, созданием системного и прикладного программного обеспечения, разработкой принципов синтеза структур таких систем.

В области microgrid ведутся интенсивные исследования. Однако, понимание ряда аспектов, связанных с их функционированием, находятся на интуитивном уровне. Это трудные в математическом отношении задачи по расчету оптимальных технических характеристик источников microgrid, характеристик оптимальной организации большого числа одновременно взаимодействующих параллельных процессов, определению границ эффективности применения методов их моделирования, количественной и качественной оценки различных стратегий управления такими процессами, включая создание управляющих алгоритмов и соответствующего программного обеспечения с учетом характеристик конкретных условий функционирования систем [1,2].

**Постановка задачи.** Одной из центральных в этих направлениях и во многом объединяющая их является проблема оптимального распределения ресурсов МЭС и, прежде всего, программных, так как именно они являются не только основными вычислительными ресурсами, но и интегрированными средствами, через которые осуществляются запросы на использование остальных ресурсов. Это порождает, в свою очередь, множество конкурирующих за их использование процессов [3]. Поэтому, от успешного решения проблем оптимальной организации выполнения множества конкурирующих процессов, зависит эффективность, работоспособность, надежность и эффективность таких систем в целом.

Из вышесказанного следует, что процесс создания эффективных МЭС с несколькими источниками распределенной генерации, требует разработки математических методов и моделей, позволяющих решать следующие задачи:

- организации выполнения параллельных конкурирующих процессов в различных режимах их взаимодействия в условиях стохастического характера генерации электроэнергии разнородными источниками;
- оптимального в энергетическом отношении выполнения множества избранных параллельных конкурирующих процессов и определения критериев их эффективности;
- отображения параллельных алгоритмов и соответствующих их программных реализаций с учетом архитектурных особенностей МЭС.

**Результаты исследования.** В виду дискретного и комбинаторного характера математических задач систем такого рода прогресс в их решении может быть достигнут за счет применения принципов структурирования, декомпозиции, конвейеризации, а также за счет применения математического аппарата и методов дискретных систем и дискретной оптимизации, теории расписаний и сетевых графов, теории множеств, алгебры матриц и др.

**Особенности построения математических моделей функционирования МЭС с несколькими источниками распределенной генерации.** Конструктивными элементами для построения математических моделей функционирования МЭС с несколькими источниками распределенной генерации, реализующих принципы параллельной обработки, являются понятия *процесса* и *программного ресурса* [4].

Конкретизация понятия процесса зависит от целей исследования. Будем рассматривать *процесс* (процесс генерации и распределения электроэнергии, процесс

дистанционного управления устройством, процесс диагностирования оборудования, процесс получения on-line информации, процесс формирования документов и др.) как *последовательность наборов блоков (команд, процедур)*  $I_s = (1, 2, \dots, s)$ . С целью наиболее эффективного решения задач синхронизации параллельных процессов, существенной минимизации системных затрат и простоев исполнительных (обрабатывающих) устройств, для процессов строятся расписания моментов запуска и окончания выполнения каждого из блоков. Моменты времени начала выполнения каждого блока определяются последовательностью  $(t_1, t_2, \dots, t_s)$ . Считая, что блоки выполняются строго последовательно, в ходе своей реализации являются неделимыми и имеют длительности выполнения  $d_j > 0$ ,  $j = \overline{1, s}$ , получим, что моменты времени завершения выполнения блоков определяются последовательностью вида  $(t_1 + d_1, t_2 + d_2, \dots, t_s + d_s)$ .

Для ускорения выполнения процессы могут исполняться псевдопараллельно на одном исполнительном устройстве или параллельно на разных исполнительных устройствах, взаимодействуя между собой. Процессы, которые влияют на поведение друг друга путем обмена информацией, называют кооперативными или взаимодействующими процессами.

В ходе своего выполнения состояние процесса может многократно изменяться. Будем считать, что процесс является *активным* и находится в состоянии *выполнения*, если достигается равенство  $t_{j+1} = t_j + d_j$ , т. е. для выполнения процесса выделено обрабатывающее устройство, и после завершения выполнения очередного блока процесса сразу же начинается выполнение следующего блока. Соотношение  $t_{j+1} > t_j + d_j$  означает, что после выполнения очередного блока процесс *приостановлен* и ожидает возможности для продолжения своего выполнения. Данная приостановка может быть вызвана необходимостью разделения использования единственного обрабатывающего устройства между одновременно исполняемыми процессами. В этом случае приостановленный процесс находится в состоянии *ожидания* момента предоставления обрабатывающего устройства для своего выполнения. Кроме того, приостановка выполнения процесса может быть вызвана и временной неготовностью процесса к дальнейшему выполнению. В подобных ситуациях говорят, что процесс является *блокированным* и находится в состоянии *блокировки*.

