

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВІСНИК

**КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

Серія «Технічні науки»

№ 5 (102), 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)

**№5 (102)
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, РИИЦ, 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, академік 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

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

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 3 від 19.10.2016 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

№5 (102), 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)

**№5 (102)
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, 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

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

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 3, originating date 19.10.2016

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.¹, ПАВЛОВ П.А.², ШТЕПА В.Н.¹, КАПЛУН Р.В.¹
Киевский национальный университет технологий и дизайна¹
Полесский государственный университет, Республика Беларусь²

АСИНХРОННЫЙ РЕЖИМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МИКРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Цель. Получение математических соотношений для расчета с заданной точностью длительности выполнения множества параллельных процессов в микроэнергетической системе с несколькими источниками.

Методика. Для решения поставленных математических задач применены принципы структурирования, конвейеризации, а также методы дискретных систем, теории расписаний, теории графов, линейных диаграмм Ганта и алгебры матриц.

Результаты. В работе исследован асинхронный режим функционирования распределенной микроэнергетической системы, получены математические соотношения для определения минимального общего времени выполнения неоднородных, однородных и одинаково распределенных процессов.

Научная новизна. Впервые исследована математическая модель функционирования микросети, в основу которой положен ресурсно-процессный подход.

Практическая значимость. Для определения минимального общего времени обслуживания microgrid как системы распределенных процессов в асинхронном режиме полученные зависимости служат основой для сравнительного анализа функционирования микроэнергосистемы в синхронных режимах, нахождения оптимального числа обрабатываемых устройств, числа блоков и директивных сроков реализации процессов, получения критериев эффективности и оптимальности структурирования программных ресурсов, исследования всевозможных смешанных режимов организации выполнения параллельных процессов при распределенной обработке.

Ключевые слова: асинхронный режим, microgrid, микроэнергетическая система, smart grid, структурирование, конвейеризация, программный ресурс, ограниченный (неограниченный) параллелизм, распределенные конкурирующие процессы.

Введение. В связи с широким распространением микросетей (microgrid) актуальными являются проблемы построения и исследования математических моделей микроэнергетических систем (МЭС) с несколькими источниками распределенной генерации, изучения и сравнительного анализа различных режимов их функционирования. Это в свою очередь стимулирует проектирование и создание на основе распределенных МЭС интеллектуальных масштабируемых электротехнических систем (комплексов) с использованием технологии smart grid. Принцип технологии smart grid заключается в модернизации энергосистем с целью повышения надежности, контроля и оптимизации электропотребления всех элементов и участников. Отличительной особенностью данной технологии является интеграция компьютерной системы мониторинга, диагностики и управления, распределенных источников электрической энергии, линий электропередачи, пунктов секционирования, коммутационных аппаратов, распределенных накопителей электрической энергии и конечных потребителей электроэнергии на основе двустороннего коммуникационного обмена [1,2]. Системы microgrid с помощью «интеллекта» смогут в режиме on-line управлять множеством параллельных процессов, что обеспечит оперативность и эластичность к критериям оптимального управления режимами

функционирования, включая различные тарифные зоны внешней сети, уровень генерации возобновляемых источников, контроль и учет электропотребления и др.[3].

Постановка задачи. Настоящая статья является естественным продолжением работы [4], в которой 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 параллельных процессов и использования программного ресурса.

Математическая модель распределенной МЭС. Как и в [4] математическая модель микроэнергетической системы распределенной обработки одновременно взаимодействующих конкурирующих процессов включает в себя p , $p \geq 2$, обрабатывающих устройств (ОУ) МЭС с параллельными процессами, n , $n \geq 2$, распределенных конкурирующих взаимодействующих процессов, s , $s \geq 2$, блоков структурированного программного ресурса (PR), матрицу $T = [t_{ij}]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, времен выполнения блоков программного ресурса конкурирующими процессами, параметр $\varepsilon > 0$, характеризующий время, затрачиваемое microgrid на организацию параллельного использования блоков структурированного PR множеством конкурирующих процессов при распределенной обработке.

Предполагается, что все n процессов являются *распределенными*, т. е. все блоки процессов или их часть обрабатываются разными обрабатывающими устройствами, а также используют одну копию структурированного на блоки программного ресурса, причем из физических соображений на множестве блоков установлен линейный порядок их выполнения Q_1, Q_2, \dots, Q_s .

Неоднородные микроэнергосистемы. Асинхронный режим взаимодействия ОУ, процессов и блоков программного ресурса МЭС определяется следующими условиями [3]:

- 1) ни один из блоков программного ресурса не может обрабатываться одновременно более чем одним обрабатывающим устройством;
- 2) ни одно из обрабатывающих устройств не может обрабатывать одновременно более одного блока PR;
- 3) обработка каждого блока программного ресурса осуществляется без прерываний;
- 4) распределение блоков программного ресурса по ОУ для каждого из процессов осуществляется циклически по правилу: блок с номером $j = kp + i$, $j = \overline{1, s}$, $i = \overline{1, p}$, $k \geq 0$, распределяется на обрабатывающее устройство с номером i ;
- 5) отсутствуют простои обрабатывающих устройств при условии готовности блоков на выполнение, а также невыполнение блоков при наличии обрабатывающих устройств.

Определение 1. Система n распределенных конкурирующих взаимодействующих процессов называется *неоднородной*, если времена выполнения блоков PR Q_1, Q_2, \dots, Q_s

зависят от объемов обрабатываемых данных и/или их структуры, т. е. разные для разных процессов [5].

