

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ПОЛЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

МАТЕРИАЛЫ

**I международной заочной
научно–практической конференции
“Инжиниринг: теория и практика”**

**Полесский государственный университет,
г. Пинск, Республика Беларусь,
26 марта 2021 г.**

Пинск 2021

УДК 62:658
ББК 65:38
И 62

Редакционная коллегия:

Дунай В.И., ректор университета, кандидат биологических наук, доцент
(главный редактор);

Кручинский Н.Г., проректор по научной работе, доктор медицинских наук, доцент;

Золотарева О.А., проректор по учебной работе, доктор экономических наук, доцент;

Штепа В.Н., декан инженерного факультета, доктор технических наук, доцент;

Павлов П.А., заместитель декана инженерного факультета по научной работе,
кандидат физико-математических наук, доцент;

Романова М.А., заведующий кафедрой информационных технологий
и интеллектуальных систем, кандидат физико-математических наук, доцент;

Астренков Ю.В., заведующий кафедрой промышленного рыбоводства и переработки
рыбной продукции, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

Чигрин Н.А., заведующий кафедрой ландшафтного проектирования,
кандидат биологических наук, доцент.

Рецензенты:

Астренков Ю.В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

Бубырь И.В., кандидат технических наук, доцент;

Павлов П.А., кандидат физико-математических наук, доцент;

Цвирко Л.С., доктор биологических наук, профессор;

Чигрин Н.А., кандидат биологических наук, доцент;

Штепа В.Н., доктор технических наук, доцент.

Инжиниринг: теория и практика: материалы I международной заочной научно–
практической конференции, УО «Полесский государственный университет», г. Пинск, 26
марта 2021 г. / Министерство образования Республики Беларусь [и др.]; редкол.: В.И. Ду-
най [и др.]. – Пинск: ПолесГУ, 2021. – 187 с.

ISBN 978–985–516–675-8

Приведены материалы участников I международной заочной научно–практической
конференции «Инжиниринг: теория и практика».

Материалы изложены в авторской редакции.

УДК 62:658
ББК 65:38

ISBN 978–985–675-8

© УО «Полесский государственный
университет», 2021

МОДЕЛЬ НЕПРЕРЫВНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЕЙ КОНЕЧНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Павлов Павел Александрович, к.ф.–м.,н., доцент

Штепа Владимир Николаевич, д.т.н., доцент

Полесский государственный университет

Pavlov Pavel, PhD, pavlov.p@polessu.by

Shtepa Vladimir Nikolayevich, D.Sc., shtepa.v@polessu.by

Polessky State University

В статье предложена математическая модель интеллектуальной масштабируемой распределенной микросети и получены математические соотношения для вычисления точных значений общего времени выполнения множества параллельных процессов, возникающих при взаимодействии конкурирующих источников распределенной генерации электрической энергии с конечными потребителями.

Проектирование и создание эффективных взаимно–интегрированных распределенных microgrid и компьютерных систем управления прежде всего связано с математическим моделированием функционирования сложных многокомпонентных систем, разработкой принципов синтеза структур таких систем, определением процедур анализа их эффективности и оптимальности, расчетом оптимальных технических характеристик источников microgrid, характеристик оптимальной организации выполнения большого числа параллельных процессов, определением границ эффективности и оптимальности их взаимодействия, количественной и качественной оценки различных стратегий управления такими процессами, развитием управляющих алгоритмов и численных методов, созданием системного и прикладного программного обеспечения с учетом конкретных условий функционирования microgrid.

Одной из центральных в этих направлениях и во многом объединяющая их является проблема оптимального распределения ресурсов microgrid. Это порождает, в свою очередь, множество конкурирующих за их использование процессов. Поэтому, от успешного решения проблем оптимальной организации выполнения множества конкурирующих процессов, зависит работоспособность, надежность и эффективность микроэлектросистем в целом.

Математическая модель интеллектуальной масштабируемой распределенной микросети включает в себя: $n \geq 2$ – количество источников распределенной генерации электрической энергии; $p \geq 2$ – количество конечных потребителей электроэнергии; $s \geq 2$ – количество порций (блоков) структурированных конкурирующих потоков электроэнергии от источников распределенной генерации с учетом ценовых диапазонов; $T = [t_{ij}]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$ – матрицу времен передачи электрической энергии i –м источником из j –го ценового диапазона; $C = [c_{ij}]_{n \times s}$ – матрицу стоимости единицы электроэнергии из j –го ценового диапазона при генерации i –м источником; $\varepsilon > 0$ – параметр, характеризующий системное время, затрачиваемое Smart Grid на

организацию параллельной передачи электрической энергии от n источников p конечным потребителям.

Будем считать, что взаимодействие конкурирующих источников распределенной генерации электрической энергии с конечными потребителями подчинено следующим условиям:

- 1) ни один из источников порцию электроэнергии не может передавать одновременно более чем одному потребителю;
- 2) ни один из конечных потребителей не может принимать одновременно более одной порции электрической энергии от источников распределенной генерации;
- 3) передача (прием) каждой порции электроэнергии осуществляется без прерываний;
- 4) распределение порций электрической энергии от источников распределенной генерации конечным потребителям компьютерной системой осуществляется циклически по правилу: блок с номером $j = kp + i$, $j = \overline{1, s}$, $i = \overline{1, p}$, $k \geq 0$, передается потребителю с номером i ;
- 5) для каждого конечного потребителя момент завершения получения порции энергии от l -го источника совпадает с моментом начала получения электрической энергии от $(l + 1)$ -го источника распределенной генерации, $l = \overline{1, n - 1}$.