Итак, МЭС с несколькими источниками распределенной генерации будем рассматривать как масштабируемую систему с определенным агрегированным процессом, получаемым путем параллельного объединения составляющих конкурирующих взаимодействующих процессов.

При разработке МЭС существует ряд особенностей одновременного выполнения множества конкурирующих взаимодействующих процессов, которые могут быть сформулированы в виде ряда принципиальных положений:

- моменты выполнения блоков разных процессов могут чередоваться по времени;
- между моментами исполнения блоков разных процессов могут выполняться различные временные соотношения, характер этих соотношений зависит от долевого участия распределенных источников в генерации, согласования графика электропотребления с графиком электрогенерации, текущей емкости накопителей электроэнергии, быстрого действия исполнительных устройств и, тем самым, не может быть определен заранее;



• временные соотношения между моментами исполнения блоков процессов могут различаться при разных запусках программ на выполнение, т.е. одной и той же программе при одних и тех же исходных данных могут соответствовать разные последовательности команд вследствие разных вариантов чередования моментов работы разных исполнительных устройств;

• доказательство правильности получаемых результатов должно проводиться для любых возможных временных соотношений процессов;

• для исключения зависимости результатов выполнения программы от порядка чередования блоков разных процессов необходим анализ ситуаций взаимовлияния процессов и разработка методов для их исключения.

Понятие *ресурса* обычно используется для обозначения любых объектов энергосистемы, которые могут быть использованы множеством процессов для своего выполнения. В качестве ресурсов могут рассматриваться разнородные источники распределенной генерации, преобразовательные устройства, электропотребители, накопители энергии, программы, данные и др. По характеру использования различают следующие категории ресурсов:

• *выделяемые (монополюльно используемые)* ресурсы характеризуются тем, что выделяются процессам в момент их возникновения и освобождаются только в момент завершения выполнения процессов;

• *повторно распределяемые* ресурсы отличаются возможностью динамического запрашивания, выделения и освобождения в ходе выполнения процессов;

• *разделяемые* ресурсы, особенность которых состоит в том, что они постоянно остаются в общем использовании и выделяются процессам для использования в режиме разделения времени;

• *многократно используемые (реентерабельные)* ресурсы характеризуются возможностью одновременного использования множеством процессов.

Для МЭС с несколькими источниками распределенной генерации характерной является ситуация, когда управляющей системе одну и ту же программу или ее часть необходимо выполнять многократно с целью обработки множества процессов разной природы. Такую программу или ее часть будем называть *программным ресурсом*.

Решая проблему распределения программных ресурсов между процессами МЭС системы, неявно решаются задачи эффективного использования остальных ресурсов системы. С этой точки зрения программный ресурс является интегрированным средством по запросам на другие ресурсы. С другой стороны, эффективно решая задачу распределения программных ресурсов, решаем проблему сокращения времени обработки и выполнения процессов, что позволит оптимизировать стоимость энергопотребления.

Итак, с помощью понятий процесса и программного ресурса показано, что проектирование, создание, функционирование и исследование МЭС с несколькими источниками распределенной генерации сводится к решению задач организации взаимодействия параллельных процессов, конкурирующих за определенный ресурс.

**Концептуальный подход структурирования МЭС.** Структурирование (*декомпозиция*) – это основной способ упрощения сложных задач, систем, процессов, программ и др. Структурирование предполагает разбиение большой задачи на составные ее

части (подзадачи, блоки) с последующей организацией их линейного или частичного порядка выполнения [5,6].

При моделировании, проектировании и создании автоматизированных высокопроизводительных масштабируемых систем с различной архитектурой, системного и прикладного программного обеспечения для них, фундаментальный характер приобретают принципы структурирования именно *программного ресурса*.

Основная идея метода структурирования состоит в обеспечении специального способа разбиения программного ресурса на блоки и организации параллельного использования этих блоков множеством конкурирующих взаимодействующих процессов. Главным требованием к разбиению программных ресурсов на блоки является гарантированное обеспечение использования каждого блока для выполнения только одним процессом. Данное требование в литературе называется *взаимоисключением* процессов. Время, в ходе которого процесс использует программный ресурс, называется *критической секцией* процесса. С использованием последнего понятия условие взаимоисключения процессов может быть сформулировано как требование нахождения в критических секциях по использованию одного разделяемого ресурса не более одного процесса. Достигается это с помощью специальных аппаратных и программных средств.

Пусть  $PR$  – программный ресурс,  $n \geq 2$  – число конкурирующих за его выполнение процессов. Требуется организовать выполнение всех процессов использующих программный ресурс таким образом, чтобы общее время их выполнения было минимальным.