Результаты исследования. Получение математических соотношений для вычисления точных значений общего времени выполнения множества параллельных процессов в различных режимах функционирования МЭС позволит в реальном времени оптимально управлять любыми сегментами микросети, планировать подключение новых объектов, оперативно перераспределять потоки электроэнергии, обрабатывать большие массивы информации.

Обозначим минимальное общее время выполнения n неоднородных распределенных конкурирующих процессов в микроэнергетической системе с p обрабатывающими устройствами в асинхронном режиме, с учетом введенного выше параметра ε , через $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$. Для вычисления $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ рассмотрим случаи *неограниченного* ($2 \leq s \leq p$) и *ограниченного* ($s > p$) параллелизма.

В случае *неограниченного* параллелизма, т. е. когда число блоков структурированного программного ресурса не превосходит числа ОУ, можно считать, что каждый Q_j -й блок закреплен за j -м обрабатывающим устройством, $j = \overline{1, s}$. Тогда для обработки n процессов достаточно использовать $p = s$ ОУ, а остальные $p - s$ будут не задействованы.

Пусть $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon]$ – $n \times s$ -матрица времен выполнения блоков PR каждым из i -х процессов с учетом параметра ε . Тогда если установить взаимно однозначное соответствие между процессами и требованиями, блоками и приборами, то матрица времен выполнения блоков программного ресурса $[t_{ij}^\varepsilon]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, будет совпадать с матрицей времен обслуживания n требований s приборами в одномаршрутной задаче Беллмана–Джонсона [6]. Поэтому для вычисления минимального общего времени $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ выполнения $n \geq 2$ неоднородных распределенных конкурирующих процессов, использующих структурированный на $s \geq 2$ блоков программный ресурс в микроэнергетической системе с $p \geq 2$ ОУ с учетом параметра $\varepsilon > 0$ можно воспользоваться функционалом этой задачи, который в нашем случае будет иметь вид:

$$T_n^{ac}(s, n, s, \varepsilon) = \max_{1 \leq u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_{s-1} \leq n} \left[\sum_{i=1}^{u_1} t_{i1}^\varepsilon + \sum_{i=u_1}^{u_2} t_{i2}^\varepsilon + \dots + \sum_{i=u_{s-1}}^n t_{is}^\varepsilon \right], \quad (1)$$

где $t_{ij}^\varepsilon = t_{ij} + \varepsilon$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, а u_1, u_2, \dots, u_{s-1} – целые положительные числа.

В случае, когда $s = p$, функционал Беллмана–Джонсона (1) будет иметь вид:

$$T_n^{ac}(p, n, p, \varepsilon) = \max_{1 \leq u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_{p-1} \leq n} \left[\sum_{i=1}^{u_1} t_{i1}^\varepsilon + \sum_{i=u_1}^{u_2} t_{i2}^\varepsilon + \dots + \sum_{i=u_{p-1}}^n t_{ip}^\varepsilon \right].$$

При создании компьютерных систем управления microgrid лучше использовать метод, который позволяет решать задачу определения минимального общего времени $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ выполнения неоднородных распределенных конкурирующих процессов в асинхронном режиме значительно эффективнее.

По заданным n, s и матрице времен выполнения блоков программного ресурса $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, строим сетевой вершинно–взвешенный граф G_1^{ac} , который содержащий ns вершин, расположенных в узлах прямоугольной $n \times s$ –решетки (рис.1).

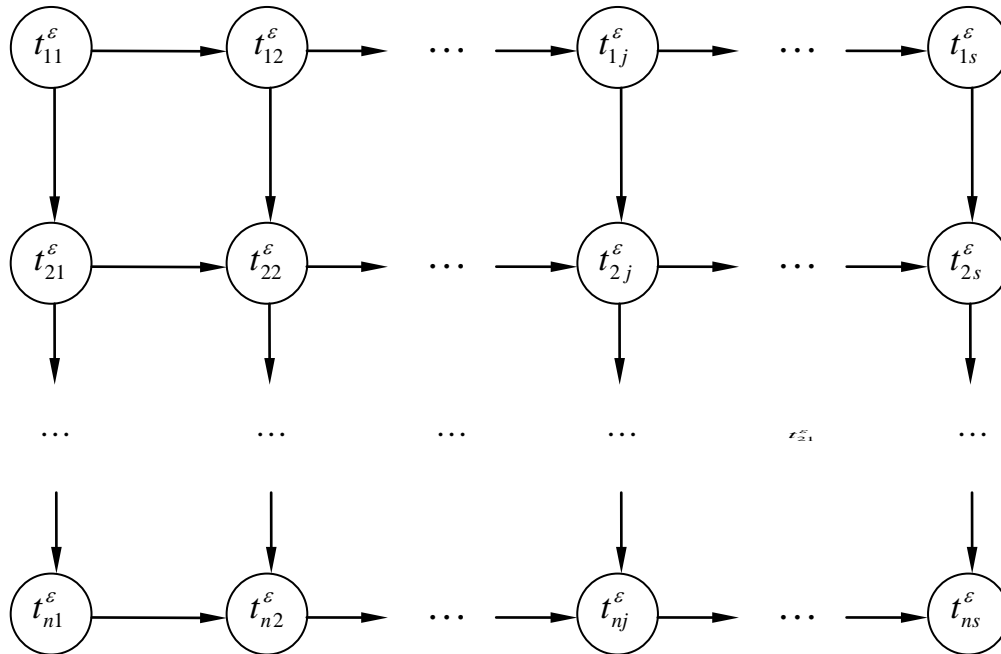


Рис.1. Сетевой вершинно–взвешенный граф G_1^{ac}

Каждой вершине графа G_1^{ac} соответствует значение t_{ij}^ε , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, причем t_{11}^ε – начальная вершина, t_{ns}^ε – конечная. Дуги в графе G_1^{ac} отражают линейный порядок выполнения блоков Q_j , $j = \overline{1, s}$, программного ресурса каждым из процессов, а также линейный порядок использования одних и тех же блоков разными процессами.