Условия 1–5 определяют *синхронный режим*, обеспечивающий непрерывное получение электрической энергии всеми конечными потребителями от источников распределенной генерации (рис. 1).

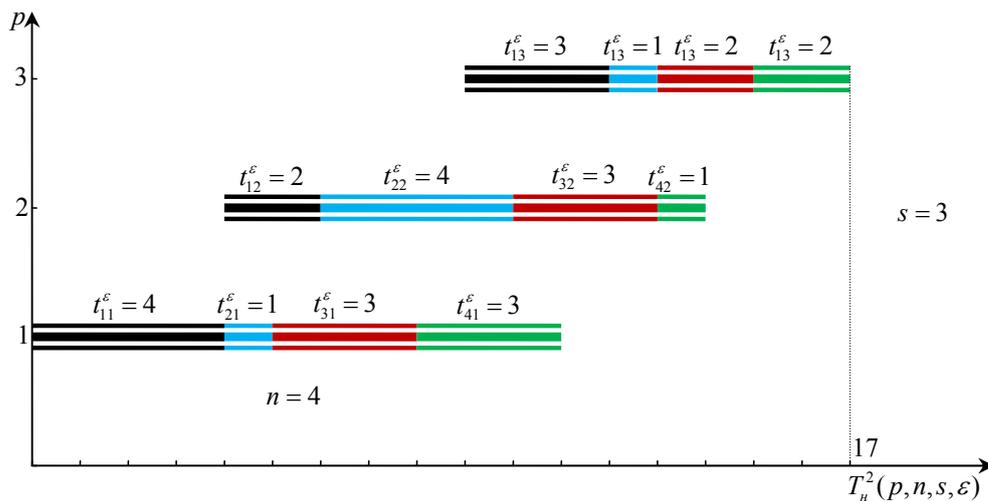


Рисунок 1 – Синхронный режим взаимодействия 4 распределенных источников электрической энергии и 3 конечных потребителей

Распределенную микросеть будем называть *неоднородной*, если времена передачи электрической энергии конечным потребителям разные для разных источников.

Получение математических соотношений для вычисления точных значений общего времени выполнения множества параллельных процессов, возникающих при взаимодействии конкурирующих источников распределенной генерации электрической энергии с конечными потребителями, позволит в реальном времени оптимально управлять любыми сегментами микросети, планировать подключение новых объектов, оперативно перераспределять потоки электроэнергии, обрабатывать большие массивы информации.

Будем рассматривать $n \geq 2$ *неоднородных* распределенных источников, которые конкурируют за передачу электрической энергии $p \geq 2$ конечным потребителям, причем передача электроэнергии осуществляется блоками Q_1, Q_2, \dots, Q_s . Задача состоит в нахождении мини-

мального общего времени $T_n^2(p, n, s, \varepsilon)$ передачи n источниками электрической энергии p потребителям в условиях непрерывного обеспечения энергией последних. Рассмотрим следующие случаи.

а) В случае, когда число блоков структурированных потоков электрической энергии равно числу конечных потребителей, т.е. $s = p$, для нахождения величины $T_n^2(p, n, s, \varepsilon)$ получим формулу:

$$T_n^2(p, n, s, \varepsilon) = \sum_{j=1}^{p-1} \max_{1 \leq v \leq n} \left[\sum_{i=1}^v t_{ij}^\varepsilon - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i,j+1}^\varepsilon \right] + \sum_{i=1}^n t_{ip}^\varepsilon. \quad (1)$$

Здесь $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon]$ – $n \times s$ – матрица времен передач блоков электрической энергии i – м источником из j – го ценового диапазона с учетом накладных расходов ε .

Величины $\max_{1 \leq v \leq n} \left[\sum_{i=1}^v t_{ij}^\varepsilon - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i,j+1}^\varepsilon \right]$, $j = \overline{1, p-1}$, определяют моменты начала передачи

электроэнергии источниками потребителям, начиная со второго, а $\sum_{i=1}^n t_{ip}^\varepsilon$ – время обеспечения электрической энергией последнего p – го потребителя всеми источниками.

Пример 1. Пусть имеется $n = 4$ неоднородных распределенных альтернативных источника, которые конкурируют за передачу электрической энергии $p = 3$ потребителям. Каждый поток структурирован на $s = 3$ ценовых блока. Матрица времен передачи электроэнергии источ-

никами конечным потребителям с учетом системного времени имеет ε вид $T^\varepsilon = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 3 \\ 1 & 4 & 1 \\ 3 & 3 & 2 \\ 3 & 1 & 2 \end{bmatrix}$.

Согласно формуле (1) минимальное общее время передачи будет равно:

$$T_n^2(p = 3, n = 4, s = 3, \varepsilon) = \sum_{j=1}^2 \max_{1 \leq v \leq 4} \left[\sum_{i=1}^v t_{ij}^\varepsilon - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i,j+1}^\varepsilon \right] + \sum_{i=1}^4 t_{i3}^\varepsilon = 4 + 5 + 8 = 17.$$

