

МИНИСТЕРСТВО ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ БАНК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКАЯ НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ АССОЦИАЦИЯ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ МИНИСТЕРСТВА ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

# Проблемы прогнозирования и государственного регулирования социально-экономического развития

Материалы IX Международной научной конференции  
(Минск, 16–17 октября 2008 г.)

В четырех томах

Том 1

Минск  
НИЭИ МИНИСТЕРСТВА ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
2008

УДК [338.1+316.42](476)(043.2)

ББК 65+60.5

П78

Редакционная коллегия:

**Полоник С.С.**, доктор экон. наук,

**Александрович Я.М.**, доктор экон. наук

**Богданович А.В.**, канд. экон. наук

**Дайнеко А.Е.**, доктор экон. наук

**Пинигин В.В.**, канд. экон. наук

**Крюков Л.М.**, канд. экон. наук

**Кравцов М.К.**, доктор физ.-мат. наук

**Удовенко И.М.**, канд. филос. наук

П78

**Проблемы прогнозирования и государственного регулирования социально-экономического развития: материалы IX Междунар. науч. конф. (Минск, 16–17 окт. 2008 г.): В 4 т. Т. 1 / Редкол.: С.С. Полоник [и др.].** – Мн.: НИЭИ Мин-ва экономики Респ. Беларусь, 2008. – 552 с.

ISBN 978-985-6762-41-6 (т. 1)

В издании представлены материалы по проблемам государственного регулирования и прогнозирования социально-экономического развития Республики Беларусь, Российской Федерации, Украины, Латвии и Польши.

В докладах и рекомендациях участников конференции отражены вопросы стратегического и инновационного развития, продовольственной безопасности и безопасности социальных систем, качества жизни населения, инновационно-инвестиционной, региональной и внешнеэкономической политики, математического моделирования.

УДК [338.1+316.42](476)(043.2)

ББК 65+60.5

ISBN 978-985-6762-41-6 (т. 1)

ISBN 978-985-6762-37-9

© НИЭИ Минэкономики Республики Беларусь, 2008

## ОРГАНИЗАЦИЯ СИНХРОННОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПОТОЧНЫХ ЛИНИЯХ

**Коваленко Н.С.,**

*доктор физико-математических наук, профессор,  
Белорусский государственный экономический университет,*

**Кляус П.С.,**

*кандидат физико-математических наук,  
КУП «Минскхлебпром»,*

**Павлов П.А.,**

*кандидат физико-математических наук,  
Полесский государственный университет, г. Пинск*

В работах [1, 2] в рамках математической модели организации распределенной обработки конкурирующих процессов введены и исследованы асинхронный и первый синхронный режимы взаимодействия процессов, интеллектуальных исполнителей и блоков используемого структурированного ресурса. Показано, что параллельную систему распределенных процессов можно рассматривать как некоторый агрегированный процесс, получаемый путем параллельного объединения его взаимодействующих составляющих; решены задачи определения минимального общего времени реализации множества распределенных кооперативных процессов, конкурирующих за многократно используемый ресурс. При этом применен аппарат теории расписаний и теории сетевых графов [3], что позволило разработать методы нахождения точных значений минимального общего времени выполнения распределенных процессов в параллельных распределенных системах.

В настоящей работе исследуется второй базовый синхронный режим организации конкурирующих процессов [4], который обеспечивает непрерывное использование каждого из блоков структурированного ресурса. Интерес к подобной математической модели инициирован, в частности, изучением процесса доставки хлебопекарной продукции предприятиями КУП «Минскхлебпром». Компьютеризация производственно-сбытовых процессов хлебопекарных предприятий становится заметной современной тенденцией. В логистической цепи хлебопекарных предприятий «производство – отгрузка – доставка» «узкими местами» на стадии отгрузки являются дефицит транспортных средств, очередь на погрузку и дефицит требуемого

ассортимента готовой продукции при наличии невыполненных заявок. Возникающая в связи с этим неопределенность в расписании доставки снижает производительность всей системы товаропроводящей сети. Синхронизация всех стадий транспортно-логистической цепи и ее оптимизация возможны при наличии эффективной автоматизированной информационной поддержки всех производственно-сбытовых процессов предприятия. Предлагаемая математическая модель учитывает цикличность производственно-сбытовых процессов, ограниченность используемых ресурсов и позволяет строить эффективные синхронные расписания на основе легкопрограммируемых алгоритмов.

### Математическая модель распределенных процессов

Как и в работе [1], будем рассматривать процесс как последовательность блоков (команд, наборов действий)  $I_i = (1, 2, \dots, s)$ , для выполнения которых используется множество интеллектуальных исполнителей (процессоров, обрабатывающих устройств, роботов). При этом процесс называется распределенным, если все блоки или часть из них обрабатываются разными интеллектуальными исполнителями. Для ускорения процессы могут обрабатываться параллельно разными устройствами, взаимовлияние которых осуществляется путем обмена информацией. Такие процессы называются кооперативными, или взаимодействующими.

Понятие ресурса используется для обозначения любых объектов параллельной системы. Типичным для подобных систем является многократное выполнение интеллектуальным пользователем одной и той же последовательности команд, которую будем называть *программным ресурсом*, а множество соответствующих процессов – *конкурирующими*.