Таким образом, имеет место следующая теорема.

Теорема 1. Минимальное общее время выполнения $n \geq 2$ неоднородных распределенных конкурирующих процессов, использующих структурированный на $s \geq 2$ блоков программный ресурс с временами выполнения блоков, задаваемыми матрицей $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, в микроэнергетической системе с $p \geq 2$ обрабатывающими устройствами в асинхронном режиме в случае $2 \leq s \leq p$, определяется длиной критического пути в сетевом вершинно–взвешенном графе G_1^{ac} из начальной вершины t_{11}^ε в конечную t_{ns}^ε .

Пример. Используя алгоритм нахождения критического пути в сетевом вершинно–взвешенном графе G_1^{ac} , найти минимальное общее время $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ выполнения системы распределенных конкурирующих взаимодействующих процессов с параметрами $p = 5$,

$n = 4, s = 3, \varepsilon = 0,5$. Времена выполнения блоков программного ресурса $Q_j, j = \overline{1,3}$, с

учетом ε заданы матрицей $T^\varepsilon = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 4 \\ 2 & 2 & 1 \\ 1 & 3 & 3 \\ 4 & 1 & 2 \end{bmatrix}$.

Строим сетевой вершинно–взвешенный граф G_1^{ac} (рис.2).

Длина критического пути в графе равна 15, которая и определяет минимальное общее время выполнения неоднородных распределенных конкурирующих процессов.

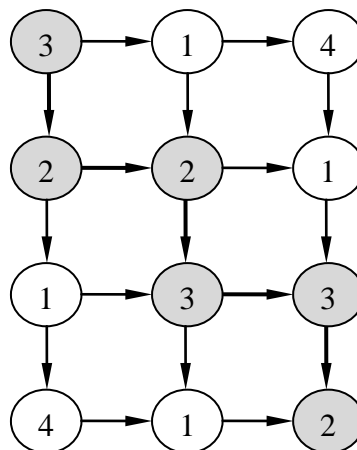


Рис.2. Граф G_1^{ac}

Рассмотрим случай *ограниченного* параллелизма, т. е. когда $s > p, s = kp + r, k \geq 1, 1 \leq r < p$. В этом случае имеет место теорема.

Теорема 2. Минимальное общее время $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ выполнения $n \geq 2$ неоднородных распределенных конкурирующих процессов, использующих линейно структурированный на $s \geq 2$ блоков программный ресурс с временами выполнения блоков, задаваемыми матрицей $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon], i = \overline{1, n}, j = \overline{1, s}$, в МЭС с $p \geq 2$ ОУ и дополнительными системными расходами $\varepsilon > 0$, в асинхронном режиме в случае $s = kp + r, k \geq 1, 1 \leq r < p$, определяется длиной критического пути из начальной вершины t_{11}^ε в конечную вершину $t_{(k+1)n, (k+1)p}^\varepsilon$ сетевого вершинно–взвешенного графа G_2^{ac} (рис.3).

Доказательство. Все множество из s блоков разобьем на $k + 1$ группу по p блоков в каждой, за исключением $(k + 1)$ -й группы, которая будет содержать r блоков. Тогда с учетом параметра ε исходную матрицу времен выполнения блоков $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon], i = \overline{1, n}, j = \overline{1, kp + r}$, разбиваем на $(k + 1)$ -у подматрицу $T_l^\varepsilon, l = \overline{1, k + 1}$, размерностью $n \times p$ каждая, за исключением последней T_{k+1}^ε , которая будет содержать при s не кратном p только r столбцов, а остальные $p - r$ столбцов будут нулевыми.

По каждой из подматриц $T_l^\varepsilon, l = \overline{1, k + 1}$, строим $(k + 1)$ -у линейную диаграмму Ганта, каждая из которых отображает во времени выполнение очередных p блоков

структуризованого програмного ресурса на p оброблюючих пристроях всіма n процесами (рис.5, $p = 3$, $n = 4$, $s = 8$). При цьому, якщо $r \neq 0$, то $(k + 1)$ -я діаграма буде відображати виконання останніх r блоків на p оброблюючих пристроях.

Очевидно, що якщо виконання чергової групи з p блоків починати тільки після повного завершення виконання попередньої групи, то загальне суммарне час виконання всіх n процесів в цьому випадку буде визначатися як сума довжин критичних шляхів в кожній з послідовно йдучих несумісних діаграм Ганта, задаваних прямою суммою матриць T_l^e , $l = \overline{1, k + 1}$.

Однак, це час можна суттєво скоротити, якщо використати прийом накладання послідовних діаграм Ганта по осі часу справа наліво. При цьому накладання здійснюється поблоково, починаючи з другої діаграми, на максимально можливу величину таким чином, щоб не порушувалися технологічні умови, що визначають асинхронний режим взаємодії процесів, ОУ і блоків PR.