б) Рассмотрим случай, когда число конечных потребителей микроэлектросистемы больше числа блоков структурированных энергопотоков ($s < p$). В этом случае выполним разбиение множества потребителей на $k + 1$ группу по s потребителей в каждой, т. е. $p = ks + r$, $k \geq 1$, $1 \leq r < s$. Если p не кратно s , то в последней группе будет только r потребителей. Результирующая матрица RM времен передачи электроэнергии источниками конечным потребителям будет состоять из $k + 1$ матриц T^ε , причем $k + 1$ матрица будет содержать только r первых столбцов:

$$RM = [t_{ij}^\varepsilon]_{n \times p} = \begin{bmatrix} t_{11}^\varepsilon & t_{12}^\varepsilon & \dots & t_{1s}^\varepsilon & t_{11}^\varepsilon & t_{12}^\varepsilon & \dots & t_{1s}^\varepsilon & \dots & t_{11}^\varepsilon & t_{12}^\varepsilon & \dots & t_{1r}^\varepsilon \\ t_{21}^\varepsilon & t_{22}^\varepsilon & \dots & t_{2s}^\varepsilon & t_{21}^\varepsilon & t_{22}^\varepsilon & \dots & t_{2s}^\varepsilon & \dots & t_{21}^\varepsilon & t_{22}^\varepsilon & \dots & t_{2r}^\varepsilon \\ \dots & \dots \\ t_{n1}^\varepsilon & t_{n2}^\varepsilon & \dots & t_{ns}^\varepsilon & t_{n1}^\varepsilon & t_{n2}^\varepsilon & \dots & t_{ns}^\varepsilon & \dots & t_{n1}^\varepsilon & t_{n2}^\varepsilon & \dots & t_{nr}^\varepsilon \end{bmatrix}$$

С учетом формулы (1) минимальное общее время обеспечения n альтернативными источниками электрической энергии p конечных потребителей при условии $s < p$ будет определяться из выражения:

$$T_n^2(p = ks + r, n, s, \varepsilon) = kT_n^2(s, n, s, \varepsilon) + T_n^2(1, n, 1, \varepsilon) + T_n^2(r, n, r, \varepsilon), \quad (2)$$

где

$$T_n^2(s, n, s, \varepsilon) = \sum_{j=1}^{s-1} \max_{1 \leq v \leq n} \left[\sum_{i=1}^v t_{ij}^\varepsilon - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i,j+1}^\varepsilon \right], \quad T_n^2(1, n, 1, \varepsilon) = \max_{1 \leq v \leq n} \left[\sum_{i=1}^v t_{is}^\varepsilon - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i1}^\varepsilon \right], \quad (3)$$

$$T_n^2(r, n, r, \varepsilon) = \sum_{j=1}^{r-1} \max_{1 \leq v \leq n} \left[\sum_{i=1}^v t_{ij}^\varepsilon - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i,j+1}^\varepsilon \right] + \sum_{i=1}^n t_{ir}^\varepsilon.$$

Пример 2. Пусть $p = 5$, $n = 3$, $s = 2$, $T^\varepsilon = \begin{bmatrix} 4 & 2 \\ 1 & 4 \\ 3 & 3 \end{bmatrix}$. Т. к. $p = 2s + 1$, то $k = 2$,

$r = 1$ и результирующая матрица будет иметь вид: $RM = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 4 & 2 & 4 \\ 1 & 4 & 1 & 4 & 1 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 3 \end{bmatrix}$.

Согласно формуле (2) минимальное общее время передачи составит (рис. 2):

$$T_n^2(p = 5, n = 3, s = 2, \varepsilon) = 2 \cdot 4 + 2 \cdot 4 + 8 = 24.$$

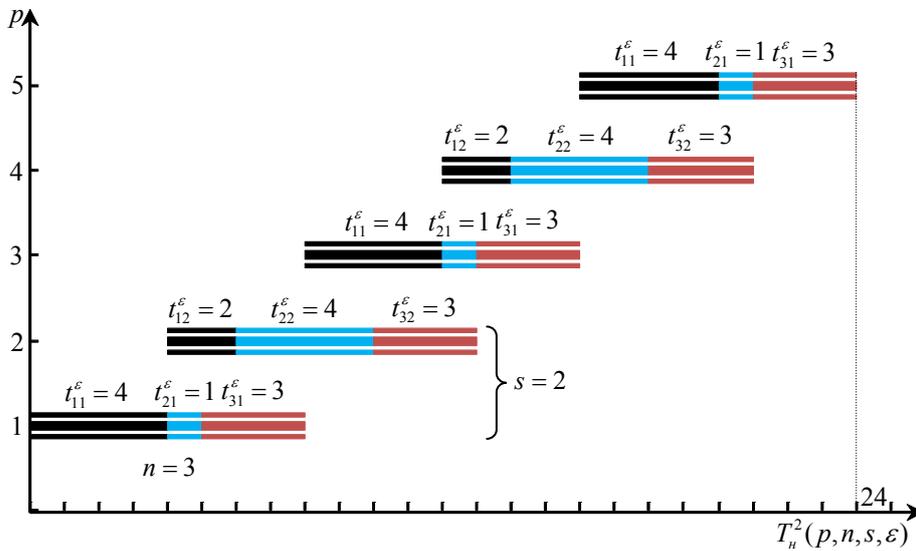


Рисунок 2. – Функционирование microgrid при $p = 5$, $n = 3$, $s = 2$

в) Пусть число блоков структурированных конкурирующих потоков электроэнергии $s \geq 2$ больше числа конечных потребителей микроэнергосистемы $p \geq 2$, т. е. является ограниченным ($s > p$). Тогда произведем разбиение множества блоков на $k + 1$ группу по p блоков в каждой, за исключением последней, которая при S не кратно p будет содержать r блоков:

$s = kp + r$, $k \geq 1$, $1 \leq r < p$. Это равносильно разбиению исходной матрицы времен передачи электрической энергии i -м источником из j -го ценового диапазона с учетом системных расходов $\varepsilon > 0$ $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, на $k + 1$ подматрицу по p столбцов в каждой, причем подматрица $k + 1$ в случае, когда s не кратно p , будет содержать r столбцов.