Одной из стратегий решения данной задачи с  $p \geq 2$  обрабатываемыми устройствами является предоставление каждому процессу отдельной копии  $PR$ . Но этот путь не всегда осуществим из-за ограниченного объема ресурсов компьютерных систем и тем более трудно достижим в случае больших программ, используемых в качестве программных ресурсов. Поэтому при решении данной задачи применяется стратегия последовательного обслуживания  $n$  процессов с использованием различных механизмов их синхронизации. В этом случае суммарное время выполнения процессов составит величину  $T_{sum} = nT$ , где  $T$  – время выполнения каждым из процессов программного ресурса. Дополнительные временные затраты на синхронизацию процессов здесь не учитываются.

Время  $T_{sum}$  можно существенно сократить, если обеспечить структурирование программного ресурса на блоки  $Q_1, Q_2, \dots, Q_s$  с последующей конвейеризацией как блоков по процессам, так и процессов по обрабатываемым устройствам микроэнергосистемы. Для этого необходимо выполнить следующие основные этапы:

- структурирование программного ресурса на блоки  $Q_1, Q_2, \dots, Q_s$ ;
- организация одновременного (параллельного) взаимодействия обрабатываемых устройств, процессов и блоков структурированного программного ресурса;
- совмещение во времени выполнения различных процессов;
- запоминание после завершения выполнения очередного блока и восстановление перед началом выполнения следующего блока промежуточных состояний процессов;
- запуск процессов на выполнение и их завершение;
- выбор способов (режимов) взаимодействия обрабатываемых устройств, процессов и блоков (асинхронный режим, синхронные режимы и т. д.);

- наличие специальных программных средств описания взаимодействия процессов, обрабатывающих устройств и блоков программного ресурса, а также разработка алгоритмов реализации такого взаимодействия;
- обеспечение операционной поддержки взаимодействия процессов, обрабатывающих устройств и блоков.

Структурирование программного ресурса на блоки осуществляется, как правило, либо исходя из физического смысла решаемой задачи на этапах создания математической модели и алгоритмов её решения, либо путём анализа готовой, последовательной программы с целью её декомпозиции. Число блоков, на которое осуществляется декомпозиция программного ресурса, зависит от количества процессов, обрабатывающих устройств, длительности выполнения программного ресурса, накладных расходов и других параметров [6].

Один из возможных способов (механизмов) взаимодействия процессов, обрабатывающих устройств и блоков следующий. Блоки, процессы и обрабатывающие устройства масштабируемой энергосистемы нумеруются в порядке  $1, 2, \dots, s$ ,  $1, 2, \dots, n$  и  $1, 2, \dots, p$  соответственно. Причем на множестве блоков установлен линейный порядок их выполнения. Предполагается, что все  $n$  процессов используют одну копию структурированного программного ресурса. В дальнейшем под *процессом* будем понимать выполнение всех блоков *программного ресурса* в порядке  $1, 2, \dots, s$ . При этом процесс называется *сосредоточенным*, если все блоки программного ресурса выполняются на одном и том же обрабатывающем устройстве, и *распределённым*, если все блоки или их часть выполняются на разных обрабатывающих устройствах.

Специально выделенный организующий процесс (компьютерная программа) предоставляет блоки структурированного программного ресурса  $Q_1, Q_2, \dots, Q_s$  каждому из процессов в порядке  $1, 2, \dots, n$ . При этом в случае сосредоточенной обработки возможна монополизация обрабатывающим устройством  $i$ -го процесса. Если блок  $Q_j$ ,  $j = \overline{1, s}$ , освобождается очередным  $i$ -м процессом, то он предоставляется  $(i + 1)$ -му процессу, а сам  $i$ -й процесс получает в своё распоряжение  $(j + 1)$ -й блок либо переводится в состояние ожидания до освобождения  $(j + 1)$ -го блока,  $i = \overline{1, n - 1}$ ,  $j = \overline{1, s - 1}$  и т. д. В случае распределённой обработки монополизация обрабатывающими устройствами процессов не происходит, а блоки одного и того же процесса выполняются на разных обрабатывающих устройствах.

Очевидно, что при наличии в масштабируемой энергетической системе  $p$  обрабатывающих устройств возможно совмещённое во времени выполнение процессов. Запоминание и восстановление промежуточных состояний процессов, запуск процессов на выполнение и их завершение, выбор режимов взаимодействия процессов, обрабатывающих устройств и блоков программного ресурса осуществляет специальная программа или организующий процесс.

Следует отметить, что при организации выполнения множества параллельных взаимодействующих конкурирующих процессов по методу структурирования в автоматизированных масштабируемых системах и комплексах в качестве блоков

структуризованого програмного ресурса можуть служити потоки електроенергії, запити користувачів, потоки інформації і др.