Предположим, что нижеперечисленные объекты образуют математическую модель конкурирующих распределенных процессов:  $p$ ,  $p \geq 2$ , интеллектуальных клиентов;  $n$ ,  $n \geq 2$ , распределенных конкурирующих процессов;  $s$ ,  $s \geq 2$ , блоков структурированного программного ресурса; матрицу  $T = [t_{ij}]$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, s}$ , времен выполнения блоков процессами. Введем в рассмотрение параметр  $\varepsilon > 0$ , характеризующий накладные расходы, затрачиваемые на организацию параллельного выполнения блоков программного ресурса множеством конкурирующих процессов [4].

Взаимодействие обрабатывающих устройств, процессов и блоков программного ресурса подчинено следующим условиям, которые определяют *второй синхронный режим* [5], обеспечивающий непрерывное выполнение каждого блока всеми процессами: ни один из блоков программного ресурса не может обрабатываться одновременно более чем одним интеллектуальным клиентом; ни один из интеллектуальных клиентов не может обрабатывать одновременно более одного блока; обработка каждого блока программного ресурса осуществляется без прерываний; распределение блоков программного ресурса по обрабатывающим устройствам 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  $i$ .

### **Синхронный режим с непрерывным выполнением каждого блока всеми интеллектуальными клиентами**

Интерес представляют задачи, связанные с получением математических соотношений минимального общего времени взаимодействия обрабатывающих устройств, процессов и блоков структурированного программного ресурса.

Система  $n$ -распределенных конкурирующих процессов называется *неоднородной*, если время выполнения блоков программного ресурса  $Q_1, Q_2, \dots, Q_s$  зависит от объемов обрабатываемых данных и/или их структуры.

При  $s = p$  рассматриваемый режим взаимодействия процессов, интеллектуальных клиентов и блоков совпадает с технологией выполнения операций в многостадийной задаче теории расписаний с  $n$  требованиями и  $s$  приборами, когда каждый прибор обслуживает требования непрерывно одно за другим [6]. Следовательно, общее время выполнения неоднородных конкурирующих распределенных процессов  $T_n^2(p, n, s, \varepsilon)$  будет определяться при  $s = p$  функционалом этой задачи. Полагая, что в нем время обслуживания  $i$ -го требования  $j$ -м прибором равно  $t_{ij}^\varepsilon$ , получим

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

где  $t_{ij}^\varepsilon = t_{ij} + \varepsilon$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, s}$ .

Очевидно, что при  $s \leq p$

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

Пусть далее  $s = kp + r$ ,  $k \geq 1$ ,  $1 \leq r < p$ , т. е. число блоков является ограниченным. Тогда произведем разбиение множества блоков на  $k+1$  группу по  $p$  блоков в каждой, за исключением последней, которая может содержать  $r$  блоков, если  $s$  не кратно  $p$ . Это равносильно разбиению исходной матрицы времен выполнения блоков  $[t_{ij}^\varepsilon]$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, s}$  на  $k+1$  подматрицу по  $p$  столбцов в каждой, причем подматрица  $k+1$  в случае, когда  $s$  не кратно  $p$ , будет содержать  $r$  столбцов.

При  $s = kp$ ,  $k > 1$ , рассмотрим  $k$  последовательных диаграмм Ганта, каждая из которых отображает во времени выполнение  $p$  блоков программного ресурса на  $p$  обрабатывающих устройствах всеми  $n$  процессами и воспользуемся приемом их совмещения. Ниже приведены несовмещенная и совмещенная диаграммы Ганта для случая  $n = 4$ ,  $p = 3$ ,  $s = 9$ ; время выполнения блоков указано на диаграммах (рис. 1).

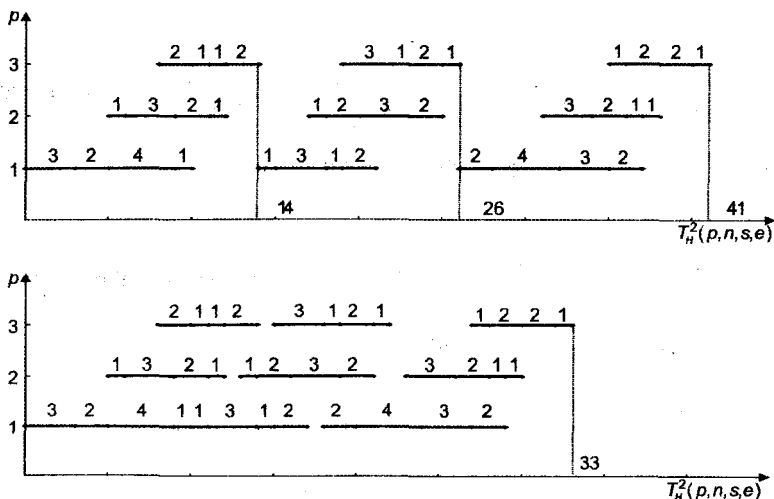


Рис. 1. Диаграммы Ганта для случая  $n = 4$ ,  $p = 3$ ,  $s = 9$

По формуле (1) для вычисления  $T_l^\varepsilon$  получим следующее соотношение:

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

где  $t_{ij}^{\varepsilon, j} = t_{ij}^j + \varepsilon = t_{i, (l-1)p+j} + \varepsilon$  – время выполнения  $i$ -м процессом  $j$ -го блока в  $l$ -й группе блоков с учетом параметра  $\varepsilon$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, p}$ ,  $l = \overline{1, k}$ .