Рассмотрим частный случай, когда s кратно p , т. е. $s = kp$, $k > 1$. Учитывая, что число блоков больше числа потребителей в k раз, выполним разбиение множества блоков на k групп по p блоков в каждой. Следовательно, исходная матрица времен передачи электрической энергии T^ε разобьется на k подматриц по p столбцов в каждой. Взаимодействие конкурирующих источников распределенной генерации электрической энергии с конечными потребителями с учетом времен передачи электрической энергии для l -й группы, $l = \overline{1, k}$, можно изобразить в виде линейных диаграмм Ганта, каждая из которых отображает во времени передачу p блоков различных ценовых диапазонов n конкурирующими альтернативными источниками p конечным потребителям.

На рис. 3 приведены несомещенные диаграммы Ганта для случая $p = 3$, $n = 4$, $s = 9$ и

$$T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon]_{4 \times 9} = \begin{bmatrix} t_{11}^\varepsilon & t_{12}^\varepsilon & \dots & t_{19}^\varepsilon \\ t_{21}^\varepsilon & t_{22}^\varepsilon & \dots & t_{29}^\varepsilon \\ t_{31}^\varepsilon & t_{32}^\varepsilon & \dots & t_{39}^\varepsilon \\ t_{41}^\varepsilon & t_{42}^\varepsilon & \dots & t_{49}^\varepsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 2 & 1 & 1 & 3 & 2 & 3 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 3 & 2 & 1 & 4 & 2 & 2 \\ 4 & 2 & 1 & 1 & 3 & 2 & 3 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

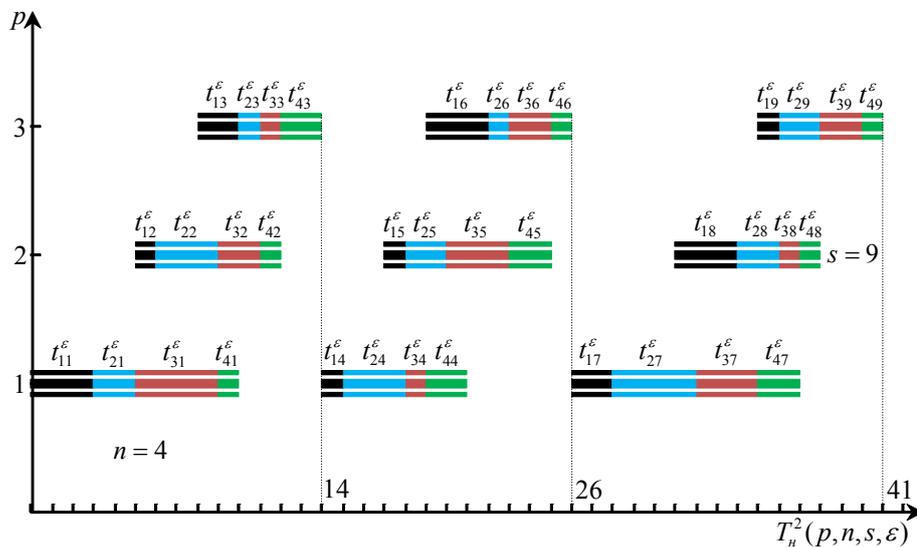


Рисунок 3. – Несомещенная диаграмма Ганта

Время $T_n^2(p=3, n=4, s=9, \varepsilon) = 41$ передачи источниками электрической энергии потребителям можно существенно сократить, если воспользоваться приемом совмещения последовательных диаграмм Ганта по оси времени справа налево (рис. 4).

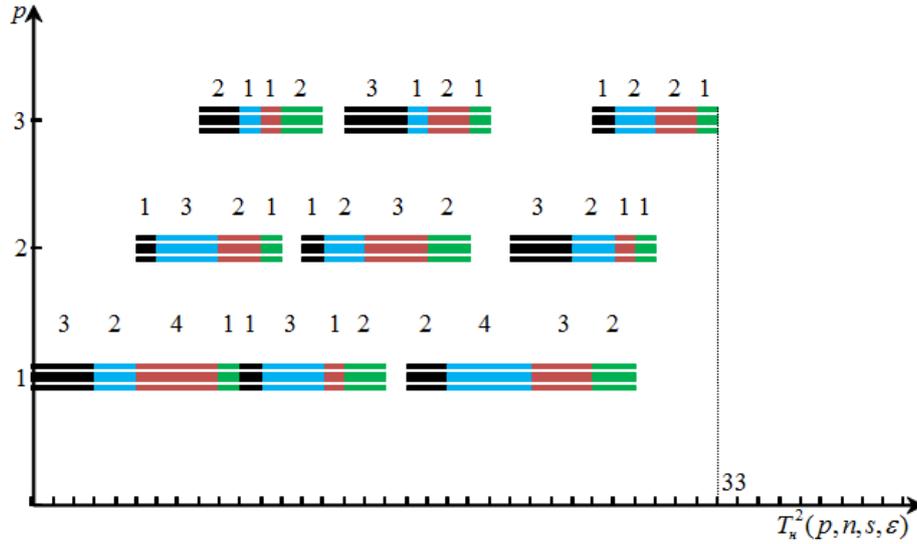


Рисунок 4. – Совмещенная диаграмма Ганта

В дальнейшем будем использовать следующие обозначения:

- $t_{ij}^{\varepsilon, l} = t_{ij}^l + \varepsilon = t_{i, (l-1)p+j} + \varepsilon$ – времена передачи порции электрической энергии из j -го ценового диапазона i -м источником в l -й группе блоков с учетом параметра ε , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, $l = \overline{1, k}$;
- T_l^ε – общее время передачи l -й группы блоков электрической энергии p потребителям всеми n источниками $l = \overline{1, k}$;
- $E_{ij}^{\varepsilon, l}$ – время завершения передачи j -го блока i -м источником в l -й группе блоков, $l = \overline{1, k}$.