Математична модель МЭС системи розподіленої обробки одночасно взаємодіючих конкуруючих процесів включає в себе:

- $p, p \geq 2$ , оброблюваних пристроїв МЭС з паралельними процесами;
- $n, n \geq 2$ , розподілених конкуруючих взаємодіючих процесів;
- $s, s \geq 2$ , блоків структурованого програмного ресурса  $PR$ ;
- $T = [t_{ij}]$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, s}$ , матриця часів виконання блоків програмного ресурса конкуруючими процесами.

Припускається, що всі  $n$  процесів є *розподіленими*, т. є. всі блоки процесів або їх частину обробляються різними оброблюваними пристроями, а також використовують одну копію структурованого на блоки програмного ресурса, причому з фізичних міркувань на множині блоків встановлено лінійний порядок їх виконання  $Q_1, Q_2, \dots, Q_s$ .

Введемо в розгляд параметр  $\varepsilon > 0$ , що характеризує час додаткових системних витрат, пов'язаних з організацією паралельного використання блоків структурованого програмного ресурса множиною конкуруючих процесів при розподіленої обробці.

Припускається, що взаємодія оброблюваних пристроїв, процесів і блоків програмного ресурса МЭС підпорядковано наступним умовам:

- 1) ні один з блоків програмного ресурса не може оброблятися одночасно більше ніж одним оброблюваним пристроєм;
- 2) ні один з оброблюваних пристроїв не може обробляти одночасно більше одного блоку  $PR$ ;
- 3) обробка кожного блоку програмного ресурса здійснюється без переривань;
- 4) розподілення блоків програмного ресурса по оброблюваним пристроям для кожного з процесів здійснюється циклічно за правилом: блок з номером  $j = kp + i$ ,  $j = \overline{1, s}$ ,  $i = \overline{1, p}$ ,  $k \geq 0$ , розподіляється на оброблюване пристрій з номером  $i$ .

Введемо додаткове умову, яка визначає асинхронний режим взаємодії процесів, оброблюваних пристроїв і блоків програмного ресурса:

- 5) відсутні простоя оброблюваних пристроїв при умові готовності блоків на виконання, а також невыполнение блоків при наявності оброблюваних пристроїв.

*Асинхронний* режим взаємодії оброблюваних пристроїв, процесів і блоків програмного ресурса, передбачає відсутність простоя оброблюваних пристроїв при умові готовності блоків  $PR$ , а також невыполнение блоків при наявності оброблюваних пристроїв [7].

*Визначення 1.* Система  $n$  розподілених конкуруючих взаємодіючих процесів називається *неоднорідною*, якщо часи виконання блоків програмного

ресурса  $Q_1, Q_2, \dots, Q_s$  зависят от объемов обрабатываемых данных и/или их структуры, т. е. разные для разных процессов.

На рис. 1 представлен пример диаграммы Ганта, которая отображает выполнение  $n = 4$  неоднородных распределенных конкурирующих процессов, использующих структурированный на  $s = 3$  блока программный ресурс в автоматизированной энергосистеме с  $p = 3$  обрабатывающими устройствами. Матрица времен выполнения блоков программного ресурса конкурирующими процессами с учетом введенного параметра  $\varepsilon$  имеет вид:

$$T^\varepsilon = \begin{bmatrix} t_{11}^\varepsilon & t_{12}^\varepsilon & t_{13}^\varepsilon \\ t_{21}^\varepsilon & t_{22}^\varepsilon & t_{23}^\varepsilon \\ t_{31}^\varepsilon & t_{32}^\varepsilon & t_{33}^\varepsilon \\ t_{41}^\varepsilon & t_{42}^\varepsilon & t_{43}^\varepsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 3 \\ 1 & 4 & 1 \\ 3 & 3 & 2 \\ 3 & 1 & 2 \end{bmatrix}.$$