Анализ последовательных диаграмм Ганта показывает, что

$$T_n^2(p, n, s, \varepsilon) = T_n^2(p, n, kp, \varepsilon) = \sum_{l=1}^k T_l^\varepsilon - \Omega, \quad (3)$$

где  $T_l^\varepsilon$  определяется по формуле (2), а величина  $\Omega$  является величиной максимально допустимого суммарного совмещения соседних диаграмм по оси времени  $l$ -й и  $(l+1)$ -й диаграмм. В [7] доказана следующая

*Лемма.* Величина  $\Omega$  максимально допустимого суммарного совмещения соседних диаграмм Ганта по оси времени определяется из соотношения

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

где  $\omega_l' = \min_{1 \leq j \leq p} \{ T_l^\varepsilon - E_{nj}^{\varepsilon, j} + B_{1j}^{\varepsilon, j+1} \}$  и  $\omega_l'' = \min_{1 \leq n \leq n} \left\{ \sum_{q=1}^{i-1} t_{q1}^{\varepsilon, j+1} + \sum_{q=i+1}^n t_{qp}^{\varepsilon, j} \right\}$  – отрезки мак-

симально допустимого совмещения по оси времени.

В последней формуле

$$E_{ij}^{\varepsilon, j} = \sum_{q=1}^{i-1} \max_{1 \leq w \leq p} \left[ \sum_{w=1}^u t_{qw}^{\varepsilon, j} - \sum_{w=1}^{u-1} t_{q+1, w}^{\varepsilon, j} \right] + \sum_{w=1}^j t_{iw}^{\varepsilon, j}$$

– время завершения обработки  $i$ -м процессом  $j$ -го блока в  $l$ -й группе блоков,

$$B_{1j}^{\varepsilon, j+1} = \sum_{w=1}^{j-1} \max_{1 \leq v \leq n} \left[ \sum_{q=1}^v t_{qw}^{\varepsilon, j+1} - \sum_{q=1}^{v-1} t_{q, w+1}^{\varepsilon, j+1} \right]$$

– время начала выполнения  $j$ -го блока первым процессом для  $l$ -й группы блоков,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, p}$ ,  $l = \overline{1, k}$ .

Подставляя значение  $T_i^\varepsilon$  из (2) в (3) и в соответствии с леммой, получаем оценку для вычисления  $T_n^2(p, n, kp, \varepsilon)$  вида

$$T_n^2(p, n, kp, \varepsilon) \leq \sum_{i=1}^k T_i^\varepsilon - \sum_{i=1}^{k-1} \min\{\omega_i^1, \omega_i^2\}.$$

Аналогично в случае  $s = kp + r$ ,  $k \geq 1$ ,  $1 \leq r < p$ , общее время  $T_n^2(p, n, kp + r, \varepsilon)$  определяется по формуле:

$$T_n^2(p, n, kp + r, \varepsilon) \leq \sum_{i=1}^k T_i^\varepsilon + T_{k+1}^\varepsilon - \sum_{i=1}^{k-1} \min\{\omega_i^1, \omega_i^2\} - \min\{\omega_k^1, \omega_k^2\},$$

где  $T_{k+1}^\varepsilon$ ,  $\omega_k^1$ ,  $\omega_k^2$  находятся по формулам:

$$T_{k+1}^\varepsilon = \sum_{j=1}^{r-1} \max_{1 \leq s \leq n} \left[ \sum_{i=1}^s t_{ij}^{\varepsilon, k+1} - \sum_{i=1}^{s-1} t_{i, j+1}^{\varepsilon, k+1} \right] + \sum_{i=1}^n t_{ir}^{\varepsilon, k+1}, \quad (4)$$

$$\omega_k^1 = \min_{1 \leq j \leq r} \{T_k^\varepsilon - E_{nj}^{\varepsilon, k} + B_{1j}^{\varepsilon, k+1}\}, \quad \omega_k^2 = \min_{1 \leq i \leq n} \left\{ \sum_{q=1}^{i-1} t_{qi}^{\varepsilon, k+1} + \sum_{q=i+1}^n t_{qp}^{\varepsilon, k} \right\}. \quad (5)$$

Таким образом, имеет место следующая

**Теорема 1.** В условиях взаимодействия процессов, интеллектуальных клиентов и блоков во втором синхронном режиме для любых  $p \geq 2$ ,  $n \geq 2$ ,  $s \geq 2$ ,  $\varepsilon > 0$ , минимальное общее время выполнения неоднородных распределенных конкурирующих процессов определяется по формулам:

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

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



где  $T_i^\varepsilon$  определяется по формуле (2),  $T_{k+1}^\varepsilon$  – по формуле (4),  $\omega_i$  и  $\omega_i^*$  – по формулам из леммы, а  $\omega_k$  и  $\omega_k^*$  – по формулам (5).

Рассмотрим процедуру нахождения минимального общего времени  $T_n^2(p, n, s, \varepsilon)$  с помощью математического аппарата сетевых дуго-взвешенных графов. При  $s = kp$ ,  $k > 1$ , введем следующие обозначения [6]:

- $t_{ij}^{\varepsilon, l} = t_{ij}^l + \varepsilon = t_{i, (l-1)p+j} + \varepsilon$  – время выполнения  $j$ -го блока  $i$ -го процесса в  $l$ -й группе блоков с учетом параметра  $\varepsilon$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, p}$ ,  $l = \overline{1, k}$ ;
- $T_j^{\varepsilon, l}$  – суммарная длительность выполнения  $j$ -го блока в  $l$ -й группе блоков всеми  $n$  процессами,  $j = \overline{1, p}$ ,  $l = \overline{1, k}$ ;
- $\Delta_j^{\varepsilon, l}$  – время задержки начала выполнения  $(j+1)$ -го блока по отношению к  $j$ -му блоку для первого процесса в  $l$ -й группе блоков,  $j = \overline{1, p-1}$ ,  $l = \overline{1, k}$ ;
- $\Delta_p^{\varepsilon, l}$  – время задержки начала выполнения первого блока в  $(l+1)$ -й группе по отношению к  $p$ -му блоку в  $l$ -й группе,  $l = \overline{1, k-1}$ .

