

К. В. КРОТОВ, канд. техн. наук, доц. СевНТУ, Севастополь;
В. Е. ШИШКЕВИЧ, ст. преп. СевНТУ, Севастополь

МОДЕЛЬ МНОГОУРОВНЕВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПОСТРОЕНИЯ РАСПИСАНИЙ ОБРАБОТКИ ТРЕБОВАНИЙ КОМПЛЕКТОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ (ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ГРУПП ПАРТИЙ)

В работе обосновывается модель многоуровневого программирования для формирования эффективного состава групп партий, расписаний выполнения операций с ними при обработке требований, входящих в комплекты разных типов, при наличии ограничений на длительность интервалов работы системы.

Ключевые слова: многоуровневое программирование, теория расписаний, партии требований, группы партий, комплекты требований.

Введение. В современных вычислительных системах возникает задача составления расписаний обработки данных конвейеризованными программами (выполнение которых реализуется в конвейерной системе, состоящей из нескольких (в общем случае L) обрабатывающих приборов, образующих последовательность). При этом результаты обработки данных конвейеризованными программами образуют комплекты (комплекты разных типов). Задачей на обработку являются данные, обрабатываемые в системе некоторой i -й конвейеризованной программой. Обозначим: i – идентификатор типа приложения, выполнение которого реализуется в конвейерной системе ($i = \overline{1, n}$), d_i – момент времени поступления в систему каждого i -го приложения для обработки соответствующих ему данных. Для всех программ моменты времени их загрузки в систему и моменты поступления данных на обработку $d_i = 0$. Реализация в многостадийной системе выполнения конвейеризованной программы предполагает осуществление вычислений на каждом сегменте конвейера в соответствии с определенной ее частью кода. Обозначим через l индекс обрабатывающего прибора, входящего в состав многостадийной системы (l -й сегмент вычислительной конвейерной системы), осуществляющего выполнение (l -й) части программы, выполняемой в системе. Каждым сегментом конвейерной системы выполняются вычисления, соответствующие назначенной для этого обрабатывающего прибора части программы, тогда введенному в теории расписаний понятию обрабатываемого требования соответствует выполняемая в вычислительной системе конвейеризованная программа. Дисциплина обслуживания выполняемых в системе программ предполагает прохождение данными, которые они обрабатывают, всех сегментов конвейера, при этом если l -й прибор приступил к вы-

полнению i -й программы (к обработке i -го требования), обработка не может быть прервана. Все обрабатывающие приборы конвейерной системы характеризуются равными и неизменными во времени значениями производительности их работы. Выполнение на каждом l -м приборе назначенной ему части i -го программы характеризуется параметром длительности обработки данных на этом приборе, однозначно соответствующей объему выполняемых вычислений при интерпретации программного кода, либо в терминах теории расписаний, длительности обработки i -го требования на l -м приборе. Особенно-стями постановки задачи, решение которой осуществляется в предлагаемой работе, являются: 1) необходимость выполнения программ каждого типа в конвейерной системе заданное число раз; 2) реализация обработки данных в многостадийной системе осуществляется в течение заданного количества равных интервалов времени; 3) результаты выполнения конвейеризованных программ (результаты обработки данных) образуют комплекты (комплекты разных типов), состав которых является заданным. Комплект требований представляет собой их совокупность, при этом количество требований каждого типа, входящих в комплект, является заданным. В дальнейшем, оперируя понятием комплект требований, подразумеваем совокупность результатов обработки данных, сформированных конвейеризованными программами i -х типов. Так как выполняемой в системе программе в теории расписаний соответствует обрабатываемое требование, то в рассмотрение введены следующие обозначения: N – множество типов требований ($N = \{1, 2, \dots, n\}$), n – количество типов требований), обработка которых реализуется в системе; N^i – множество, элемент n^i которого – это количество требований i -го типа, обработка которых должна быть выполнена в системе ($i = \overline{1, n}$), t^z – интервал времени, в течение которого может быть реализована обработка требований – интервал времени функционирования системы (количество интервалов обработки пакета заданий обозначено через Z , $z = \overline{1, Z}$), w_{ig} – количество требований i -го типа, которые должны входить в один комплект требований g -го типа (предполагается, что требования всех n типов входят в определенном количестве в состав каждого комплекта, обозначим общее количество типов комплектов через $g^{\text{ком}}$). Введена матрица (W), значения элементов w_{ig} которой равны числу требований i -го типа, которые должны входить в один комплект g -го типа.

Требования одного типа, поступающие на обработку в систему, группируются и образуют партию (партия – это совокупность требований одного типа, ее характеристиками являются: тип i требований в этой партии и количество требований в ней). Партия является фиксированной, если в нее входят все требования одного i -го типа. В тоже время партия может содержать не все n^i требований i -го типа, в этом случае в системе обрабатывается ни одна, а

несколько партий требований одного типа. Обработка партий требований при наличии временных ограничений (заданных интервалов t^z) должна быть направлена на осуществление операций в системе с максимальным количеством требований разных типов таким образом, чтобы из обработанных требований могло быть образовано максимальное количество комплектов заданного состава (максимальное количество комплектов $g^{\text{ком}}$ типов). Формирование партий требований i -х типов вместо фиксированных партий позволяет получить более эффективное решение (с точки зрения условия максимизации количества комплектов, сформированных из обработанных в течение заданных интервалов t^z). При этом должно быть определено как количество партий требований, так и их состав. В рассматриваемой постановке выполнение обработки партий требований i -х типов ($i = \overline{1, n}$) реализуется в течение заданных интервалов t^z (количество интервалов Z), тогда на основе полученного решения по количеству и составу партий требований должно быть сформировано Z групп партий. При этом состав групп партий для каждого временного интервала t^z определяется таким образом, чтобы обеспечить максимальную загрузку оборудования системы (уменьшить суммарный простой приборов системы при обработке соответствующей группы партий). В соответствии с полученным решением по составу групп партий требуется определить порядок обработки партий каждой из групп (последовательность запуска партий каждой из групп на обработку на каждом приборе системы) – расписания обработки партий в группах. Формирование расписаний обработки партий осуществляется при условии минимизации простоев приборов при обработке текущего количества партий группы.