В силу формулы (1) для вычисления T_l^ε и $E_{ij}^{\varepsilon, l}$ получим следующие соотношения:

$$T_l^\varepsilon = \sum_{j=1}^{p-1} \max_{1 \leq v \leq n} \left[\sum_{i=1}^v t_{ij}^{\varepsilon, l} - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i, j+1}^{\varepsilon, l} \right] + \sum_{i=1}^n t_{ip}^{\varepsilon, l}, \quad (4)$$

$$E_{ij}^{\varepsilon, l} = \sum_{w=1}^{j-1} \max_{1 \leq v \leq n} \left[\sum_{q=1}^v t_{qw}^{\varepsilon, l} - \sum_{q=1}^{v-1} t_{q, w+1}^{\varepsilon, l} \right] + \sum_{q=1}^i t_{qj}^{\varepsilon, l}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, p}, \quad l = \overline{1, k}.$$

Кроме того, через $B_{1j}^{\varepsilon, l}$ будем обозначать время начала передачи j -го блока в l -й группе первым источником:

$$B_{1j}^{\varepsilon, l} = \sum_{w=1}^{j-1} \max_{1 \leq v \leq n} \left[\sum_{q=1}^v t_{qw}^{\varepsilon, l} - \sum_{q=1}^{v-1} t_{q, w+1}^{\varepsilon, l} \right], \quad j = \overline{1, p}. \quad (5)$$

Из анализа последовательных диаграмм Ганта (рис. 3, рис. 4) вытекает, что:

$$T_n^2(p, n, s, \varepsilon) = T_n^2(p, n, kp, \varepsilon) = \sum_{l=1}^k T_l^\varepsilon - \Omega, \quad (6)$$

где T_l^ε находится по формулам (4), а величина Ω является величиной максимально допустимого суммарного совмещения соседних диаграмм по оси времени. Имеет место следующая лемма.

Лемма. Величина Ω максимально допустимого суммарного совмещения соседних диаграмм Ганта по оси времени определяется из соотношения:

$$\Omega \geq \sum_{l=1}^{k-1} \min\{\omega_l', \omega_l''\}, \quad (7)$$

где

$$\omega_l' = \min_{1 \leq j \leq p} \{T_l^\varepsilon - E_{nj}^{\varepsilon, l} + B_{1j}^{\varepsilon, l+1}\}, \quad \omega_l'' = \min_{1 \leq i \leq n} \left\{ \sum_{q=1}^{i-1} t_{q1}^{\varepsilon, l+1} + \sum_{q=i+1}^n t_{qp}^{\varepsilon, l} \right\}, \quad l = \overline{1, k-1}. \quad (8)$$

Здесь ω_l' и ω_l'' представляют собой отрезки максимально допустимого совмещения по оси времени l -й и $(l+1)$ -й диаграмм.

В формуле (7) стоит знак не строгого равенства, так как каждое значение $\min\{\omega_l', \omega_l''\}$, $l = \overline{1, k-1}$, учитывает только величину максимально допустимого совмещения по оси времени между парами соседних диаграмм Ганта, но не всегда учитывает возможные совмещения между подряд идущими группами блоков электроэнергии, передающихся одному и тому же потребителю в двух соседних диаграммах. На рис. 3 и рис. 4 приведен пример, когда имеет место равенство, а на рис. 5 и рис. 6 когда имеет место неравенство.