В силу того, что рассматриваемый режим распределенной обработки обеспечивает непрерывное выполнение каждого блока программного ресурса всеми процессами, и с учетом введенных выше обозначений имеют место следующие соотношения:

$$T_j^{\varepsilon, l} = \sum_{i=1}^n t_{ij}^{\varepsilon, l}, \quad j = \overline{1, p}, \quad l = \overline{1, k}, \quad (6)$$

$$\Delta_j^{\varepsilon, l} = \max_{1 \leq v \leq n} \left[ \sum_{i=1}^v t_{ij}^{\varepsilon, l} - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i, j+1}^{\varepsilon, l} \right], \quad j = \overline{1, p-1}, \quad l = \overline{1, k}, \quad (7)$$

$$\Delta_p^{\varepsilon, l} = \max_{1 \leq v \leq n} \left[ \sum_{i=1}^v t_{ip}^{\varepsilon, l} - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i, l}^{\varepsilon, l+1} \right], \quad l = \overline{1, k-1}. \quad (8)$$

При  $s = kp + r$ ,  $k \geq 1$ ,  $1 \leq r < p$ , в формуле (6)  $l = \overline{1, k+1}$ , причем  $j$  при  $l = k+1$  изменяется от 1 до  $r$ . Формула (7) для первых  $k$  групп блоков имеет тот же вид, но при  $l = k+1$   $j$  изменяется от 1 до  $r-1$ . В формуле (8)  $l = \overline{1, k}$ .

Далее строим сетевой дуго-взвешенный граф специального вида  $G_2^c$  (рис. 2) следующим образом [7]. Вершины графа расположим в узлах прямоугольной решетки размерности  $(k+2) \times p$ . Каждая из вершин графа,

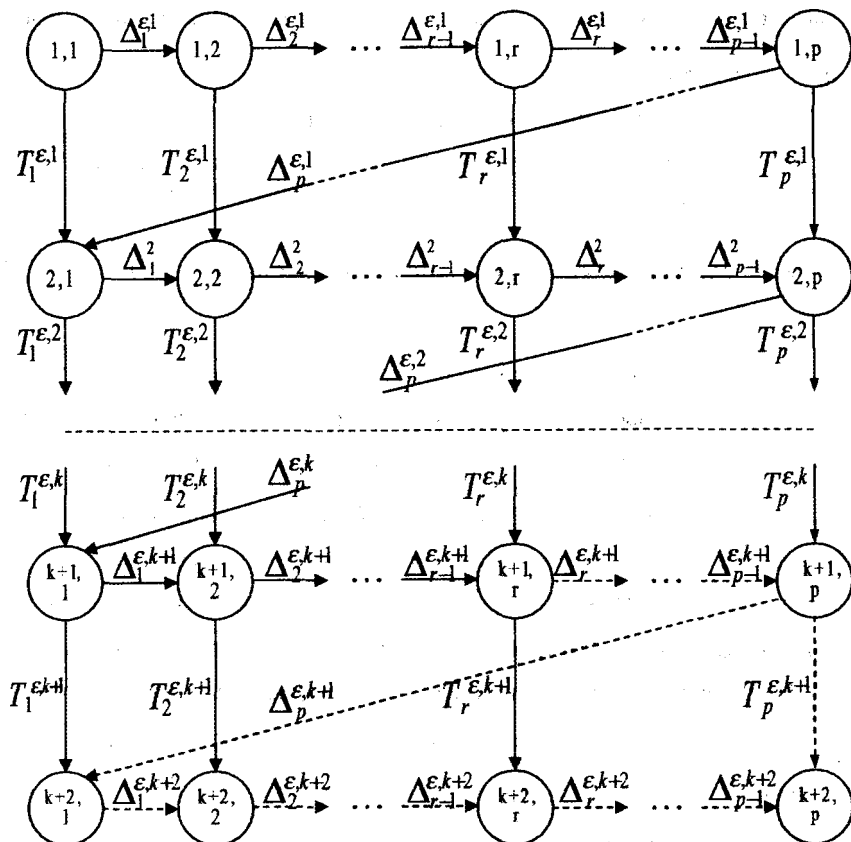


Рис. 2. Сетевой дуго-взвешенный граф специального вида

за исключением  $p$  заключительных вершин, из них  $p-r$  находятся на  $(k+1)$ -м уровне и  $r$  — на  $(k+2)$ -м, определяет момент старта  $j$ -го блока в  $l$ -й группе блоков,  $j = \overline{1, p}$ ,  $l = \overline{1, k}$ , а для  $(k+1)$ -го уровня —  $j = \overline{1, r}$ . При этом на  $(k+2)$ -м уровне граф  $G_2^c$  будет содержать  $p-r$  фиктивных вершин. Заключительные висячие вершины определяют моменты завершения выполнения процессов.

Пронумеруем вершины графа  $G_2^c$  парой чисел, первое из которых означает номер группы блоков (1, 2, ...,  $k+2$ ), а второе — номер блока первого процесса в этой группе (1, 2, ...,  $p$ ).