В выполненной постановке задачи введены ограничения на длительность обработки групп партий (на длительность реализации расписаний), тогда не все сформированные партии могут быть распределены по группам, не вошедшие в группы партии являются не обработанными. Комплекты требований разных типов могут быть сформированы только из требований, входящих в партии, включенные в соответствующие группы (партий, которые будут обработаны в соответствии с построенными расписаниями при учете интервалов t^z). В то же время количество обработанных в течение интервалов t^z партий каждой из групп зависит от количества и состава сформированных партий (состав групп партий и количество сформированных комплектов требований являются зависящими от количества и состава партий).

Входными данными для системы построения расписаний групповой обработки партий при формировании комплектов заданных типов являются: типы конвейеризированных программ, выполняемых в системе (соответственно, множество N типов обрабатываемых требований); число раз, кото-

рое должно быть выполнена каждая программа в системе (множество N^i); равные значение интервалов времени t^z функционирования системы при обработке требований; количество Z интервалов времени функционирования системы, в течение которых реализуется обработка требований; матрица (W), элемент w_{ig} – количество требований i -го типа, которое входит в один формируемый комплект g -го типа ($i = \overline{1, n}$; $g = \overline{1, g^{\text{ком}}}$). Формируемыми выходными решениями являются: эффективное количество и состав партий требований i -х типов ($i \in N$), определяемые в соответствии с условием максимизации количества формируемых из обработанных требований комплектов; эффективные составы групп партий, обрабатываемых системой в течение заданных интервалов t^z , определяемые в соответствии с условием минимизации суммарных простоев приборов системы в течение интервалов t^z ; эффективные расписания обработки партий требований каждой группы (вид последовательностей обработки партий каждой группы на приборах системы). Формируемые решения по количеству, составу партий и групп партий, порядку обработки на приборах системы партий групп (с формированием комплектов из результатов обработки) могут быть названы комплексными расписаниями групповой обработки партий с формированием комплектов заданных типов. Рассматриваемая задача построения комплексных расписаний групповой обработки партий при наличии ограничений на длительность интервалов функционирования системы может быть решена как задача теории иерархических игр [1,2].

Использование современных методов решения задачи формирования расписаний обработки партий требований различных типов позволяет определять порядок обработки фиксированных партий (партий, в которые включены все требования одного типа), либо определять эффективное количество, состав и порядок обработки партий на ограниченном количестве приборов (на одном приборе) [3]. Постановка задачи формирования комплексных расписаний групповой обработки партий в общем виде предполагает задание: произвольного количества приборов, ограничений на время функционирования системы при обработке требований партий. Это обуславливает необходимость перехода к формированию эффективного количества и составов партий требований, к формированию групп партий, обрабатываемых в течение заданных интервалов времени t^z , и расписаний обработки партий в системе.

Постановка цели и задач научного исследования. Цель работы состоит в совершенствовании методов построения расписаний групповой обработки партий требований в конвейерных системах при формировании из результатов обработки комплектов заданных составов и наличии ограничений. Совершенствование методов построения расписаний групповой обработки партий в течение заданных интервалов времени связано с применением тео-

ретико-игрового подхода в теории расписаний. Это позволит реализовать определение эффективных составов партий, групп партий и порядков обработки партий на приборах системы. Для достижения поставленной цели в статье решается задача, связанная с построением модели определения эффективных комплексных расписаний групповой обработки партий при формировании комплектов и наличии ограничений на длительность выполнения операций с группами как модели иерархической игры.

Основное содержание работы. В соответствии с постановкой задачи построения комплексных расписаний групповой обработки партий при формировании комплектов заданных составов и наличии ограничений на интервалы функционирования системы решение должно быть определено в иерархической системе, уровни которой выполняют следующие функции: на первом уровне определяется количество и состав партий требований соответствующих типов, на втором уровне определяется состав групп партий, обрабатываемых в течении заданных интервалов t^z , на третьем уровне формируется порядок обработки партий каждой из групп в течение интервалов t^z . Поскольку сформированные на первом уровне партии требований на втором уровне распределяются по группам, для которых на третьем уровне определяется порядок обработки партий, тогда построение комплектов может быть выполнено только из требований партий, входящих в соответствующие группы (из обрабатываемых требований). Тогда на первом уровне системы также реализуется построение решения по составу комплектов из требований обрабатываемых партий, т.е. осуществляется определение решений двух типов: решения по количеству и составу партий требований; решения по составу комплектов, формируемых из обрабатываемых партий.

Решаемая задача является задачей с полной информацией, т.е. все параметры, характеризующие обрабатываемые требования (типы требований, количество требований каждого типа, составы формируемых комплектов требований, длительности обработки требований различных типов на приборах, длительности переналадки приборов, длительности первоначальной наладки приборов на обработку требований и т.д.) и функционирующую систему (количество обрабатываемых приборов, длительность интервала времени t^z функционирования системы при обработке партий, количество интервалов времени Z функционирования системы при обработке партий и т.д.) являются задаваемыми. Для решения сформулированной задачи в рассмотрение введены следующие обозначения. Через m_i обозначим количество партий требований i -го типа, формируемых на первом уровне принятия решений, при $i = \overline{1, n}$ элементы m_i образуют вектор (M) . В рассмотрение вводится матрица (A) , элемент a_{iu} которой – это количество требований i -го типа в u -й партии ($u \leq m_i$), размерность матрицы $(A) - n \times u^{\max}$, где $u^{\max} = \max_{1 \leq i \leq n} (m_i)$. Если

$m_i \leq u^{\max}$, то $a_{iu} = 0$ при $u = \overline{m_i + 1, u^{\max}}$. Матрица (A) – это матрица составов партий требований различных (i -х) типов, для которой индекс столбца u – идентификатор соответствующей партии. Решение, формируемое на первом уровне системы (количество и состав партии требований) имеет вид: $[(M), (A)]$. Через N^z ($z = \overline{1, Z}$) обозначим группы партий, обрабатываемые в течение установленных интервалов t^z , расписание обработки партий z -й группы обозначим как π^z . Расписание обработки партий π^z – это совокупность последовательностей π^l запуска партий на обработку на каждом l -м приборе ($l = \overline{1, L}$), оно имеет вид: $\pi^z = \{\pi^1, \pi^2, \pi^3, \dots, \pi^L\}^z$.