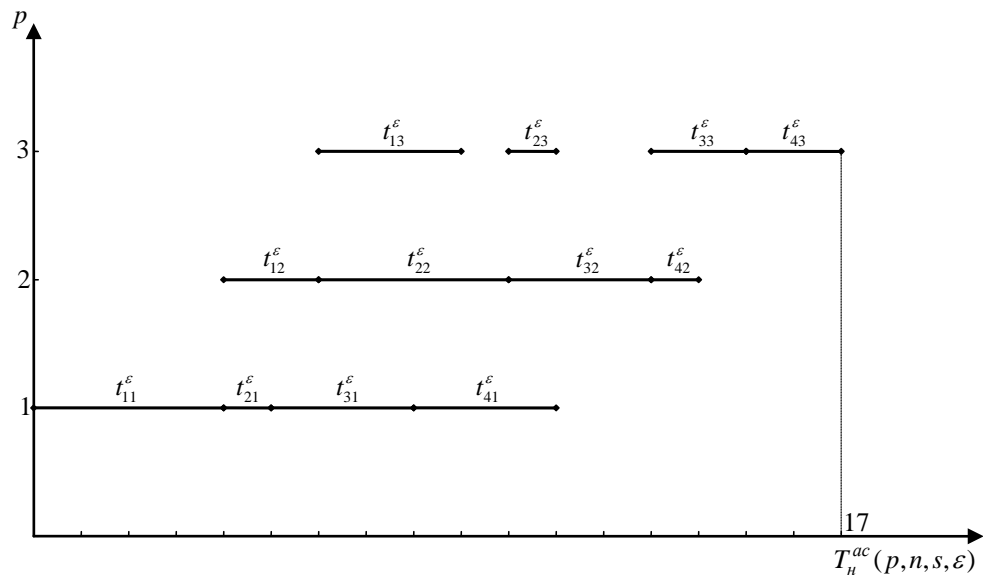


Рис. 1. Асинхронный режим распределенных конкурирующих процессов

Введем следующие условия:

б) для каждого из  $n$  процессов момент завершения выполнения  $j$ -го блока  $i$ -м обрабатывающим устройством совпадает с моментом начала выполнения следующего  $(j+1)$ -го блока  $(i+1)$ -м обрабатывающим устройством,  $i = \overline{1, p-1}$ ,  $j = \overline{1, s-1}$ ;

7) для каждого из блоков программного ресурса момент завершения его выполнения  $l$ -м процессом совпадает с моментом начала его выполнения  $(l+1)$ -м процессом на том же обрабатывающем устройстве,  $l = \overline{1, n-1}$ .

Если к условиям 1–4 добавить поочередно условия 6 и 7 соответственно, то получим два базовых синхронных режима.

*Первый синхронный режим*, определяемый условиями 1–4, 6, обеспечивает непрерывное выполнение блоков программного ресурса внутри каждого из процессов (рис. 2).

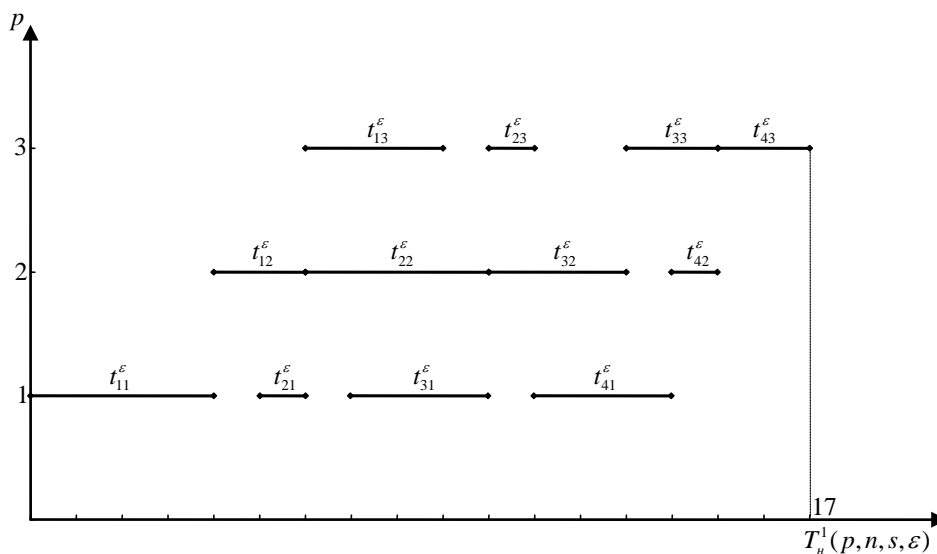


Рис. 2. Первый синхронный режим

Второй синхронный режим, определяемый условиями 1–4, 7, обеспечивает непрерывное выполнение каждого блока  $PR$  всеми процессами (рис. 3).

*Определение 2.* Систему распределенных конкурирующих процессов будем называть *однородной*, если времена выполнения  $Q_j$ -го блока программного ресурса каждым из  $i$ -х процессов равны, т.е.  $t_{ij} = t_j$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, s}$ .

*Определение 3.* Систему конкурирующих процессов будем называть *одинаково распределенной*, если времена выполнения блоков  $t_{ij}$  программного ресурса каждым из  $i$ -х процессов совпадают и равны  $t_i$  для всех  $i = \overline{1, n}$ , т.е. справедлива цепочка равенств  $t_{i1} = t_{i2} = \dots = t_{is} = t_i$  для всех  $i = \overline{1, n}$ .