Вершины в графе соединим дугами трех типов:

- горизонтальными дугами соединим вершины  $(l, j)$  и  $(l, j+1)$ ,  
 $l = \overline{1, k+2}$ ,  $j = \overline{1, p}$ ;
- вертикальными дугами соединим вершины  $(l, j)$  и  $(l+1, j)$ ,  
 $l = \overline{1, k+2}$ ,  $j = \overline{1, p}$ ;
- наклонными дугами соединим вершины  $(l, p)$  и  $(l+1, 1)$ ,  $l = \overline{1, k+1}$ .

Горизонтальным дугам припишем время задержек начала выполнения  $(j+1)$ -го блока по отношению к  $j$ -му блоку для первого процесса в каждой из  $l$  групп блоков,  $j = \overline{1, p-1}$ ,  $l = \overline{1, k}$ , которые вычисляются по формулам (7). При этом горизонтальным дугам, соединяющим соседние вершины, начиная с  $(k+1, r)$  и до  $(k+1, p)$  на  $(k+1)$ -м уровне, и всем горизонтальным дугам на  $(k+2)$ -м уровне припишем нулевую длительность.

Вертикальным дугам припишем суммарные длительности выполнения  $j$ -го блока в  $l$ -й группе блоков всеми  $n$  процессами,  $j = \overline{1, p}$ ,  $l = \overline{1, k}$ , которые вычисляются по формулам (6) с учетом того, что при  $l = k+1$   $j = \overline{1, r}$ . При этом вертикальным дугам, выходящим из вершин  $(k+1)$ -го уровня, начиная с вершины  $(k+1, r+1)$ , припишем нулевую длительность.

Наклонным дугам припишем время задержек начала выполнения первого блока в  $(l+1)$ -й группе по отношению к  $p$ -му блоку в  $l$ -й группе,  $l = \overline{1, k}$ , которые вычисляются по формулам (8). При этом наклонной дуге  $((k+1, p), (k+2, 1))$  припишем нулевую длительность.

Построенный таким образом сетевой дуго-взвешенный граф  $G_2^c$  полностью отображает во времени выполнение  $n$  конкурирующих процессов на  $p$  устройствах во втором синхронном режиме с непрерывным выполнением каждого из блоков программного ресурса всеми процессами.

Таким образом, имеет место следующая

**Теорема 2.** Если взаимодействие процессов, обрабатывающих устройств и блоков программного ресурса подчинено условиям второго синхронного режима, то минимальное общее время  $T_n^2(p, n, s, \varepsilon)$  выполнения  $n$ ,  $n \geq 2$ , распределенных конкурирующих процессов на  $p$ ,  $p \geq 2$ , устройствах при  $s = kp + r$ ,  $k \geq 1$ ,  $1 \leq r < p$ , определяется длиной критического пути в сетевом дуго-взвешенном графе  $G_2^c$  из начальной  $(1, 1)$  в заключительную вершину  $(k+2, p)$ .

*Пример.* Пусть  $p = 3$ ,  $n = 4$ ,  $s = 8$ , а время выполнения блоков программного ресурса заданы матрицей

$$T^e = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 2 & 1 & 1 & 4 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 1 & 3 & 2 & 1 & 4 & 2 \\ 4 & 2 & 1 & 1 & 3 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Вычислим минимальное общее время  $T_n^2(p, n, s, \varepsilon)$  выполнения множества неоднородных распределенных конкурирующих процессов во втором синхронном режиме.

В данном примере  $s = kp + r$ ,  $k = 2$ ,  $r = 2$ . Вычислим с помощью формул (6)–(8) значения  $T_j^{\varepsilon,l}$ ,  $\Delta_j^{\varepsilon,l}$ ,  $\Delta_p^{\varepsilon,l}$ :

$$T_j^{\varepsilon,l} = \sum_{i=1}^4 t_{ij}^{\varepsilon,l}, \quad j = \overline{1,3}, \quad l = \overline{1,3},$$

$$T_1^{\varepsilon,1} = \sum_{i=1}^4 t_{i1}^{\varepsilon,1} = 10, \quad T_2^{\varepsilon,1} = \sum_{i=1}^4 t_{i2}^{\varepsilon,1} = 7, \quad T_3^{\varepsilon,1} = \sum_{i=1}^4 t_{i3}^{\varepsilon,1} = 6,$$

$$T_1^{\varepsilon,2} = \sum_{i=1}^4 t_{i1}^{\varepsilon,2} = 7, \quad T_2^{\varepsilon,2} = \sum_{i=1}^4 t_{i2}^{\varepsilon,2} = 8, \quad T_3^{\varepsilon,2} = \sum_{i=1}^4 t_{i3}^{\varepsilon,2} = 8,$$

$$T_1^{\varepsilon,3} = \sum_{i=1}^4 t_{i1}^{\varepsilon,3} = 7, \quad T_1^{\varepsilon,3} = \sum_{i=1}^4 t_{i1}^{\varepsilon,3} = 11.$$

$$\Delta_j^{\varepsilon,l} = \max_{1 \leq v \leq 4} \left[ \sum_{i=1}^v t_{ij}^{\varepsilon,l} - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i,j+1}^{\varepsilon,l} \right], \quad j = 1, 2, \quad l = \overline{1,3},$$