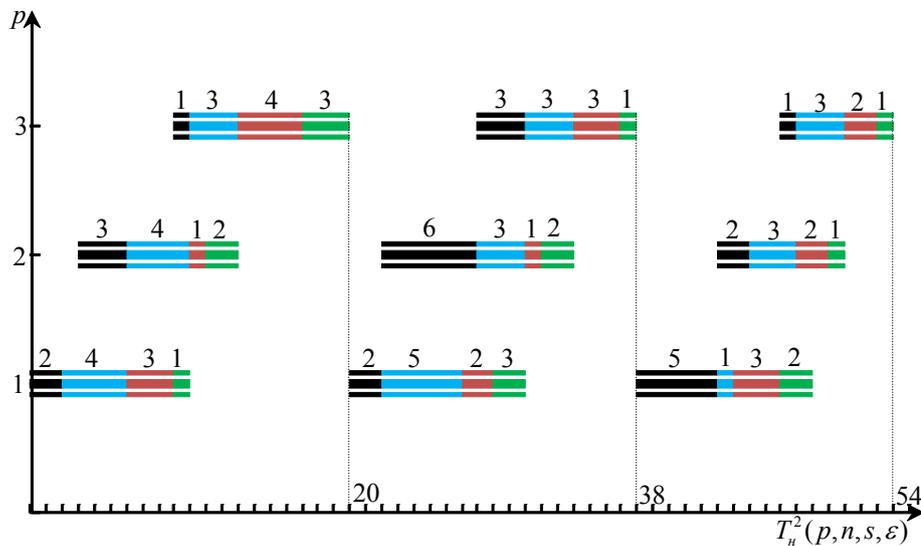


Рисунок 5. – Несовмещенная диаграмма Ганта

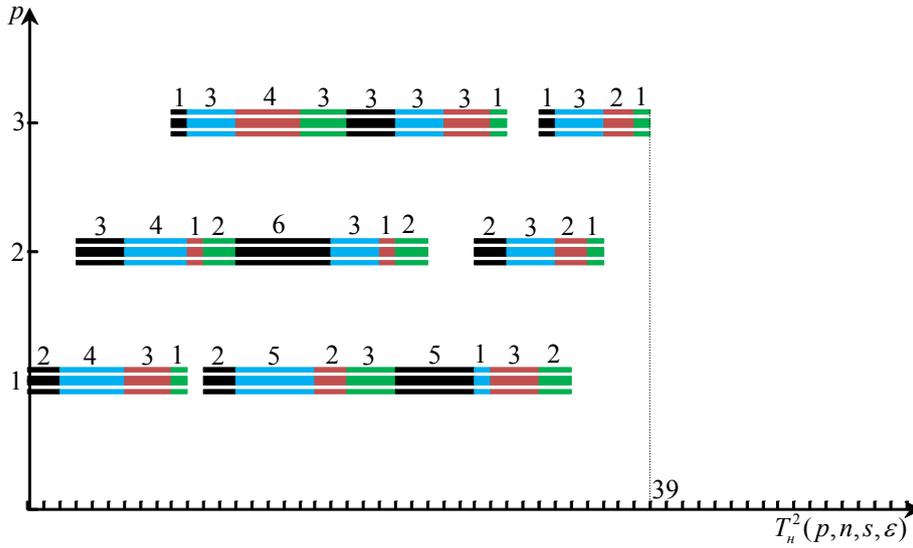


Рисунок 6. – Совмещенная диаграмма Ганта

С учетом исходных данных, приведенных на рис. 3 и рис. 4, а также формул (7) и (8) леммы величина Ω принимает точное значение, равное:

$$\Omega = \sum_{l=1}^2 \min\{\omega_l', \omega_l''\} = \min\{4, 4\} + \min\{5, 4\} = 8,$$

$$\text{так как } \omega_1' = \min_{1 \leq j \leq 3}\{4, 5, 5\} = 4, \quad \omega_1'' = \min_{1 \leq i \leq 4}\{4, 4, 6, 5\} = 4, \quad \omega_2' = \min_{1 \leq j \leq 3}\{5, 6, 9\} = 5,$$

$$\omega_2'' = \min_{1 \leq i \leq 4}\{4, 5, 7, 9\} = 4.$$

С учетом исходных данных, приведенных на рис. 5 и рис. 6, величина Ω также определяется из неравенства (7) и равна 14 единицам времени. Но, учитывая возможное совмещение групп блоков второй и первой диаграмм, передающихся первому потребителю, появляется дополнительный резерв времени в 1 единицу для последующего совмещения третьей и второй диаграмм. В результате величина Ω суммарного максимально допустимого совмещения составит 15 единиц времени.

Подставляя далее значение T_l^ϵ из (3) в (6) и в силу леммы, получаем оценку для вычисления $T_n^2(p, n, kp, \epsilon)$ вида:

$$T_n^2(p, n, kp, \epsilon) \leq \sum_{l=1}^k T_l^\epsilon - \sum_{l=1}^{k-1} \min\{\omega_l', \omega_l''\}. \quad (9)$$

Для случая, когда S не кратно p , т. е. $s = kp + r$, $k \geq 1$, $1 \leq r < p$, общее время $T_n^2(p, n, kp + r, \epsilon)$ передачи n источниками электрической энергии p потребителям в условиях второго синхронного режима определяется по формуле:

$$T_n^2(p, n, kp + r, \epsilon) \leq \sum_{l=1}^k T_l^\epsilon + T_{k+1}^\epsilon - \sum_{l=1}^{k-1} \min\{\omega_l', \omega_l''\} - \min\{\omega_k', \omega_k''\}, \quad (10)$$

где T_{k+1}^ϵ , ω_k' , ω_k'' находятся по формулам:

$$T_{k+1}^\epsilon = \sum_{j=1}^{r-1} \max_{1 \leq v \leq n} \left[\sum_{i=1}^v t_{ij}^{\epsilon, k+1} - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i, j+1}^{\epsilon, k+1} \right] + \sum_{i=1}^n t_{ir}^{\epsilon, k+1}, \quad (11)$$

$$\omega_k' = \min_{1 \leq j \leq r} \{T_k^\varepsilon - E_{nj}^{\varepsilon,k} + B_{1j}^{\varepsilon,k+1}\}, \quad \omega_k'' = \min_{1 \leq i \leq n} \left\{ \sum_{q=1}^{i-1} t_{q1}^{\varepsilon,k+1} + \sum_{q=i+1}^n t_{qp}^{\varepsilon,k} \right\}. \quad (12)$$