В соответствии с функциями уровней системы между ними выполняется обмен информацией следующего вида: 1) на вход первого уровня подаются множества N , N^i и матрица (W) ; с выхода уровня на вход второго уровня передаются составы партий требований i -х типов – решение в виде $[(M), (A)]$; 2) на вход второго уровня – состав партий требований; с выхода уровня – сформированные с учетом ограничения на интервал времени работы системы группы партий требований N^z ($z = \overline{1, Z}$); 3) на вход третьего уровня – совокупность групп партий требований N^z ($z = \overline{1, Z}$); с выхода уровня – сформированные порядки обработки партий требований групп N^z для заданных интервалов времени (расписания π^z). При распределении совокупности партий требований i -х типов (представленной в виде решения $[(M), (A)]$) по группам партий N^z ($z = \overline{1, Z}$) состав партий не изменяется (значения m_i и a_{iu} , поступившие с верхнего уровня, изменены быть не могут). После того, как для текущего состава партий (для текущего решения на первом уровне) на втором уровне сформированы эффективные составы групп партий (с учетом ограничений на длительность функционирования системы при обработке партий), полученное на этом уровне решение передается на первый уровень для определения эффективного состава комплектов разных типов, в которые входят требования из партий, обрабатываемых в составе групп N^z ($z = \overline{1, Z}$).

Партии требований некоторого i -го типа в количестве m_i могут входить в различные группы партий N^z . Через m_i^z обозначим количество партий требований i -го типа в группе партий N^z (если партии требований i -го типа не входят в N^z , то $m_i^z = 0$), через $(A)_i^z$ обозначим вектор количества требований i -го типа в m_i^z партиях в группе. Партии требований i -го типа, входящие в группу партий N^z , определены с использованием набора параметров

вида: $[i, m_i^z, (A)_i^z]$. Обобщенная форма решения по составу группы N^z имеет вид: $N^z = \{[i, m_i, (A)_i]_k \mid k = \overline{1, k_z}\}^z$, где k_z – количество типов требований, партии которых входят в N^z . Решение, формируемое на втором уровне системы – совокупность групп партий, имеет вид: $\{N^z \mid (z = \overline{1, Z})\}$. Для формализации вида последовательностей π^l расписания π^z в рассмотрении введена матрица порядка обработки партий в системе $(P)^z$. Элемент $p_{ij}^z = 1$, если партия требований i -го типа занимает в последовательности π^l j -ю позицию, $p_{ij}^z = 0$ в противном случае, размер матрицы $n^z \times n_p^z$, где n^z – число типов требований в партиях в группе N^z , n_p^z – число партий в последовательностях π^l для группы N^z . Порядок обработки партий группы на всех приборах одинаков, поэтому достаточно определения одной матрицы порядка $(P)^z$. В рассмотрение введена матрица $(R)^z$ – матрица количества требований i -го типа в партиях, занимающих в последовательности π^l j -е позиции (r_{ij}^z – количество требований i -го типа в партии, занимающей j -ю позицию в π^l , размер матрицы $n^z \times n_p^z$), решение, формируемое на нижнем уровне системы имеет вид: $\{[(P)^z, (R)^z] \mid z = \overline{1, Z}\}$.

Сформированное на втором уровне решение в виде $\{N^{z*} \mid (z = \overline{1, Z})\}$ (эффективное решение на втором уровне для текущего состава партий) передается на первый уровень с целью определения состава комплектов. Для формирования решения по составу комплектов требований на первом уровне системы в рассмотрение введена матрица $(N^{\text{КОМ}})$, значения элементов g -го столбца которой соответствуют количеству требований i -х типов, входящих в комплекты g -го типа (элемент $n_{ig}^{\text{КОМ}}$ соответствует количеству требований i -го типа, которые входят в состав комплектов g -го типа). Таким образом, решение по составу комплектов требований в виде матрицы $N^{\text{КОМ}}$ формируется на основе решения по составу групп партий $\{N^{z*} \mid (z = \overline{1, Z})\}$, тогда количество комплектов g -го типа, в которые могут входить требования i -го типа определено выражением: $n_{ig}^{\text{КОМ}} / w_{ig}$. Обозначим через $N_g^{\text{КОМ}}$ количество комплектов g -го типа, которые могут быть сформированы из требований всех i -х типов; оно будет определено выражением вида:

$$N_g^{\text{КОМ}} = \min_{1 \leq i \leq n} (n_{ig}^{\text{КОМ}} / w_{ig}) \text{ при } g = \overline{1, g^{\text{КОМ}}} \quad (1)$$

Для элементов n_{ig}^{KOM} матрицы (N^{KOM}) и элементов $(a_h)_i^z$ ($h = \overline{1, m_i^z}$) векторов $(A)_i^z$ в решениях N^{z*} (при $z = \overline{1, Z}$) выполняется условие следующего вида:
$$\sum_{z=1}^Z \sum_{h=1}^{m_i^z} (a_h)_i^z = \sum_{g=1}^{g^{\text{KOM}}} n_{ig}^{\text{KOM}}.$$

Вычисляемые с использованием выражения $n_{ig}^{\text{KOM}} / w_{ig}$ и выражения (1) значения должны удовлетворять условию целочисленности. Таким образом, полученные с использованием выражения $n_{ig}^{\text{KOM}} / w_{ig}$ значения ($i = \overline{1, n}$) образуют вектор числа комплектов g -го типа, в которые могут входить требования i -х типов. Количество комплектов, образуемых из требований i -х типов, определяется выражением (1).