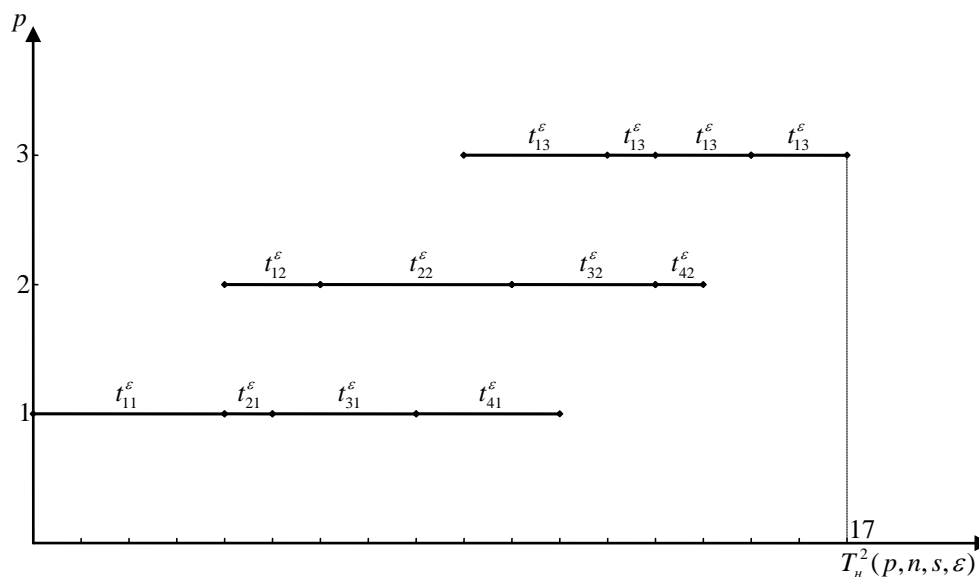


Рис. 3. Второй синхронный режим

**Выводы.** В данной статье предложена модель управления современной МЭС, которая представляет собой интегрированную систему взаимодействующих параллельных

процессов, конкурирующих за программный ресурс. Предложенные идеи являются отправной точкой для решения ряда практических задач, связанных с оптимальной организацией конкурирующих взаимодействующих процессов. Интерес представляют задачи оптимального управления сложными многокомпонентными системами с параллельными процессами, связанные с получением математических соотношений для вычисления точных значений общего минимального времени выполнения множества процессов в различных режимах взаимодействия процессов, обрабатывающих устройств и блоков программного ресурса. Это, прежде всего, проблемы синхронизации выполнения множества процессов и блоков программного ресурса, так как организация их выполнения в синхронных режимах позволяет свести к минимуму непроизводительные простои обрабатывающих устройств и задержки выполнения блоков, а также минимизировать расходы, связанные с вынужденными блокировками процессов при их синхронизации. Характер полученных зависимостей позволит также явно учитывать параметр, характеризующий дополнительные расходы времени, связанные с затратами на реализацию механизмов управления параллельными процессами при распределенной обработке.

Полученные формулы и оценки минимального общего времени служат основой для решения задач оптимизации числа блоков при заданных параметрах  $p$ ,  $n$ ,  $T$  с учетом расходов  $\varepsilon > 0$ , нахождения оптимального числа обрабатывающих устройств и (или) директивных сроков реализации процессов, получения критериев эффективности и оптимальности структурирования программных ресурсов, исследования всевозможных смешанных режимов организации выполнения параллельных процессов при распределенной обработке. Предложенные подходы дадут возможность решать задачи синтеза эффективных энергетических комплексов на основе взаимно-интегрированных распределенных источников и компьютерных систем, а также разработки алгоритмов оптимального управления энергопотреблением в МЭС. Решение всех вышеизложенных задач будет изложено авторами в последующих работах.

### Список использованной литературы

1. Каплун В.В., Козирський В.В., Петренко А.В. Комбіновані системи електроживлення з поновлюваними джерелами енергії// - К.: ЦТІ «Аграр Медіа Груп», 2011. – 330 с.: іл. 134.
2. Kozyrskiy V., Kaplun V. Analysis of streams in local systems with distributed generation by methods of graph theory// Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Agriculture. N57.:pp.109-112, 2011.
3. Павлов П.А. Организация однородных конкурирующих процессов при распределенной конвейерной обработке // Проблемы управления. – 2010. – №3. – С. 66–72.
4. Павлов П.А., Коваленко Н.С. Математическое моделирование параллельных процессов. – Germany: Lambert Academic Publishing. – 2011. – 246 с.
5. Pavlov P.A. The optimality of software resources structuring through the pipeline distributed processing of competitive cooperative processes / P.A. Pavlov // Contemporary problems of mathematics, mechanics and computing sciences. / N.N.Kizilova, G.N.Zholtkevych (eds). – 2011. – Kharkov: Apostrophe. – PP. 192–204.