Теорема. В условиях взаимодействия источников распределенной генерации электроэнергии с конечными потребителями во втором синхронном режиме, для любых параметров интеллектуальной масштабируемой неоднородной микросети $p \geq 2$, $n \geq 2$, $s \geq 2$, $\varepsilon > 0$, минимальное общее время $T_n^2(p, n, s, \varepsilon)$ передачи электрической энергии определяется по формулам:

$$T_n^2(p, n, s, \varepsilon) = \sum_{j=1}^{s-1} \max_{1 \leq v \leq n} \left[\sum_{i=1}^v t_{ij}^\varepsilon - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i,j+1}^\varepsilon \right] + \sum_{i=1}^n t_{is}^\varepsilon \quad \text{при } s = p,$$

$$T_n^2(p, n, s, \varepsilon) = kT_n^2(s, n, s, \varepsilon) + kT_n^2(1, n, 1, \varepsilon) + T_n^2(r, n, r, \varepsilon) \quad \text{при } s < p,$$

$$T_n^2(p, n, s, \varepsilon) \leq \begin{cases} \sum_{l=1}^k T_l^\varepsilon - \sum_{l=1}^{k-1} \min\{\omega_l', \omega_l''\}, & \text{при } s = kp, \quad k > 1, \\ \sum_{l=1}^k T_l^\varepsilon + T_{k+1}^\varepsilon - \sum_{l=1}^{k-1} \min\{\omega_l', \omega_l''\} - \min\{\omega_k', \omega_k''\}, \\ \text{при } s = kp + r, \quad k \geq 1, \quad 1 \leq r < p, \end{cases}$$

где $T_n^2(s, n, s, \varepsilon)$, $T_n^2(1, n, 1, \varepsilon)$ и $T_n^2(r, n, r, \varepsilon)$ определяются по формулам (3), T_l^ε – по формуле (4), ω_l' и ω_l'' – по формулам (8), T_{k+1}^ε – по формуле (11), ω_k' и ω_k'' – по формулам (12).

В заключении хотелось бы отметить, что создание современных энергетических систем представляет собой довольно сложную научно–техническую проблему, решение которой связано с разработкой архитектур параллельных систем, созданием системного и прикладного программного обеспечения, развитием алгоритмов и численных методов, математическим моделированием функционирования параллельных систем с целью анализа эффективности и оптимальности их функционирования.

В настоящее время в этой области ведутся интенсивные исследования. Однако, понимание ряда аспектов, связанных с параллельными системами, находятся на интуитивном уровне. Это трудные в математическом отношении проблемы по расчету оптимальных характеристик как самих параллельных энергетических систем, так и характеристик оптимальной организации большого числа одновременно взаимодействующих параллельных процессов, вопросы границ эффективности применения методов распараллеливания, количественная и качественная оценка различных стратегий управления параллельными процессами, включая проблемы синхронизации, проблемы создания эффективных параллельных алгоритмов и соответствующего программного обеспечения с учетом характеристик конкретных энергетических систем параллельной обработки данных и др.

Список использованных источников

1. 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.
2. 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.

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

4. Kovalenko N.S., Pavlov P.A. Optimal Grouping Algorithm of Identically Distributed Systems / N.S. Kovalenko, P.A. Pavlov // Programming and Computer Software. – 2012. – Vol.38, №3. – PP. 143–150.

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Антипов Е.А. Оценка влияния сопротивления ограждающих конструкций на эффективность работы системы «REFLOW».....	3
Бусько М.М. Модель нарушителя информационной безопасности на основе нечетких множеств.....	7
Володько Л.П., Володько О.В. Цифровизация банковского бизнеса.....	11
Грищенко В.А. Энергоэффективная система автоматизации управления холодильной установкой с использованием нечеткого регулятора.....	15
Коваленко Н.С., Павлов П.А. Модель сосредоточенной обработки неоднородных процессов в системах макроконвейерного типа.....	18
Котов Б.И., Грищенко В.А. Функционирование трубчатых электрофильтров для очистки воздушных потоков вентиляционных выбросов от пыли.....	23
Митянок В.В. О генерировании искусственных слов речи человека.....	26
Мусафиров Э.В. О допустимых возмущениях обобщенной системы Лэнгфорда в одном случае.....	28
Павлов П.А., Штепа В.Н. Модель непрерывного обеспечения электрической энергией конечных потребителей.....	31
Трач И.А. Моделирование динамики численности охотничьих млекопитающих с использованием логистических рекуррентных уравнений.....	40
Шворов С.А., Пасичник Н.А., Цигулев И.Т., Давыденко Т.С., Юхименко А.С. Интеллектуальная система управления процессами мониторинга, сбора и переработки растительной биомассы в биогазовых установках.....	44
Yakymenko I., Lysenko V. Intelligent energy-efficient automatic control system of microclimate in greenhouses.....	47

ИНЖИНИРИНГ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Говорко А.В., Карпук А.А. Новые задачи управления использованием радиочастотного спектра.....	50
Карпук А.А., Говорко А.В. Пути решения новых задач управления использованием радиочастотного спектра.....	53
Киктев Н.А. Концептуальные основы создания информационно-управляющей системы оценки качества электрической энергии на агропромышленных предприятиях.....	56
Кисель Т.В. Оптимизация работы приемной комиссии вуза.....	60
Клаченков В.А., Минюк О.Н. Анализ атак на локально-вычислительную сеть.....	63
Chochowski A., Ладанюк А.П., Лысенко В.Ф., Решетюк В.М., Болбот И.М. Smart системы автоматизации сложных биотехнических объектов.....	66
Пигаль А.С., Пигаль П.Б. Современные подходы использования ИКТ в системе образования на примере Полесского государственного университета.....	69
Сидская О.В. Банковская сфера как цифровая экосистема.....	73

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ АКВАКУЛЬТУРЫ И ПЕРЕРАБОТКИ ЕЕ ПРОДУКЦИИ