В общем виде модель иерархической игры в введенных обозначениях при наличии ограничений имеет вид [1,2]:

1) первый уровень:

$$f_1(\{N^{z*} | z = \overline{1, Z}\}) \rightarrow \min(\max), \quad [(M), (A)] \in A, \quad (2)$$

2) второй уровень:

$$f_2(\{(P)^z, (R)^z | z = \overline{1, Z}\}) \rightarrow \min(\max), \quad N^z \in B, \quad (3)$$

3) третий уровень:

$$f_3(\{N^z, \{(P)^z, (R)^z\} | z = \overline{1, Z}\}) \rightarrow \min(\max), \quad [(P)^z, (R)^z] \in \Gamma. \quad (4)$$

В соответствии с моделью (2)–(4) эффективность групп партий на втором уровне системы оценивается на основе эффективных расписаний, эффективный состав группы партий требований должен обеспечивать расписание обработки партий, при котором неэффективное использование временных ресурсов приборов системы будет минимальным. Эффективность составов партий (первый уровень) оценивается на основе эффективных составов групп партий, эффективный состав партий должен обеспечивать такой состав групп партий, при котором общее количество сформированных из обработанных требований комплектов разных типов будет максимальным.

Для определения вида модели многоуровневого программирования построения расписаний обработки требований, входящих в состав комплектов, при наличии ограничений на длительность временных интервалов введены следующие обозначения: t_i^l – время обработки требований i -го типа на l -м приборе ($l = \overline{1, L}$); t_{ik}^l – время переналадки l -го прибора с обработки требований i -го типа на обработку требований k -го типа; t_{ii}^l – время первоначальной наладки l -го прибора на обработку требований i -го типа; t_{ji}^{nl} – время начала обработки партии требований i -го типа, занимающей j -ю позицию в π^l на l -м

приборе; $(t_{ji}^{nl})^z$ – матрица моментов времени начала обработки партий требований i -х типов, занимающих в π^l j -е позиции (для группы партий N^z); $(t_{jq}^{ol})^z$ – матрица моментов времени начала обработки q -х требований партии, занимающей в π^l j -ю позицию (q – порядковый номер требования в партии в j -й позиции в π^l , $(q = \overline{1, n_j^z}, n_j^z = \sum_{h=1}^{n^z} r_{hj}^z$, где n_j^z – количество требований в партии, входящей в группу N^z , занимающей j -ю позицию в π^l). С использованием элементов матриц $(P)^z$ и $(t_{jq}^{ol})^z$ элементы матрицы $(t_{ji}^{nl})^z$ определяются следующим образом: $[t_{ji}^{nl}]^z = p_{ij}^z \cdot [t_{jl}^{ol}]^z$, где $i = \overline{1, n^z}$, $j = \overline{1, n_p^z}$, $[t_{jl}^{ol}]^z$ – момент времени начала обработки первого требования в партии, занимающей j -ю позицию в π^l . В рассмотрение введена матрица переналадок (t_{ik}^l) , элементы t_{ik}^l которой соответствуют длительностям переналадки приборов с обработки требований i -го типа на обработку требований k -го типа, элементы t_{ii}^l – время первоначальной наладки приборов на обработку требований i -го типа. Выполним дальнейшие рассуждения для одной из групп N^z (опуская индекс z).

Для первого прибора выражения для t_{jq}^{ol} формируются следующим образом: 1) если t_{11}^{ol} – время начала обработки первого требования ($q=1$) в партии, занимающей первую позицию в последовательностях π^1 , t_{ii}^{ol} – время начала обработки партии требований i -го типа, занимающей в π^1 первую позицию, тогда $t_{11}^{ol} = t_{ii}^{ol} = t_{ii}^1$, 2) выражение t определяет интервал первоначальной наладки первого прибора на обработку требований i -го типа; $(q-1) \sum_{h=1}^n t_h^1 \cdot p_{h1}$ – время обработки $(q-1)$ -го требования в этой партии, (t^1) – вектор длительностей обработки на первом приборе требований разных типов, входящих в группу партий N^z , тогда значение t_{1q}^{ol} начала обработки любого требования первой партии (в π^1), занимающего в ней q -ю позицию $\left(1 \leq q \leq n_1, n_1 = \sum_{h=1}^n r_{h1} \right)$, определяется выражением вида:

$$t_{1q}^{ol} = \sum_{h=1}^{n^z} t_{hh}^1 \cdot p_{h1} + (q-1) \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot p_{h1}; \quad (5)$$

3) если $t_{i_2 i_1}^{lнеп}$ – время переналадки первого прибора с обработки требований i -го типа (первая позиция партии в π^1) на обработку требований другого

типа (вторая позиция партии в π^1), а t_{21}^{01} – время начала обработки первого требования во второй партии (t_{2i}^{n1} – начало обработки этой партии требований i -го типа в π^1 ($t_{2i}^{n1} = t_{21}^{01}$)), тогда с учетом (5) значения t_{21}^{01} (t_{2i}^{n1}) определяются выражением вида:

$$t_{2i}^{n1} = t_{21}^{01} = \sum_{h=1}^{n^z} t_{hh}^1 \cdot p_{h1} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot r_{h1} + t_{i i_2}^{1nep}, \quad (6)$$

где значение $t_{i i_2}^{1nep}$ определяется следующим образом:

$$t_{i i_2}^{1nep} = t_{i i_r}^1, \text{ где } \begin{cases} i_r = i \mid p_{i1} = 1, i = \overline{1, n} \\ i_r = j \mid p_{j2} = 1, j = \overline{1, n} \end{cases}.$$

Выражение $\sum_{h=1}^{n^z} t_{hh}^1 \cdot p_{h1} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot r_{h1} + t_{i i_2}^{1nep}$ позволяет определить время начала обработки второй в π^1 партии, выражение $(q-1) \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot p_{h2}$ – длительность обработки предшествующих q -му требованиям в этой партии, тогда время начала обработки q -го требования i -го типа в партии, занимающей вторую позицию в π^1 , определяется следующим образом:

$$t_{2q}^{01} = \sum_{h=1}^{n^z} t_{hh}^1 \cdot p_{h1} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot r_{h1} + t_{i i_2}^{1nep} + (q-1) \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot p_{h2}, q = \overline{1, r_{i2}}. \quad (7)$$