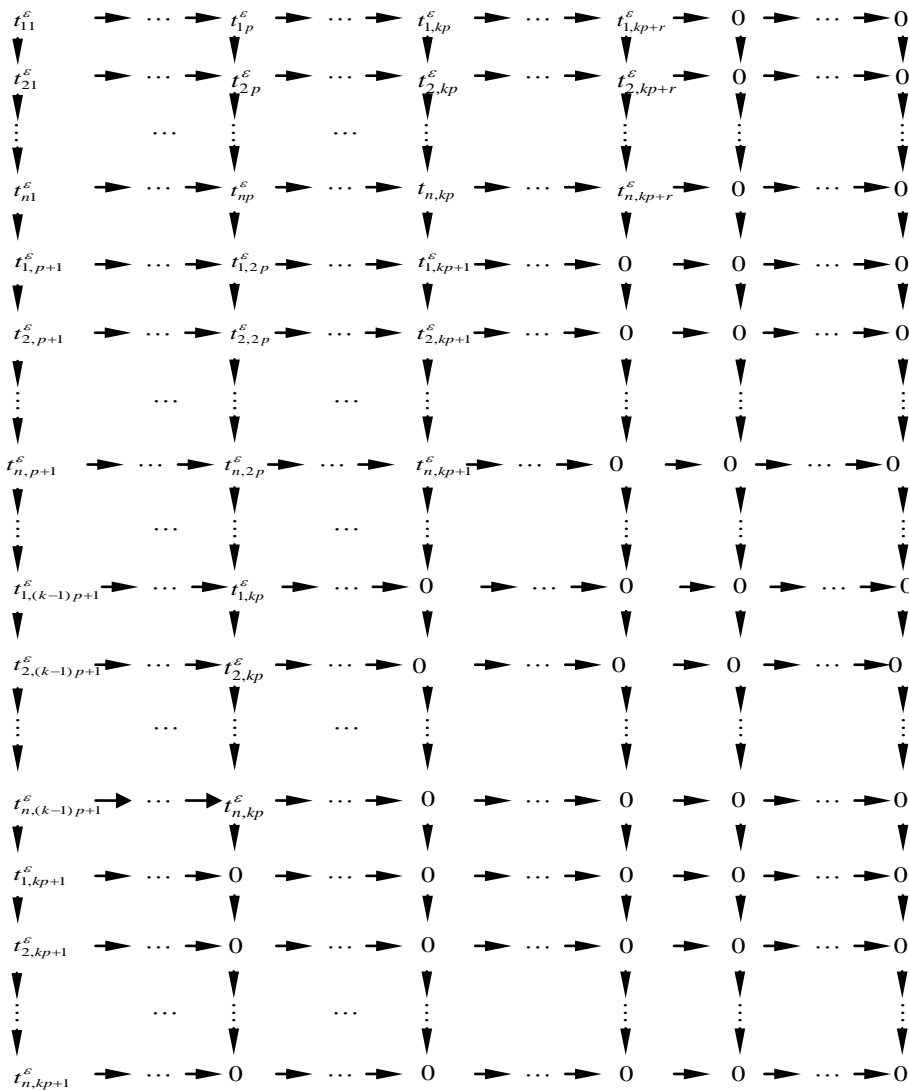


Рис.3. Сетевой вершинно-взвешенный граф G_2^{ac}

В результате совмещения получим результирующую совмещенную диаграмму Ганта, которая будет отображать выполнение $n \geq 2$ неоднородных распределенных конкурирующих процессов, использующих структурированный на $s = kp + r$ блоков программный ресурс в МЭС с $p \geq 2$ обрабатывающими устройствами (рис.5).