6. Pavlov P.A. The optimality of software resources structuring through the pipeline distributed processing of competitive cooperative processes / P.A. Pavlov // International Journal of Multimedia Technology (IJMT). – 2012. – Vol.2, №1. – PP. 5–10.

7. Kovalenko N.S., Pavlov P.A., Ovseev M.I. Asynchronous distributed computations with a limited number of copies of a structured program resource / N.S. Kovalenko, P.A. Pavlov, M.I. Ovseev // Cybernetics and systems analysis. – 2012. – Vol.48, №1. – PP. 86–98.

## РЕСУРСНО-ПРОЦЕСНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ МІКРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

КАПЛУН В.В.<sup>1</sup>, ПАВЛОВ П.А.<sup>2</sup>, ШТЕПА В.Н.<sup>1</sup>

*Київський національний університет технологій та дизайну<sup>1</sup>*

*Полесский государственный университет, Республика Беларусь<sup>2</sup>*

**Мета.** Обґрунтування використання ресурсно-процесного підходу для побудови математичної моделі мікроенергетическої системи.

**Методика.** Зважаючи на дискретний і комбінаторний характер математичних задач для систем такого роду, застосовані принципи структурування, декомпозиції, конвейеризації, а також методи дискретних систем і дискретної оптимізації, теорії розкладів і мережних графів, теорії множин, алгебри матриць.

**Результати.** У роботі обґрунтовано застосування ресурсно-процесного підходу до побудови математичної моделі мікроенергетичної системи. Показано, що створення електроенергетичних комплексів на основі взаємно-інтегрованих розподілених джерел електроенергії (традиційних і альтернативних) та комп'ютерних систем управління з урахуванням їх топології, базових і змішаних режимів функціонування, контролю генерації і споживання електроенергії, синхронізації виконання заданої множини процесів і використання програмного ресурсу, забезпечить мінімізацію витрат, пов'язану з вимушеними блокуваннями паралельних процесів при їх розподіленій обробці.

**Наукова новизна.** Вперше запропоновано ресурсно-процесний підхід для побудови математичної моделі функціонування мікроенергетичної системи з взаємно-інтегрованими розподіленими джерелами електроенергії і комп'ютерними системами управління з урахуванням топології, базових і змішаних режимів функціонування, контролю генерації та споживання електроенергії, синхронізації виконання заданої множини процесів і використання програмного ресурсу.

**Практична значимість.** Одержані результати створюють передумови для вирішення завдань, пов'язаних з математичним моделюванням функціонування складних багатокомпонентних систем, визначення процедур аналізу їх ефективності та оптимальності, розвитком алгоритмів управління та чисельних методів, створенням системного і прикладного програмного забезпечення, розробкою принципів синтезу структур таких систем.

**Ключові слова:** *мікроенергетична система, мікромережа, microgrid, розподілені джерела електроенергії, smart grid, взаємодіючі процеси, програмний ресурс, асинхронний і синхронний режими.*



## THE APPROACH TO MATHEMATICAL MODELING MICROGRID ENERGY SYSTEMS BASED ON PROCESSES AND RESOURCES

KAPLUN V.V.<sup>1</sup>, PAVLOV P.A.<sup>2</sup>, SHTEPA V.N.<sup>1</sup>

1-Kyiv National University of Technologies & Design

2- Polessky State University, Republic of Belarus

**Purpose.** Rationale of the approach to mathematical modeling microgrid energy systems based on processes and resources.

**Methods.** Due to the discrete and combinatorial mathematical problems for such systems by applying the principles of structuring, decomposition, pipelining, as well as the methods of discrete systems and discrete optimization, scheduling theory and network graphs, set theory, matrix algebra.

**Results.** It was justified the approach to to mathematical modeling microgrid energy systems by using theory of processes and resources. It is shown that the establishment of electric power systems based on one-to-integrated distributed energy sources (traditional and alternative) and computer control systems based on their topology, basic and mixed modes of operation, generating control and energy consumption, the synchronization performance of a given set of processes and software resources using, the minimizing costs were associated with the forced locking of parallel processes in their distributed processing.

**Originality.** For the first time it was proposed the approach to build a microgrid mathematical model with one-to-integrate distributed energy sources and computer management systems, taking into account topology, basic and mixed modes of operation, generating control and energy consumption, the synchronization performance of a given set of processes and software resources using.

**The practical significance.** The results set the stage for problems solving relate to the mathematical modeling of the functioning of complex multi-component systems, the definition of procedures for the analysis of their efficiency and optimality, the development of control algorithms and numerical methods, creation of system and application software, design principles of synthesis of structures of such systems.