По аналогии с (6), (7) сформированы выражения для вычисления моментов времени начала обработки третьей, четвертой партий и требований в них:

$$\begin{aligned} t_{3i}^{n1} &= \sum_{p=1}^{n^z} t_{hh}^1 \cdot p_{h1} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot r_{h1} + t_{i i_2}^{1nep} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot r_{h2} + t_{i i_3}^{1nep}; \\ t_{3q}^{01} &= \sum_{h=1}^{n^z} t_{hh}^1 \cdot p_{h1} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot r_{h1} + t_{i i_2}^{1nep} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot r_{h2} + t_{i i_3}^{1nep} + (q-1) \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot p_{h3}; \\ t_{4i}^{n1} &= \sum_{h=1}^{n^z} t_{hh}^1 \cdot p_{h1} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot r_{h1} + t_{i i_2}^{1nep} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot r_{h2} + t_{i i_3}^{1nep} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot r_{h3} + t_{i i_4}^{1nep}; \\ t_{4q}^{01} &= \sum_{h=1}^{n^z} t_{hh}^1 \cdot p_{h1} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot r_{h1} + t_{i i_2}^{1nep} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot r_{h2} + t_{i i_3}^{1nep} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot r_{h3} + t_{i i_4}^{1nep} + \\ & (q-1) \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot p_{h4} \end{aligned}$$

Время начала обработки партии требований i -го типа, занимающей j -ю позицию в π^1 определяется выражением вида:

$$t_{ji}^{n1} = \sum_{h=1}^{n^z} t_{hh}^1 \cdot p_{h1} + \sum_{f=1}^{j-1} \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot r_{hf} + \sum_{h=1}^{j-1} t_{i_{i_{h+1}}}^{1\text{непр}}, \text{ время начала обработки } q\text{-го требования}$$

в ней: $t_{jq}^{01} = \sum_{h=1}^{n^z} t_{hh}^1 \cdot p_{h1} + \sum_{f=1}^{j-1} \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot r_{hf} + \sum_{h=1}^{j-1} t_{i_{i_{h+1}}}^{1\text{непр}} + (q-1) \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot p_{hj}$. Выражение для t_{jq}^{0l} ($q = \overline{1, n_j}$) сформируем в соответствии с порядком обработки партий (рис. 1, при $l \neq 1$). Для $l=2$ и $j=1$ имеем:

$$t_{11}^{02} = t_{1i}^{n2} = \max \left\{ \sum_{h=1}^{n^z} t_{hh}^2 \cdot p_{h1}; t_{11}^{01} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot p_{h1} \right\},$$

$$t_{12}^{02} = \max \left\{ t_{11}^{02} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^2 \cdot p_{h1}; t_{12}^{01} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot p_{h1} \right\}, \dots$$

$$t_{1n_1}^{02} = \max \left\{ t_{1, n_1-1}^{02} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^2 \cdot p_{h1}; t_{1n_1}^{01} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot p_{h1} \right\},$$

$n_1 = \sum_{i=1}^{n^z} r_{i1}$ – количество требований в первой партии. Выражения для

определения t_{2q}^{02} ($q = \overline{1, n_2}, n_2 = \sum_{h=1}^{n^z} r_{h2}$) (вторая партия в π^2) имеют вид:

$$t_{21}^{02} = t_{2i}^{n2} = \max \left\{ t_{1n_1}^{02} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^2 \cdot p_{h1} + t_{i_{i_2}}^{2\text{непр}}; t_{21}^{01} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot p_{h,2} \right\};$$

$$t_{22}^{02} = \max \left\{ t_{21}^{02} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^2 \cdot p_{h2}; t_{22}^{01} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot p_{h2} \right\};$$

$$t_{2n_2}^{02} = \max \left\{ t_{2, n_2-1}^{02} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^2 \cdot p_{h2}; t_{2, n_2}^{01} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot p_{h2} \right\}.$$

Выражения для t_{3i}^{n2} и t_{3q}^{02} имеют вид:

$$t_{31}^{02} = t_{3i}^{n2} = \max \left\{ t_{2, n_2}^{02} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^2 \cdot p_{h2} + t_{i_2}^{2\text{непр}}; t_{31}^{01} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot p_{h3} \right\};$$

$$t_{3q}^{02} = \max \left\{ t_{3,q-1}^{02} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^2 \cdot p_{h3}; t_{3q}^{01} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^1 \cdot p_{h3} \right\}, \text{ где } q = \overline{2, n_3}, n_3 = \sum_{h=1}^n r_{h3}.$$

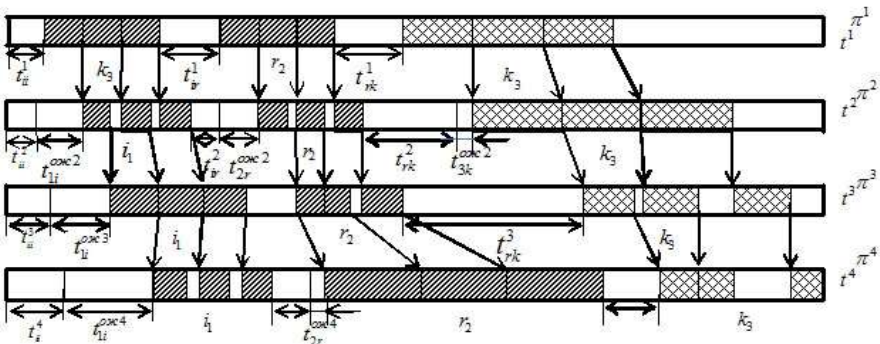
На их основе получены обобщенные выражения для определения t_{jq}^{0l} ($q = \overline{1, n_j}, l \neq 1$) в виде:

$$t_{11}^{0l} = t_{11}^{nl} = \max \left\{ \sum_{h=1}^{n^z} t_h^l \cdot p_{h1}; t_{11}^{0l-1} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^{l-1} \cdot p_{h1} \right\};$$

$$t_{j1}^{0l} = t_{ji}^{nl} = \max \left\{ t_{j-1, n_{j-1}}^{0l} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^l \cdot p_{h, j-1} + t_{i, j-1}^{lнеп}; t_{j1}^{0l-1} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^{l-1} \cdot p_{hj} \right\};$$

$$t_{jq}^{0l} = \max \left\{ t_{jq-1}^{0l} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^l \cdot p_{hj}; t_{jq}^{0l-1} + \sum_{h=1}^{n^z} t_h^{l-1} \cdot p_{hj} \right\}.$$

Метод построения расписания обработки партий на третьем уровне системы [4] предполагает добавление текущей рассматриваемой партии в конец последовательностей π^l и определение эффективного местоположения партии в последовательностях. Тогда значение критерия оптимизации определяет простой приборов при обработке текущего количества партий, находящихся в последовательности (но не всех партий из группы N^z). Формирование критерия оптимизации на третьем уровне выполнено в соответствии с заданными видами последовательностей обработки партий (см. рисунок).