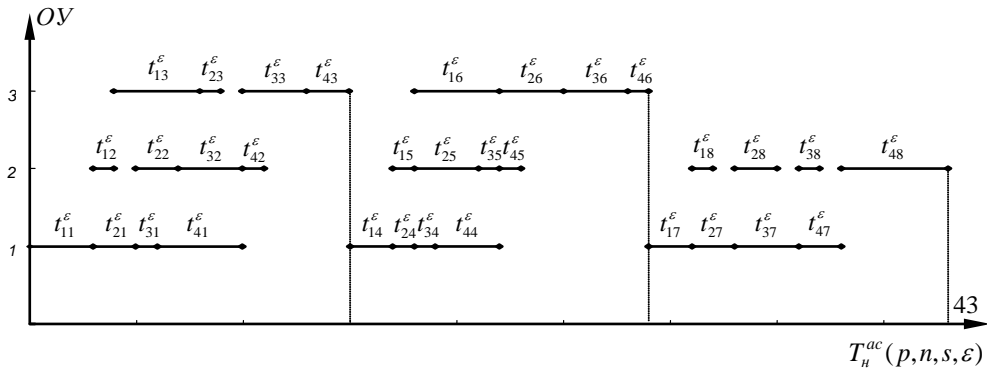


Рис. 4. Несовмещенная диаграмма Ганта

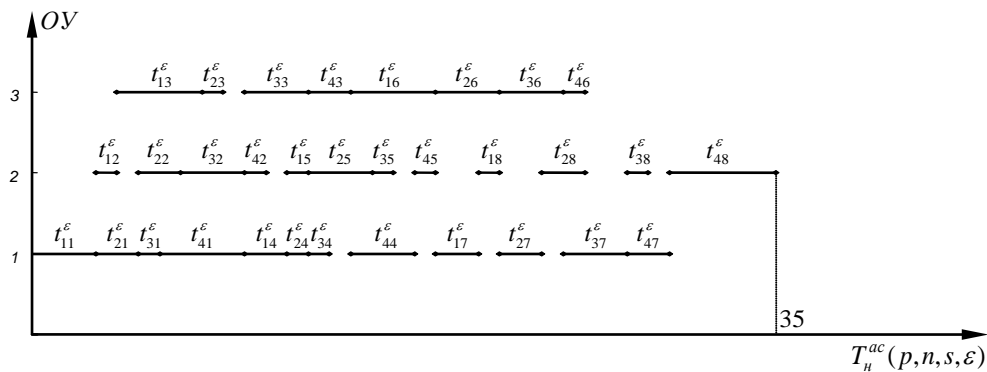


Рис. 5. Совмещенная диаграмма Ганта

Полученная структура результирующей совмещенной диаграммы Ганта будет полностью определяться матрицей T^* (2) времен выполнения блоков программного ресурса и состоять из подматриц $T_1^{\epsilon}, T_2^{\epsilon}, \dots, T_{k+1}^{\epsilon}$ размерностью $n \times p$ каждая. При этом подматрицы $T_l^{\epsilon}, l = \overline{1, k+1}$, в результирующей матрице T^* располагаются таким образом, чтобы не нарушался характер взаимодействия как блоков программного ресурса, выполняемых одним и тем же процессом, так и блоков, выполняемых на одном и том же ОУ. Первая строка матрицы T^* будет состоять из подматриц $T_l^{\epsilon}, l = \overline{1, k+1}$, что отражает характер взаимодействия блоков программного ресурса внутри каждого из n процессов.

$$T^* = \begin{bmatrix} T_1^{\epsilon} & T_2^{\epsilon} & T_3^{\epsilon} & \dots & T_k^{\epsilon} & T_{k+1}^{\epsilon} \\ T_2^{\epsilon} & T_3^{\epsilon} & T_4^{\epsilon} & \dots & T_{k+1}^{\epsilon} & 0 \\ T_3^{\epsilon} & T_4^{\epsilon} & T_5^{\epsilon} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ T_k^{\epsilon} & T_{k+1}^{\epsilon} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ T_{k+1}^{\epsilon} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где T_l^ε и T_{k+1}^ε матрицы вида:

$$T_l^\varepsilon = \begin{bmatrix} t_{1,(l-1)p+1}^\varepsilon & t_{1,(l-1)p+2}^\varepsilon & \dots & t_{1,p}^\varepsilon \\ t_{2,(l-1)p+1}^\varepsilon & t_{2,(l-1)p+2}^\varepsilon & \dots & t_{2,p}^\varepsilon \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{n,(l-1)p+1}^\varepsilon & t_{n,(l-1)p+2}^\varepsilon & \dots & t_{n,p}^\varepsilon \end{bmatrix}, \quad l = \overline{1, k}, \quad T_{k+1}^\varepsilon = \begin{bmatrix} t_{1,kp+1}^\varepsilon & t_{1,kp+2}^\varepsilon & \dots & t_{1,kp+r}^\varepsilon & 0 & \dots & 0 \\ t_{2,kp+1}^\varepsilon & t_{2,kp+2}^\varepsilon & \dots & t_{2,kp+r}^\varepsilon & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{n,kp+1}^\varepsilon & t_{n,kp+2}^\varepsilon & \dots & t_{n,kp+r}^\varepsilon & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}.$$

Каждый шаг совмещения диаграмм определяется соответствующим смещением подматриц T_l^ε , $l = \overline{2, k+1}$, таким образом, что очередная строка, состоящая из этих подматриц, смещалась справа налево на максимальную величину, сохраняющую линейный порядок выполнения блоков программного ресурса на одном и том же обрабатываемом устройстве. С учетом того, что все подматрицы T_l^ε , $l = \overline{1, k+1}$, имеют одну и ту же размерность $n \times p$, величина смещения на каждом шаге будет равна p . Вместо смещенной на каждом шаге самой правой матрицы ставятся нули. Выполнив таким образом k шагов смещений, получим структуру результирующей матрицы T^* , соответствующую окончательно совмещенной диаграмме Ганта. Причем в матрице T^* будут учтены как все горизонтальные связи между блоками, так и все вертикальные, а также связи между блоками из разных диаграмм Ганта.

Отметим, что результирующая матрица T^* будет иметь размерность $(k+1)n \times (k+1)p$. Матрица T^* будет блочной, симметричной, верхней диагональной относительно второй диагонали, типа Ганкелевой порядка $k+1$.

Далее построим сетевой вершинно-взвешенный граф G_2^{ac} (рис.4) с весами, задаваемыми матрицей T^* . Вершины этого графа будут расположены в узлах прямоугольной $(k+1)n \times (k+1)p$ -решетки.

Как и в случае $s \leq p$, общее время $T_n^{ac}(p, n, s = kp + r, \varepsilon)$ выполнения n неоднородных распределенных конкурирующих процессов определяется длиной критического пути из начальной вершины t_{11}^ε в конечную $t_{(k+1)n, (k+1)p}^\varepsilon$. Теорема доказана.

Однородные микроэнергосистемы.

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

Пусть $(t_1^\varepsilon, t_2^\varepsilon, \dots, t_s^\varepsilon)$ – длительности выполнения каждого из блоков Q_j , $j = \overline{1, s}$, программного ресурса с учетом накладных расходов ε , $t_j^\varepsilon = t_j + \varepsilon$, $j = \overline{1, s}$. Обозначим длительность выполнения всего PR каждым из процессов через $T_\varepsilon^s = \sum_{j=1}^s t_j^s$. Тогда имеет место следующая теорема.