$$\Delta_1^{\varepsilon,1} = \max_{1 \leq v \leq 4} \left[ \sum_{i=1}^v t_{i1}^{\varepsilon,1} - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i2}^{\varepsilon,1} \right] = 5,$$

$$\Delta_2^{\varepsilon,1} = \max_{1 \leq v \leq 4} \left[ \sum_{i=1}^v t_{i2}^{\varepsilon,1} - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i3}^{\varepsilon,1} \right] = 3,$$

$$\Delta_1^{\varepsilon,2} = \max_{1 \leq v \leq 4} \left[ \sum_{i=1}^v t_{i1}^{\varepsilon,2} - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i2}^{\varepsilon,2} \right] = 3,$$

$$\Delta_2^{\varepsilon,2} = \max_{1 \leq v \leq 4} \left[ \sum_{i=1}^v t_{i2}^{\varepsilon,2} - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i3}^{\varepsilon,2} \right] = 1,$$

$$\Delta_1^{\varepsilon,3} = \max_{1 \leq v \leq 4} \left[ \sum_{i=1}^v t_{i1}^{\varepsilon,3} - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i2}^{\varepsilon,3} \right] = 5.$$

$$\Delta_3^{\varepsilon,l} = \max_{1 \leq v \leq 4} \left[ \sum_{i=1}^v t_{i3}^{\varepsilon,l} - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i1}^{\varepsilon,l+1} \right], \quad l=1,2,$$

$$\Delta_3^{\varepsilon,1} = \max_{1 \leq v \leq 4} \left[ \sum_{i=1}^v t_{i3}^{\varepsilon,1} - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i1}^{\varepsilon,2} \right] = 2,$$

$$\Delta_3^{\varepsilon,2} = \max_{1 \leq v \leq 4} \left[ \sum_{i=1}^v t_{i3}^{\varepsilon,2} - \sum_{i=1}^{v-1} t_{i1}^{\varepsilon,3} \right] = 4.$$

Строим результирующий сетевой дуго-взвешенный граф (рис. 3).

Горизонтальным, вертикальным и наклонным дугам этого графа припишем соответственно значения  $T_j^{\varepsilon,l}$ ,  $\Delta_j^{\varepsilon,l}$  и  $\Delta_p^{\varepsilon,l}$ . Длина критического пути в построенном сетевом графе равна 30 единицам (дуги, через которые проходит критический путь, выделены). Следовательно, минимальное общее время выполнения четырех процессов на трех обрабатывающих устройствах во втором синхронном режиме при числе блоков  $s = 8$  составляет 30 единиц.

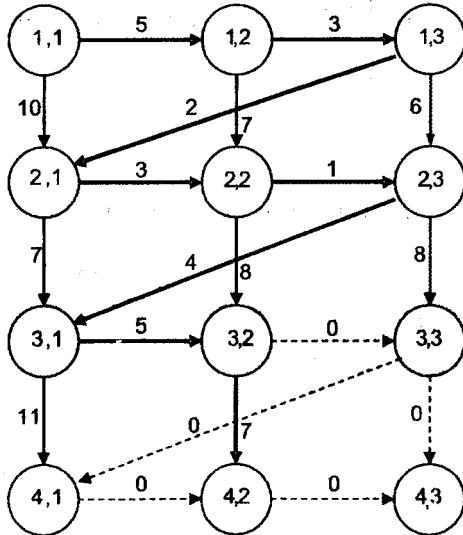


Рис. 3. Результирующий сетевой дуго-взвешенный граф

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

Пусть далее система процессов является распределенной, *однородной* относительно структурированного программного ресурса. Обозначим через  $T_o^2(p, n, s, \varepsilon)$  – минимальное общее время выполнения  $n$  процессов  $p$  интеллектуальными клиентами.

*Следствие 1.* В условиях взаимодействия процессов, обрабатывающих устройств и блоков во втором синхронном режиме для любых  $p \geq 2$ ,  $n \geq 2$ ,  $s \geq 2$  и  $\varepsilon > 0$ , минимальное общее время выполнения однородных распределенных конкурирующих процессов определяется по формулам

$$T_o^2(p, n, s, \varepsilon) = \sum_{j=1}^s t_j^\varepsilon + (n-1) \left[ t_s^\varepsilon + \sum_{j=2}^s \max \{t_{j-1}^\varepsilon - t_j^\varepsilon, 0\} \right] \text{ при } s \leq p,$$

$$T_o^2(p, n, s, \varepsilon) \leq \begin{cases} \sum_{l=1}^k T_l^\varepsilon - \sum_{l=1}^{k-1} \min \{\psi_l, \psi_l''\} \text{ при } s = kp, k > 1; \\ \sum_{l=1}^k T_l^\varepsilon + T_{k+1}^\varepsilon - \sum_{l=1}^{k-1} \min \{\psi_l, \psi_l''\} - \min \{\psi_k, \psi_k''\} \\ \text{при } s = kp + r, k \geq 1, 1 \leq r < p, \end{cases}$$