Заданные виды последовательностей обработки партий, используемые при формировании критерия оптимизации на третьем уровне планирования

Анализ последовательностей позволил определить особенности идентификации интервалов времени простоя приборов:

1) малые длительности обработки требований i -го, r -го и k -го типов на приборе $l=2$ при малых длительностях его переналадки обуславливают ожидание им готовности партий к обработке и ожидание прибором требований при их обработке внутри партии, интервалы ожидания приборами требований при их обработке внутри партии являются одинаковыми, тогда порядок обработки партий будет определять: а) длительность переналадок приборов с обработки требований одного типа на обработку требований другого типа; б) длительность простоя приборов в ожидании начала обработки партий и равные длительности интервалов простоя приборов при обработке требований этих партий;

2) при значительных значениях t'_{ik} (рис. 1: приборы $l=3, l=4$, последовательности π^3 и π^4 , интервалы $t'_{ir}, t'_{rk}, t'_{ik}$) наблюдаются различные интервалы времени простоя приборов (третьего и четвертого) при обработке требований внутри партий, тогда различный порядок обработки партий определяет не только различные по величине интервалы переналадки и ожидания приборами начала обработки партий, но и различные по длительности интервалы простоя приборов при обработке требований внутри партий.

В этом случае критерий эффективности расписания обработки партий на третьем уровне должен учитывать: а) время простоя приборов в ожидании начала обработки требований партий (с учетом интервалов наладки, переналадки и последующего ожидания); б) время простоя приборов в ожидании готовности требований при их обработке внутри партий.

Простой l -го прибора в ожидании обработки первой в $\overline{\pi^l}$ партии равен значению t_{11}^{ol} , суммарное время простоя всех приборов ($l = \overline{1, L}$) в ожидании начала обработки партий в последовательностях π^l определяется выражением вида $\sum_{l=1}^L t_{11}^{ol}$. В интервал простоя l -го прибора в ожидании начала обработки партии после окончания обработки предыдущей партии входят: интервал переналадки прибора с обработки требований одного на обработку требований другого типа ($t_{i-j-1, j}^{lпер}$), возможный ненулевой интервал ожидания прибором начала обработки партии после окончания переналадки $t_{j, i}^{ожl}$ (рисунок 1, где $t_{j, i}^{ожl}$ – время ожидания l -м прибором начала обработки партии i -х требований). Время простоя прибора соответствует сумме $t_{i-j-1, j}^{lпер} + t_{j, i}^{ожl}$, его значение определяется выражением $t_{j1}^{ol} - \left[t_{j-1, n_{j-1}}^{ol} + \sum_{h=1}^{n_j^z} t_h^l \cdot p_{h, j-1} \right]$, где $j > 1$, $n_{j-1} = \sum_{h=1}^{n_j^z} r_{h, j-1}$ – число требований в предшествующей в π^l партии. Суммарный простой l -го прибора в ожидании начала обработки j -х партий ($j = \overline{2, n_p^z}$, где n_p^z – общее

число партий в последовательностях π^l) определяется следующим образом:

$$\sum_{j=2}^{n_p^l} \left[t_{j1}^{0l} - \left[t_{j-1, n_{j-1}}^{0l} + \sum_{h=1}^{n_h^l} t_h^l \cdot p_{h, j-1} \right] \right].$$

В этом случае суммарный простой всех L приборов в ожидании начала обработки партий на них определяется:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{j=2}^{n_p^l} \left[t_{j1}^{0l} - \left[t_{j-1, n_{j-1}}^{0l} + \sum_{h=1}^{n_h^l} t_h^l \cdot p_{h, j-1} \right] \right] \quad (8)$$

Простой l -го прибора в ожидании готовности к обработке требования, занимающего q -ю позицию в j -й партии в π^l , определяется выражением вида: $t_{jq}^{0l} - \left[t_{j, q-1}^{0l} + \sum_{h=1}^{n_h^l} t_h^l \cdot p_{hj} \right]$. Это выражение соответствует интервалу между

двумя требованиями (в q -й и $(q-1)$ -й позициях) в j -й партии в π^l . Суммарный простой l -го прибора в ожидании готовности к обработке требований j -й партии в π^l вычисляется: $\sum_{q=2}^{n_j^l} \left[t_{jq}^{0l} - \left[t_{j, q-1}^{0l} + \sum_{h=1}^{n_h^l} t_h^l \cdot p_{hj} \right] \right]$, где q – номер позиции

требования в j -й партии, n_j^z - число требований в j -й партии, $n_j^z = \sum_{h=1}^{n_h^z} r_{hj}$, тогда

общий простой l -го прибора при ожидании готовности к обработке требований внутри партий определяется выражением вида:

$$\sum_{j=1}^{n_p^l} \sum_{q=2}^{n_j^l} \left[t_{jq}^{0l} - \left[t_{j, q-1}^{0l} + \sum_{h=1}^{n_h^l} t_h^l \cdot p_{hj} \right] \right],$$

а суммарный простой всех приборов ($l = \overline{1, L}$) в ожидании готовности требований внутри партий вычисляется по выражению:

$$\sum_{l=2}^L \sum_{j=1}^{n_p^l} \sum_{q=2}^{n_j^l} \left[t_{jq}^{0l} - \left[t_{j, q-1}^{0l} + \sum_{h=1}^{n_h^l} t_h^l \cdot p_{hj} \right] \right]. \quad (9)$$

Критерий эффективности определения последовательности обработки партий сформирован на основе формул (8), (9) с использованием выражения

$\sum_{l=1}^L t_{11}^{0l}$ и введением индекса z , позволяющего идентифицировать качество рас-