Теорема 3. Минимальное общее время выполнения n однородных распределенных конкурирующих процессов, $n \geq 2$, использующих структурированный на s блоков

программный ресурс, $s \geq 2$, с временами выполнения блоков $(t_1^\varepsilon, t_2^\varepsilon, \dots, t_s^\varepsilon)$, $\sum_{j=1}^s t_j^\varepsilon = T_\varepsilon^s$, в МЭС с p одинаковыми обрабатывающими устройствами, $p \geq 2$, в случае $2 \leq s \leq p$, в асинхронном режиме составляет величину $T_o^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ равную

$$T_o^{ac}(p, n, s, \varepsilon) = T_\varepsilon^s + (n-1) \max_{1 \leq j \leq s} t_j^\varepsilon.$$

Доказательство. Функционал (1) в случае однородной распределенной microgrid примет следующий вид:

$$T_o^{ac}(p, n, s, \varepsilon) = \max_{1 \leq u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_{s-1} \leq n} \left[\sum_{i=1}^{u_1} t_1^\varepsilon + \sum_{i=u_1}^{u_2} t_2^\varepsilon + \dots + \sum_{i=u_{s-1}}^n t_s^\varepsilon \right] = T_\varepsilon^s + (n-1) \max_{1 \leq j \leq s} t_j^\varepsilon,$$

что и доказывает теорему.

Матрица времен выполнения блоков программного ресурса в этом случае будет иметь размерность $n \times s$ и состоять из n одинаковых строк, т.е. будет иметь вид:

$$T^\varepsilon = \begin{bmatrix} t_1^\varepsilon & t_2^\varepsilon & \dots & t_s^\varepsilon \\ t_1^\varepsilon & t_2^\varepsilon & \dots & t_s^\varepsilon \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ t_1^\varepsilon & t_2^\varepsilon & \dots & t_s^\varepsilon \end{bmatrix}.$$

В случае, когда $s > p$, $s = kp$, матрица времен выполнения блоков программного ресурса строится аналогично, как и матрица (2). Отличие состоит в том, что в каждой из подматриц T_l^ε , $l = \overline{1, k}$, матрицы (2) все строки совпадают. Если $s = kp + r$, $k \geq 1$, $1 \leq r < p$, то последняя подматрица T_{k+1}^ε соответствующей матрицы времен выполнения блоков структурированного программного ресурса будет содержать $p - r$ нулевых столбцов.

Тогда, по аналогии с теоремой 2, общее время $T_o^{ac}(p, n, s > p, \varepsilon)$ выполнения множества однородных распределенных конкурирующих процессов определяется длиной критического пути из начальной вершины в конечную соответствующего сетевого графа.

Определение 3. Структурирование программного ресурса на s блоков с временами выполнения $(t_1^\varepsilon, t_2^\varepsilon, \dots, t_s^\varepsilon)$, $\sum_{j=1}^s t_j^\varepsilon = T_\varepsilon^s$, будем называть *равномерным*, если $t_1^\varepsilon = t_2^\varepsilon = \dots = t_s^\varepsilon = t^\varepsilon$.

Следствие. В случае равномерного структурирования для вычисления минимального общего времени выполнения n распределенных конкурирующих процессов имеют место формулы:

$$T_p^{ac}(p, n, s, \varepsilon) = \begin{cases} (n + s - 1)t^\varepsilon, & \text{если } p \geq \min\{n, s\}, \\ (kn + p - 1)t^\varepsilon, & \text{если } p < \min\{n, s\} \text{ и } s = kp, \\ [(k + 1)n + r - 1]t^\varepsilon, & \text{если } p < \min\{n, s\} \text{ и } s = kp + r, k \geq 1, 1 \leq r < p. \end{cases}$$

Однородно распределенные микроэнергосистемы.

Определение 4. Систему конкурирующих процессов будем называть *однородно распределенной*, если времена выполнения блоков t_{ij} PR каждым из i -х процессов

совпадают и равны t_i^ε для всех $i = \overline{1, n}$, т. е. справедлива цепочка равенств $t_{i1}^\varepsilon = t_{i2}^\varepsilon = \dots = t_{is}^\varepsilon = t_i^\varepsilon$ для всех $i = \overline{1, n}$.

Обозначим через $T_\varepsilon^n = \sum_{i=1}^n t_i^\varepsilon$ – суммарное время выполнения каждого из блоков Q_j ,

$j = \overline{1, s}$, всеми n процессами, $t_i^\varepsilon = t_i + \varepsilon$, $i = \overline{1, n}$. Тогда справедлива следующая теорема.