Астренков А.В., Литвинчук К.Г., Лихота В. Ю. Подращивание личинок европейской щуки (<i>Esox Lucius L., 1758</i>) в заводских условиях.....	76
Барулин Н.В., Жарикова А.О., Воробьев А.О. Влияние фульвовой кислоты на выживаемость, жизнестойкость и поведение личинок модельного объекта данио рерио в эксперименте <i>in vivo</i>	78
Барулин Н.В., Воробьев А.О., Жарикова А.О. Влияние кормовой добавки «Купрум-Актив» на выживаемость и поведение личинок модельного объекта данио рерио в эксперименте <i>in vivo</i>	81
Барулин Н.В., Шумский К.Л. Разработка оптимальных технологических параметров краткосрочного хранения спермы осетровых рыб.....	83

Бех В.В., Марценюк В.П. Апробация Антонино-зозулинецких внутривидовых типов украинских пород карпа.....	86
Бубырь И.В., Лихота В.Ю. Коптильный дым – как фактор, формирующий качество копченой рыбопродукции.....	89
Дмитрович Н.П., Козлова Т.В., Козлов А.И., Кузнецов Н.А., Нестерук Е.В. Новые компоненты комбикормов для молоди осетровых и сомовых рыб.....	93
Коваленко Б.Ю., Коваленко В.А., Шарило Д.Ю. Выживаемость клариевого сома (<i>Clarias gariepinus</i>) на ранних стадиях при кормлении с добавлением препарата Чиктоник.....	97
Козлова Т.В., Козлов А.И., Дмитрович Н.П. Садки усовершенствованной конструкции для выращивания ценных видов рыб.....	99
Кошак Ж.В. Влияние режимов экструдирования на биологическую ценность и структурно-механические свойства комбикормов для осетровых рыб.....	102
Лихота В.Ю., Хмель О.А., Литвинчук К.Г. Дуальная подготовка студентов в области переработки рыбной продукции в Полесском государственном университете.....	106
Трунова И.А., Мальцев А.Ф., Литвин В.Н. Влияние экологических факторов на развитие рыбного хозяйства Украины.....	107
Цвирко Л.С. Природные очаги описторхоза в бассейне Днепра (Днепровский очаг с притоками Припять, Березина, Сож).....	110
Шумак В.В. Моделирование выращивания сеголетков карпа на естественной кормовой базе пруда.....	114
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СРЕДЫ: ДОСТИЖЕНИЯ, ИННОВАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ	
Алексейченко Н.А., Гатальская Н.В., Мавко М.С. Обзор методики оценки колорита ландшафта.....	118
Блох В.Г., Чигрин Н.А. Ландшафтная реновация исторических парков Припятского Полесья.....	121
Василинич Т.Н. Исследование регенерации концентрированных аммонийных растворов с городских стоков.....	124
Вишневский В.И., Шевчук С.А. Влияние хозяйственной деятельности на сток реки Стырь..	127
Волкова В.В. Композиционно-пространственная организация территорий экологических парков.....	130
Глебова Ю.А., Марценюк Н.А. Добыча и потребление водных биоресурсов в Украине.....	133
Кравець Н.М., Трач И.А. Применение природных сорбентов в технологии очистки сточных вод.....	135
Пасичник Н.А., Шворов С.А., Опрышко А.А. Перспективные технологии спутникового мониторинга для организации мониторинга состояния почвы земель сельскохозяйственного назначения.....	140
Сакалова Г.В. Использование глинистых сорбционных материалов в технологиях производства кожи и меха.....	143
Скрипчук П.М., Шпак Г.Н. Бизнес-проект полного жизненного цикла переработки органических отходов.....	146
Товстыка В.С. Модернизация трактора «Беларус-922» с целью улучшения его топливной экономичности и экологических показателей при работе на дизельном топливе с добавлением рапсового масла.....	148
Трохименко А.Г., Грушина О.Г., Маринец А. Н. Повышение экологической культуры сельскохозяйственного производства за счет внедрения инновационных технологий.....	152
Ущатовский Д.Ю., Линючева О.В., Редько Р.М., Подвашецкий Г.Ю., Куроченко Т.А. Коррозионный синтез сульфидов никеля – перспективных электродных материалов возобновляемых источников электроэнергии.....	157
Черныш Е.Ю., Штепа В.Н. Комбинирование биологических процессов и АОПс при очистке сточных вод.....	159
УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И КЛИМАТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ	
Аксенчик Н.В. Информационно-образовательная среда современного университета.....	163
Коломиец С.С., Диденко Н.А., Даниленко Ю. Ю., Белобровая А.С. Применение	165

принципов синергетики для адаптации агроландшафтов Полесья к глобальным изменениям климата.....	
Корнус А.А. Волны тепла и климатический менеджмент городов.....	168
Кузьмич Л.В., Воропай Г.В., Шевчук С.А., Усатый С.В., Козицкий О.Н., Мозоль Н.В. Влияние изменений климата на состояние мелиоративного фонда украинского Полесья на примере осушительной системы «Марьяновка».....	171
Марценюк Н.А. Влияние климата на состояние ихтиофауны водоемов Украины.....	175
Олейник Ю.А., Чмиль А.И. Алгоритм технологического процесса электроимпульсной обработки отходов свинокомплексов.....	178
Штепа А.Г. Деятельность центра управления климатом по обеспечению экологической безопасности.....	180

Научное издание

МАТЕРИАЛЫ

I международной заочной научно–практической конференции
“Инжиниринг: теория и практика”

Полесский государственный университет,
г. Пинск, Республика Беларусь,
26 марта 2021 г.

За содержание и достоверность информации
в материалах сборника отвечают авторы

Формат 60×84/8 Гарнитура Times
Усл. печ. л. 21,6. Уч.–изд.л. 13,73.