писания для конкретной группы партий N^z , в виде:

$$\begin{aligned} & \sum_{l=2}^L (t_{11}^{0l})^z + \sum_{l=1}^L \sum_{j=2}^{n_p^l} \left[(t_{j1}^{0l})^z - \left[(t_{j-1, n_{j-1}}^{0l})^z + \sum_{h=1}^{n_h^l} (t_h^l)^z \cdot p_{h, j-1} \right] \right] + \\ & \sum_{l=2}^L \sum_{j=1}^{n_p^l} \sum_{q=2}^{n_j^l} \left[(t_{jq}^{0l})^z - \left[(t_{j, q-1}^{0l})^z + \sum_{h=1}^{n_h^l} (t_h^l)^z \cdot p_{hj} \right] \right] \end{aligned} \quad (10)$$

Критерий на втором уровне принятия решений (при определении состава групп партий N^z) характеризует общую эффективность использования ресурса времени приборов системы при реализации обработки каждой группы партий N^z (критерий соответствует суммарному времени простоя приборов системы при обработке партий рассматриваемой группы). Так как на втором уровне определяется эффективный состав одной из групп партий, то формируемый критерий должен характеризовать эффективность состава этой группы. Суммарное время простоя приборов при обработке партий группы N^z определяется: 1) суммой длительностей интервалов наладки приборов и возможного простоя приборов в ожидании начала обработки первого требования в первой партии в $\pi^l (t_{li}^l + t_{li}^{okl})$ при $l = \overline{1, L}$, вычисляемой для всех L приборов выражением вида $\sum_{l=1}^L t_{11}^{0l}$; 2) суммой длительностей: переналадки приборов с обработки требований одного на обработку требований другого типов, возможного простоя приборов в ожидании обработки первого в следующей в π^l партии, определяемой для L приборов выражением (8); 3) суммой длительностей интервалов времени простоя приборов в ожидании готовности требований при обработке партии внутри группы, определяемой для L приборов выражением (9); 4) суммой длительностей интервалов простоя L приборов после окончания обработки партий группы N^z в количестве n_p^z (т.е. сумма интервалов простоя приборов на стадии «освобождения» конвейера). Для определения последней из названных компонент суммарного времени простоя использованы обозначения: n_p^z – количество партий, входящих в группу N^z (индекс последней партии в группе); $n_{n_p^z}$ – количество требований, входящих в последнюю в N^z партию. Тогда $(t_{n_p^z, n_{n_p^z}}^{0l})^z$ – момент времени начала обработки последнего требования в партии с индексом n_p^z (последней партии в группе N^z), а время окончания обработки этой партии на l -м приборе определяется выражением вида: $(t_{n_p^z, n_{n_p^z}}^{0l})^z + \sum_{h=1}^{n_p^z} (t_h^l)^z \cdot p_{h, n_p^z}^z$. В этом случае время простоя l -го прибора после окончания обработки партий группы N^z определяется выражением: $(t^z - [(t_{n_p^z, n_{n_p^z}}^{0l})^z + \sum_{h=1}^{n_p^z} (t_h^l)^z \cdot p_{h, n_p^z}^z])$, а суммарный простой всех приборов системы после окончания обработки группы партий N^z вычисляется с использованием выражения вида:

$$\sum_{l=1}^L \{t^z - [(t_{n_p^0, n_p^0}^{0l})^z + \sum_{h=1}^{n^z} (t_h^l)^z \cdot p_{h, n_p^z}^z]\}. \quad (11)$$

С учетом выражений (14)–(17) критерий эффективности принятия решений по составу групп партий на втором уровне иерархии системы примет следующий вид:

$$\begin{aligned} & \sum_{l=2}^L (t_{11}^{0l})^z + \sum_{l=1}^L \sum_{j=2}^{n_p^z} \left[(t_{jl}^{0l})^z - \left[(t_{j-1, n_{j-1}}^{0l})^z + \sum_{h=1}^{n^z} (t_h^l)^z \cdot p_{h, j-1}^z \right] \right] + \\ & \sum_{l=2}^L \sum_{j=1}^{n_p^z} \sum_{q=2}^{n_p^z} \left[(t_{jq}^{0l})^z - \left[(t_{j, q-1}^{0l})^z + \sum_{h=1}^{n^z} (t_h^l)^z \cdot p_{hj}^z \right] \right] + \left[\sum_{l=1}^L \{t^z - [(t_{n_p^0, n_p^0}^{0l})^z + \sum_{h=1}^{n^z} (t_h^l)^z \cdot p_{h, n_p^z}^z]\} \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

Эффективное решение по составу групп партий, сформированное в соответствии с критерием (12) на втором уровне для текущего состава партий (решения на первом уровне), должно быть передано на первый уровень для формирования комплектов из требований, которые будут обработаны в составе групп. При формировании составов комплектов заданных типов используется матрица ($N^{\text{КОМ}}$), элемент $n_{ig}^{\text{КОМ}}$ которой соответствует количеству требований i -го типа входящих в состав комплектов g -го типа. Количество комплектов g -го типа, в которые могут входить $n_{ig}^{\text{КОМ}}$ требований i -го типа, определяется выражением вида: $n_{ig}^{\text{КОМ}} / w_{ig}$, а число комплектов g -го типа, которые могут быть сформированы из требований всех i -х типов определено выражением (1). Обработанные требования партий групп N^z должны быть распределены по комплектам разных типов в соответствии с некоторым критерием, для обоснования которого выполним следующие рассуждения. Каждое из требований может входить только в состав комплекта одного типа. Исключение требования из комплектов одного типа должно обуславливать добавление этого требования в комплекты другого типа (т.е. любое из обработанных требований должно быть включено в состав комплектов одного из типов). Таким образом, состав комплектов одного типа является зависящим от состава комплектов другого типа, решения по составу комплектов разных типов являются взаимозависимыми, значение критерия эффективности решения по составу комплектов одного типа является зависящим от решения по составу комплектов другого типа. В рассмотрение вводится обозначение критерия эффективности составов комплектов g -го типа, значение которого является непосредственно зависящим от составов комплектов этого типа и опосредовано (в силу выполненных рассуждений) от составов комплектов других типов: $f_1^g(N_1^{\text{КОМ}}, N_2^{\text{КОМ}}, \dots, N_g^{\text{КОМ}}, \dots, N_{g^{\text{КОМ}}}^{\text{КОМ}})$, где $N_g^{\text{КОМ}}$ – решение по составу комплектов g -го типа (количество комплектов g -го типа). Процедуру форми-

рования эффективных составов комплектов g -х типов ($g = 1, \overline{g^{\text{КОМ}}}$) можно рассматривать как неантагонистическую игру $g^{\text{КОМ}}$ лиц, где каждый g -й игрок формирует составы комплектов соответствующего типа, при этом его решение по составу комплектов является зависящим от решений других игроков (при определении эффективных решений должны исследоваться $g^{\text{КОМ}}$ критериев в неантагонистической игре).