где значения  $T_l^\varepsilon$ ,  $T_{k+1}^\varepsilon$  вычисляются соответственно по формулам (2), (4),

$$\text{а } \psi_l' = \min_{1 \leq j \leq p} \{T_l^\varepsilon + E_j^{\varepsilon, l-1} - n t_j^{\varepsilon, l-1} - E_j^{\varepsilon, l}\}, \psi_l'' = (n-1) \min \{t_1^{\varepsilon, l-1}, t_p^{\varepsilon, l}\}, l = \overline{1, k-1},$$

$$T_l^\varepsilon = \sum_{j=1}^p t_j^{\varepsilon, l} + (n-1) \left[ t_p^{\varepsilon, l} + \sum_{j=2}^p \max \{t_{j-1}^{\varepsilon, l} - t_j^{\varepsilon, l}, 0\} \right], l = \overline{1, k},$$

$$E_j^{\varepsilon, l} = \sum_{w=1}^l t_w^{\varepsilon, j} + (n-1) \left[ t_j^{\varepsilon, l} + \sum_{w=2}^l \max \{t_{w-1}^{\varepsilon, j} - t_w^{\varepsilon, j}, 0\} \right], j = \overline{1, p}, l = \overline{1, k},$$

$$\psi_k' = \min_{1 \leq j \leq p} (T_k^\varepsilon + E_j^{\varepsilon, k+1} - n t_j^{\varepsilon, k+1} - E_j^{\varepsilon, k}), \psi_k'' = (n-1) \min \{t_1^{\varepsilon, k-1}, t_p^{\varepsilon, k}\}.$$

Систему конкурирующих процессов будем называть *одинаково распределенной*, если время  $t_{ij}$  выполнения блоков  $Q_j$ ,  $j = \overline{1, s}$ , программного ресурса каждым из  $i$ -х процессов совпадает и равно  $t_i$  для всех  $i = \overline{1, n}$ , т. е. справедлива цепочка равенств  $t_{i1} = t_{i2} = \dots = t_{is} = t_i$  для всех  $i = \overline{1, n}$ .

Для системы одинаково распределенных конкурирующих процессов имеет место

*Следствие 2.* Если взаимодействие процессов, обрабатывающих устройств и блоков подчинено условиям второго базового синхронного режима, то для любых  $p \geq 2$ ,  $n \geq 2$ ,  $s \geq 2$ ,  $\varepsilon > 0$ , минимальное общее время выполнения  $n$  одинаково распределенных конкурирующих процессов определяется по формулам:

$$T_{op}^2(p, n, s, \varepsilon) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n t_i^\varepsilon + (s-1) \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon, & s \leq p, \\ k \sum_{i=1}^n t_i^\varepsilon + (p-1) \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon, & s = kp, k > 1, \\ (k+1) \sum_{i=1}^n t_i^\varepsilon + (r-1) \max_{1 \leq i \leq n} t_i^\varepsilon, & s = kp + r, k \geq 1, 1 \leq r < p. \end{cases}$$

Предложенные методы и формулы позволяют составить расписание моментов запуска и окончания каждого из конкурирующих процессов, и тем самым не только эффективно решить проблему синхронизации процессов на поточных линиях, но и существенно минимизировать накладные расходы, непроизводительные простои интеллектуальных исполнителей, общее время процессов обслуживания требований на отгрузку продукции торговым посредникам КУП «Минскхлебпром», время ожидания в очереди и др. Концепция построения параллельных распределенных систем конкурирующих процессов и их математическая основа будут способствовать эффективной организации процессов различной природы в экономике, медицине, производстве и т.д.

#### Л и т е р а т у р а

1. Коваленко, Н.С., Павлов, П.А. Математическая модель организации производственного процесса на поточных линиях / Н.С. Коваленко, П.А. Павлов



// Проблемы прогнозирования и государственного регулирования социально-экономического развития: матер. VII Межд. науч. конф. Минск, 19–20 окт. 2006 г. – Мн.: НИЭИ Мин-ва экономики Респ. Беларусь, 2007. – С. 326–336.

2. Коваленко, Н.С., Павлов, П.А. Математическая модель параллельных производственных процессов / Н.С. Коваленко, П.А. Павлов // Проблемы прогнозирования и государственного регулирования социально-экономического развития: матер. VIII Межд. науч. конф. Минск, 18–19 окт. 2007 г. – Мн.: НИЭИ Мин-ва экономики Респ. Беларусь, 2007. – С. 408–425.

3. Емеличев, В.А., Ковалев, М.М., Кравцов, М.К. Многогранники, графы, оптимизация / В.А. Емеличев [и др.]. – М.: Наука, 1981. – 342 с.

4. Kapitonova, Yu.V., Kovalenko, N.S., Pavlov, P.A. Optimality of systems of identically distributed competing processes / Kapitonova Yu.V. // Cybernetics and Systems Analysis. – New York: Springer, 2006. – P. 793–799.

5. Капитонова, Ю.В., Кляус, П.С., Коваленко, Н.С. Математическая модель конвейерной организации конкурирующих процессов / Ю.В. Капитонова [и др.] // Докл. АН СССР. – 1987. – Т. 293. № 6. – С. 1320–1324.

6. Танаев, В.С., Сотсков, Ю.Н., Струсевич, В.А. Теория расписаний. Многостадийные системы / В.С. Танаев [и др.]. – М.: Наука, 1989. – 328 с.

7. Коваленко, Н.С., Самаль, С.А. Вычислительные методы реализации интеллектуальных моделей сложных систем / Н.С. Коваленко, С.А. Самаль. – Мн.: Бел. наука, 2004. – 166 с.