**Keywords:** *microgrid, distributed energy sources, smart grid, interacting processes, software resource, asynchronous and synchronous modes.*

ЗМІСТ

**МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ.  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**

|  |     |
|--|-----|
| 1. <b>Зенкіна С.М., Панасюк І.В.</b> Чорнобильська катастрофа у призмі часу, її причини та наслідки.....   | 11  |
| 2. <b>Дворжак В. М.</b> Схемотехнічне моделювання кінематичних схем просторових чотириланкових кривошипно-коромислових механізмів технологічних машин.....                       | 18  |
| 3. <b>Кошель С.О., Кошель Г.В.</b> Структурний аналіз плоских механізмів четвертого класу з замкненим контуром, утвореним трьома шатунами та коромислом.....                     | 27  |
| 4. <b>Здоренко В.Г., Защепкіна Н.М.</b> Ефективність використання відцентрової фрикційної муфти для зниження динамічних навантажень в приводі в'язальних машин.....              | 34  |
| 5. <b>Резанова В.Г.</b> Перетворення задачі оптимізації при дослідженні чотирикомпонентних сумішей полімерів.....  | 40  |
| 6. <b>Каплун В.В., Павлов П.А., Штепа В.Н.</b> Ресурсно-процесний підхід к построению математической модели микроэнергетической системы.....                                     | 48  |
| 7. <b>Калинина Т.А., Лазарева Д.В., Потапенко А.И.</b> Проектирование и расчет композитных пластин с использованием пакета ANSYS.....  | 61  |
| 8. <b>Чучмай А.М., Балдук П.Г., Сурьянинов Н.Г.</b> Расчет кессонных перекрытий численно-аналитическим методом граничных элементов.....  | 68  |
| 9. <b>Максимов С.А., Сункуев Б.С., Беляев А.А., Петухов Ю.В.</b> Оптимизация режимов обработки пластин ПВХ по критериям точности и производительности.....                       | 77  |
| 10. <b>Крутий Ю.С., Сурьянинов Н.Г.</b> Аналитическое решение задачи устойчивости стержня с произвольной непрерывной переменной жесткостью при идеальных граничных условиях..... | 88  |
| 11. <b>Піпа Б.Ф., Плешко С.А., Ковальов Ю. А.</b> Динамічні процеси в голці в'язальної машини, зумовлені інерційними навантаженнями.....   | 104 |
| 12. <b>Голубєв Л.П., Макатьора Д.А.</b> Розробка автоматизованої системи визначення спеціальності навчання за результатами ЗНО.....  | 113 |
| 13. <b>Музичишин С.В., Піпа Б.Ф.</b> Установка для експериментальних досліджень впливу пристрою зниження динамічних навантажень на динаміку пуску круглов'язальної машини.....   | 121 |
| 14. <b>Лісовець С.М.</b> Аналіз розповсюдження акустичних хвиль методом FDTD через межу розділу двох середовищ.....  | 128 |

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО, ШВЕЙНЕ ТА ТЕКСТИЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО. МЕТРОЛОГІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ

15. **Супрун Н.П., Бричка С.Я.** Формування нанорозмірних часток срібла в нетканих полотнах для ранових покриттів на базі шовкових волокон..... 134
16. **Зенкін А.С., Назаренко І.В., Кудрявцева А.А., Балаболова Ю.В.** Системний підхід оцінювання ризиків на конкурентоспроможність молокопереробних підприємств..... 141
17. **Василенко М.П., Василенко В.М.** Розробка методу визначення комфортності текстильних матеріалів на основі власних електромагнітних випромінювань..... 148
18. **Волівач А.П., Хімичева Г.І.** Застосування європейських стандартів забезпечення якості освіти для підвищення загальних компетентностей студентів..... 154
19. **Єфременкова Н. А.** Оцінка якості як складова комплексного підходу до підвищення якості швейних виробів..... 166
20. **Романюк Є.О.** В'язані сітки для хірургії..... 172

## ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНІ, БІОЛОГІЧНІ, ФАРМАЦЕВТИЧНІ

21. **Коляда М.К., Плаван В.П., Сафранов Т. А., Мельник К.С.** Розробка методу утилізації колагенвмісних відходів рибопереробної промисловості..... 177
22. **Сеник І. В., Барсуков В. З., Короташ І.В., Крюкова О. А.** Вплив різних вугле-графітових добавок на характер електромагнітних втрат полімерних композитів..... 183
23. **Плаван В.П., Охмат О.А., Качоровська О.П.** Застосування комплексних сполук хрому для удосконалення технології фарбування хутрової овчини..... 189

## ДИЗАЙН ТА МИСТЕЦТВОЗНАВСТВО

24. **Кукош Ю.С., Николаєва Т. В.** Композиційні характеристики роботи дизайнера в проектуванні тематичного художнього образу для «vok-shop»..... 197
25. **Джалилиан Ф., Богущко А. А., Николаєва Т. В.** Разработка конструктивных параметров жилета на основе национального иранского костюма..... 204