Теорема 4. Минимальное общее время выполнения $n \geq 2$ одинаково распределенных конкурирующих процессов, использующих структурированный на $s \geq 2$ блоков программный ресурс в микроэнергосистеме с $p \geq 2$ одинаковыми обрабатываемыми устройствами и дополнительными системными расходами $\varepsilon > 0$, в асинхронном режиме составляет величину $T_{op}^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$, равную

$$T_{op}^{ac}(p, n, s, \varepsilon) = \begin{cases} T_\varepsilon^n + (s-1) \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon, & \text{при } s \leq p \text{ и } T_\varepsilon^n \leq p \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon, \\ kT_\varepsilon^n + (p-1) \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon, & \text{если } T_\varepsilon^n > p \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon \text{ и } s = kp, k > 1, \\ (k+1)T_\varepsilon^n + (r-1) \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon, & \text{если } T_\varepsilon^n > p \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon \text{ и } s = kp + r, k \geq 1, 1 \leq r < p. \end{cases}$$

Доказательство. Для доказательства рассмотрим сначала случай, когда число ОУ является достаточным, т.е. число блоков программного ресурса $s \leq p$. Тогда элементы матрицы времен выполнения блоков программного ресурса $[t_{ij}^\varepsilon]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, будут иметь вид $t_{ij}^\varepsilon = t_i^\varepsilon$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, и будут совпадать с соответствующими элементами матрицы времен обслуживания требований приборами в одномаршрутной задаче Беллмана–Джонсона. Поэтому для вычисления минимального общего времени $T_{op}^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ выполнения одинаково распределенных конкурирующих процессов можно воспользоваться функционалом этой задачи, который в наших обозначениях примет вид:

$$T_{op}^{ac}(p, n, s, \varepsilon) = \max_{1 \leq u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_{s-1} \leq n} \left[\sum_{i=1}^{u_1} t_i^\varepsilon + \sum_{i=u_1}^{u_2} t_i^\varepsilon + \dots + \sum_{i=u_{s-1}}^n t_i^\varepsilon \right] = T_\varepsilon^n + (s-1) \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon.$$

Рассмотрим далее случай, когда $s = kp$, $k > 1$. Будем предполагать, что ОУ универсальны. Тогда соответствующая матрица времен выполнения блоков программного ресурса будет иметь размерность $kn \times p$ и состоять из k одинаковых ненулевых подматриц $[t_{ij}^\varepsilon]_{n \times p}$. Вычисление общего времени $T_{op}^{ac}(p, n, s = kp, \varepsilon)$ в этом случае с помощью функционала задачи Беллмана–Джонсона приводит к формуле:

$$T_{op}^{ac}(p, n, kp, \varepsilon) = \max_{1 \leq u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_{p-1} \leq kn} \left[\sum_{i=1}^{u_1} t_i^\varepsilon + \sum_{i=u_1}^{u_2} t_i^\varepsilon + \dots + \sum_{i=u_{p-1}}^{kn} t_i^\varepsilon \right] = kT_\varepsilon^n + (p-1) \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon.$$

В случае, когда $s = kp + r$, $k \geq 1$, $1 \leq r < p$ соответствующая матрица времен выполнения блоков программного ресурса размерности $(k+1)n \times p$ будет иметь в $(k+1)$ -й подматрице $p-r$ нулевых столбцов. Вычисление общего времени с помощью функционала задачи Беллмана–Джонсона приводит к третьей формуле теоремы 4. Теорема доказана.

Выводы. Доказанные в этой работе теоремы 1–4 и полученные математические соотношения позволяют находить с заданной точностью значения минимального общего

время выполнения множества распределенных конкурирующих процессов для асинхронного режима с использованием аналитического и алгоритмического подхода на основе вершинно–взвешенных графов. Характер полученных зависимостей позволяет также явно учитывать параметр, характеризующий накладные расходы времени, связанные с затратами на реализацию механизмов управления параллельными процессами при распределенной обработке. Полученные формулы служат основой для решения задач оптимизации числа обрабатываемых устройств, блоков PR, получения критериев эффективности и оптимальности структурирования программных ресурсов, исследования всевозможных смешанных режимов организации выполнения параллельных процессов при распределенной обработке.

Список использованной литературы

1. European Commission, “European smartgrids technology platform - vision and strategy for europe’s electricity networks of the future,” Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, Tech. Rep. EUR 22040, 2006, available at http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf.
2. “Sinergie: Synergie van intelligentie en energie - in elektriciteitsnetten van de toekomst -,” Delft University of Technology, Netherlands, Tech. Rep. EOSLT04034, May 2007, in Dutch.
3. 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. – 2011. – №57, pp. 109–112.
4. Каплун В.В., Павлов П.А., Штепа В.Н. Ресурсно–процессный подход к построению математической модели микроэнергетической системы // Вестник Киевского национального университета технологий и дизайна. – 2010. – №2(96). – С. 48–60.
5. Павлов П.А., Коваленко Н.С. Математическое моделирование параллельных процессов. – Germany: Lambert Academic Publishing. – 2011. – 246 с.
6. Танаев В.С., Сотсков Ю.Н., Струсевиц В.А. Теория расписаний. Многостадийные системы. М., 1989. – 328 с.

АСИНХРОННИЙ РЕЖИМ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІКРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

КАПЛУН В.В.¹, ПАВЛОВ П.А.², ШТЕПА В.Н.¹, КАПЛУН Р.В.¹

Київський національний університет технологій та дизайну¹

Полесский государственный университет, Республика Беларусь²

Мета. Одержання математичних співвідношень для розрахунку з заданою точністю тривалості виконання множини паралельних процесів в мікроенергосистемі з декількома джерелами.

Методика. Для вирішення поставлених математичних завдань використані принципи структуривання, конвеєризації, а також методи дискретних систем, теорії розкладів, теорії графів, лінійних діаграм Ганта та алгебри матриць.

Результати. В статті досліджений асинхронний режим функціонування мікроенергетичної системи з декількома джерелами, одержані математичні співвідношення для визначення мінімальної загальної тривалості виконання неоднорідних, однорідних та однаково розподілених процесів.