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Мясникович М.В.</b> Экономическая безопасность и макроэкономическая стабильность Республики Беларусь в современных условиях .....	3
<b>Старченко Т.М.</b> Развитие механизмов государственного регулирования экономики в современных условиях .....	17
<b>Полоник С.С.</b> Стратегия развития Республики Беларусь до 2025 года .....	25
<b>Гусаков В.Г.</b> Состояние и направления укрепления продовольственной безопасности Беларуси .....	35
<b>Коседовски В.</b> Региональное развитие государств Центрально-Восточной Европы в контексте процесса европейской интеграции .....	46
<b>Федулова Л.И.</b> Научно-технологическая интеграция как фактор повышения технологической конкурентоспособности Украины .....	52
<b>Фатеев В.С.</b> Перспективные направления совершенствования региональной политики и местного самоуправления в Республике Беларусь .....	66
<b>Меньшиков В.В., Лавриненко О.Я.</b> Качество жизни населения как стратегическая цель регионального развития .....	79
<b>Ковтуненко А.Н.</b> Повышение конкурентоспособности экономики Беларуси как наиболее эффективный путь смягчения воздействия мирового финансового кризиса .....	92
<b>Боголиб Т.М.</b> Инновационная модель финансирования деятельности вуза .....	102
<b>Гудкова А.А.</b> Наука в России: постсоветские реформы и прогнозные оценки ....	109
<b>Пузиков В.В.</b> Особенности прогнозирования в условиях обеспечения безопасности социальных систем .....	127
<b>Крисанов Д.Ф.</b> Повышение качества продукции пищевой промышленности в условиях членства Украины в ВТО .....	141
<b>Оболенская Т.Е.</b> Инновационный характер современного маркетинга вуза .....	148
<b>Лысенко Е.Г.</b> Стратегическая роль сельскохозяйственных предприятий в аграрном секторе России .....	157

<b>Лученок А.И.</b> Оценка эффективности государственного регулирования в белорусской институциональной модели .....	175
<b>Пинягин В.В.</b> О необходимости модернизации белорусской экономики .....	187
<b>Тарасов В.И.</b> О необходимости взаимосвязки блоков хозяйственного механизма .....	195
<b>Матяс А.А.</b> О целевом сценарии социально-экономического развития Республики Беларусь в 2009 г. ....	198
<b>Вардеванян Г.Л.</b> Денежно-кредитная политика и ситуация на валютном рынке Республики Беларусь в январе-августе 2008 г. ....	202
<b>Удовенко И.М.</b> Концептуальные основы социальной политики Беларуси на период до 2025 года .....	210
<b>Рубин Я.И.</b> Вооруженность диалектическим мышлением как важнейшая характеристика человека нового общества .....	223
<b>Шахотько Л.П.</b> Соотношение структурных и социально-экономических факторов, определяющих демографическое развитие Беларуси .....	232
<b>Шевченко С.В.</b> Построение систем оплаты труда на основе оценки ее сложности .....	247
<b>Александрович Я.М.</b> Целевые ориентиры и особенности прогнозирования макроэкономических параметров Республики Беларусь на долгосрочную перспективу .....	255
<b>Воробьев И.П., Каштелян Т.В.</b> Разноуровневая реструктуризация в лесопромышленном комплексе Беларуси .....	268
<b>Жудро М.К.</b> Перспективы синхронизации развития национального и мирового рынка продовольствия .....	279
<b>Богдан Н.И.</b> Национальная инновационная система Беларуси: государственные инициативы и институциональные ограничения .....	284
<b>Воронцов Е.В.</b> Проблема знаний в экономике .....	290
<b>Соколова Г.Н.</b> Социологическая экспертиза социальных проблем инновационного развития .....	303
<b>Крюков Л.М.</b> Повышение роли научного сообщества в инновационном развитии экономики .....	319
<b>Петрович Э.И.</b> Формирование организационно-экономической модели инвестиционной безопасности .....	338
<b>Дайнеко А.Е., Шведко П.В.</b> Система государственной поддержки и стимулирования экспорта в мировой экономике .....	352

<b>Данильченко А.В.</b> Развитие категориального аппарата теории интернационализации деловой экономической активности .....	368
<b>Балашевич М.И.</b> Малый бизнес в Республике Беларусь в контексте международного опыта .....	387
<b>Малинин А.С.</b> Методология прогнозирования показателей внешней торговли .....	401
<b>Нестеренко В.И.</b> Тенденции развития теневой экономики в условиях глобализации .....	411
<b>Стукалов Л.С.</b> Некоторые вопросы оптимизации внешней торговли услугами и формирование транспортно-логистической системы Республики Беларусь .....	420
<b>Богданович А.В.</b> Современное состояние и стратегия регионального развития Республики Беларусь .....	430
<b>Коваленко А.А.</b> Проблемы правового регулирования регионального стратегического планирования в Украине .....	442
<b>Бойко Е.Н.</b> Механизмы регулирования инновационной деятельности в контексте пространственного развития производительных сил Украины на региональном уровне .....	445
<b>Игнатьев С.Ю.</b> Административно-территориальная реформа как инструмент регионального развития .....	456
<b>Кравцов М.К.</b> Математическое моделирование взаимодействия экономики, энергетики и окружающей среды .....	465
<b>Коваленко Н.С., Кляус П.С., Павлов П.А.</b> Организация синхронного выполнения параллельных распределенных процессов на поточных линиях .....	482
<b>Дымков М.И., Демиденко В.М., Сиротин А.Ю., Брилевский А.О.</b> Моделирование процессов распределения заказов хлебопекарных предприятий и оптимизации доставки готовой продукции .....	497
<b>Малюгин В.И., Гринь Н.В.</b> Анализ и прогнозирование кредитоспособности заемщиков банков .....	512
<b>Рекомендации IX Международной научной конференции</b> .....	528