Наукова новизна. Вперше досліджена математична модель функціонування мікромережі, а основу якої покладений ресурсно-процесний підхід.

Практична цінність. Для визначення мінімальної загальної тривалості обслуговування microgrid як системи розподілених процесів в асинхронному режимі одержані залежності є основою для порівняльного аналізу функціонування мікроенергетичної системи в синхронних режимах, знаходження оптимальної кількості пристроїв обробки, кількості блоків і (або) директивних термінів реалізації процесів, визначення критеріїв ефективності і оптимальності структурування програмних ресурсів, дослідження різних змішаних режимів організації виконання паралельних процесів про розподіленій обробці.

Ключові слова: асинхронний режим, microgrid, мікроенергетична система, smart grid, структурування, конвеєризація, програмний ресурс, обмежений (необмежений) паралелізм, розподілені конкуруючі процеси.

ASYNCHRONOUS FUNCTIONING MODE OF MICROPOWER SYSTEM

KAPLUN V.V.¹, PAVLOV P.A.², SHTEPA V.N.¹, KAPLUN R.V.¹

Kyiv National University of Technologies & Design¹

Polesky State University, Republic of Belarus²

Purpose. Obtaining mathematical relationships to calculate a given accuracy duration of the plurality of parallel processes in microgrid with multiple sources.

Methods. To solve the mathematical problems used the principles of structuring, pipelining, as well as the methods of discrete systems, scheduling theory, graph theory, linear Gantt charts and matrix algebra.

Results. We investigated asynchronous micro grid operation of a distributed system, derived mathematical relationships to determine the minimum total execution time of heterogeneous and homogeneous identically distributed processes.

Originality. The first time investigated the mathematical model of the functioning of microgrids, which was based on the resource and process approach.

The practical significance. To use for determination of the minimum total time of service microgrid as a system of distributed processes asynchronously received according serve as a basis for comparative analysis micro grid operation in synchronous mode, finding the optimal number of processing units, the number of units and (or) the deadlines of realization processes, obtaining the criteria of efficiency and optimal structuring software resources, the study of all kinds of mixed modes of organization of parallel processes in distributed processing.

Keywords: asynchronous mode, micro grid, smart grid, structuring, pipelining, a software resource limited (unlimited) parallelism, distributed competing processes.

ЗМІСТ

**МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ.
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**

1. **Артеменко М.Ю., Каплун В.В.**
Енергоефективність паралельних активних силових фільтрів трифазних систем електроживлення 11
2. **Кизимчук О.П., Мельник Л.М., Єрмоленко І.В.**
Вплив технологічних можливостей сучасних плосков'язальних машин на їх енергоспоживання 20
3. **Лисак О.В.**
Регулювання тепловіддачі електротеплоакуючих обігрівачів 29
4. **Алексієвський Д.Г., Панкова О.О.**
Морфологічний аналіз структур вітроелектрогенеруючих систем з аеродинамічним мультиплікуванням 39
5. **Каплун В.В., Павлов П.А., Штепа В.Н., Каплун Р.В.**
Асинхронний режим функціонування мікроенергетической системи 45
6. **Лисак О.В.**
Системи прямого охолодження від відкритих водойм 57
7. **Ковриго Ю.М., Саков Р.П., Бунке О.С.**
Аналітична модель рівня в проміжному бункері пилу парового котла ТПП-210А 66
8. **Шавьолкін О.О.**
Перетворювальний агрегат комбінованої системи електроживлення з поновлювальними джерелами 71
9. **Sineglazov V., Ziganshin A.**
Effective darrieus H -rotor with optimal pitch angles of blades 78
10. **Миколюк О.А.**
Теоретико-методичні основи формування енергетичної безпеки: мікрорівень 84
11. **Плешко С.А., Ковальов Ю. А.**
Напруження в стержні голки круглов'язальної машини типу КО, зумовлені інерційними навантаженнями 91
12. **Дворжак В. М.**
Математичне моделювання механізмів швейних машин зі структурними групами третього класу третього порядку з двома поступальними парами 99
13. **Зенкін М.А., Лазебний В.І., Василенко І.Ю.**
Удосконалення автоматизованого контролю динамічних характеристик шліфувальних верстатів 109

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО, ШВЕЙНЕ ТА ТЕКСТИЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО. МЕТРОЛОГІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ

14. **Курганський А.В., Березненко С.М., Курганська М.М.**
Принцип зонально-диференційованого розташування елементів
бездротових сенсорних мереж моніторингу мікроклімату під одягом 118
15. **Пилипенко Ю.М., Слізков А.М., Проданчук І.В.**
Особливості в застосуваннях методів контролю технологічним
процесом для прогнозування властивостей текстильних матеріалів
різного призначення 126

ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНІ, БІОЛОГІЧНІ, ФАРМАЦЕВТИЧНІ

16. **Будаш Ю.О., Кучеренко Є.В., Матрофайло М. М., Плаван В.П.**
Отримання екобезпечних мікрофібрилярних наповнювачів з
недеревної сировини 134
17. **Черниш О.В., Хоменко В.Г., Барсуков В.З., Борщ А.В.**
Вплив технологічних модифікацій полівініліденфториду на фізико-
механічні властивості електродів хімічних джерел струму 141

ДИЗАЙН ТА МИСТЕЦТВОЗНАВСТВО

18. **Кисіль С. С.**
Трансформація простору як напрямок у дизайні інтер'єрів житлових
будинків 149