Эффективными в рассматриваемой постановке могут считаться такие составы комплектов заданных типов, для которых количество требований, обработанных в группах партий и вошедших в составы комплектов, буде максимальным. Либо в альтернативной постановке: количество требований, обработанных в составе групп партий, и не вошедших в состав комплектов должно быть минимизировано. Значение критерия эффективности f_1^g определяется для текущего решения – состава комплектов, которому соответствует сформированная в ходе поиска решения матрица ($N^{\text{КОМ}}$). Для сформированной матрицы ($N^{\text{КОМ}}$) – текущего решения, количество комплектов g -го типа, в которые могут войти обработанные требования i -го типа определяется выражением $n_{ig}^{\text{КОМ}} / w_{ig}$. Количество формируемых комплектов g -го типа, обозначенное как $N_g^{\text{КОМ}}$, определяется выражением (1).

Тогда количество требований i -го типа, которые не вошли в состав формируемых $N_g^{\text{КОМ}}$ комплектов g -го типа будет определено выражением вида: $(n_{ig}^{\text{КОМ}} / w_{ig} - N_g^{\text{КОМ}}) \cdot w_{ig}$, либо в модифицированном виде: $n_{ig}^{\text{КОМ}} - N_g^{\text{КОМ}} \cdot w_{ig}$. На основе полученного выражения, позволяющего определить количество требований i -го типа, не вошедших в $N_g^{\text{КОМ}}$ комплектов g -го типа, сформирован следующий вид критерия эффективности поиска решения по определению состава комплектов требований этого g -го типа f_1^g (критерия эффективности принятия решения g -м игроком в неантагонистической игре $g^{\text{КОМ}}$ лиц):

$$f_1^g = \sum_{i=1}^n (n_{ig}^{\text{КОМ}} - N_g^{\text{КОМ}} \cdot w_{ig}). \quad (13)$$

Поиск ситуации равновесия ($N_1^{\text{КОМ}*}, N_2^{\text{КОМ}*}, \dots, N_g^{\text{КОМ}*}, \dots, N_{g^{\text{КОМ}}}^{\text{КОМ}*}$) в неантагонистической игре позволяет определить значения $n_{ig}^{\text{КОМ}}$ для каждого i -го типа требований, для которых значения критериев (19) для всех игроков будут эффективными (с точки зрения реализации ситуации равновесия). Таким образом, выражение (19) определяет вид критерия для каждого g -го игрока, который выполняет выбор составов комплектов g -го типа, исходя из условия ми-

нимизации количества требований, обработанных в составе групп партий N^z . В процессе поиска решений на первом уровне системы выполняется обмен требованиями между составами комплектов разных типов N_g^{KOM} ($g = \overline{1, g^{\text{KOM}}}$), на втором уровне выполняемые игроками ходы (Z игроков) предполагают обмен партиями требований между группами партий N^z ($z = \overline{1, Z}$) при поиске эффективных составов групп партий.

Обобщая введенные выражения для критериев, используемых при определении эффективных решений на соответствующих уровнях иерархии системы (10), (12), представим модель многоуровневого программирования определения составов партий, групп партий и расписаний обработки групп при формировании комплектов требований в следующем виде:

$$\text{первый уровень: а) } \min f_1^g, \quad f_1^g = \sum_{i=1}^n (n_{i_g}^{\text{KOM}} - N_g^{\text{KOM}} \cdot w_{i_g}) \quad \text{при } g = \overline{1, g^{\text{KOM}}};$$

$$\text{второй уровень иерархии (определение состава групп партий): } \min f_2^z,$$

$$f_2^z = \sum_{l=2}^L (t_{11}^{0l})^z + \sum_{l=1}^L \sum_{j=2}^{n_p^j} \left[(t_{j1}^{0l})^z - \left[(t_{j-1, n_{j-1}}^{0l})^z + \sum_{h=1}^{n^c} (t_h^l)^z \cdot p_{h, j-1}^z \right] \right] + \\ \sum_{l=2}^L \sum_{j=1}^{n_p^c} \sum_{q=2}^{n_j^c} \left[(t_{jq}^{0l})^z - \left[(t_{j, q-1}^{0l})^z + \sum_{h=1}^{n^c} (t_h^l)^z \cdot p_{hj}^z \right] \right] + \sum_{l=1}^L \{ t^z - [(t_{n_p^c, n_p^c}^{0l})^z + \sum_{h=1}^{n^c} (t_h^l)^z \cdot p_{h, n_p^c}^z] \}, \quad z = \overline{1, Z};$$

третий уровень иерархии (определение порядка обработки партий для группы): $\min f_3$,

$$f_3 = \sum_{l=2}^L (t_{11}^{0l})^z + \sum_{l=1}^L \sum_{j=2}^{n_p^j} \left[(t_{j1}^{0l})^z - \left[(t_{j-1, n_{j-1}}^{0l})^z + \sum_{h=1}^{n^c} (t_h^l)^z \cdot p_{h, j-1}^z \right] \right] + \\ \sum_{l=2}^L \sum_{j=1}^{n_p^c} \sum_{q=2}^{n_j^c} \left[(t_{jq}^{0l})^z - \left[(t_{j, q-1}^{0l})^z + \sum_{h=1}^{n^c} (t_h^l)^z \cdot p_{hj}^z \right] \right].$$

ограничения на первом уровне иерархии для определения комплектов: $n_{i_g}^{\text{KOM}} / w_{i_g}$ – целочисленные (при $i = \overline{1, n}$ и $g = \overline{1, g^{\text{KOM}}}$);

ограничение на третьем уровне иерархии для длительности реализации

расписаний обработки партий группы N^z : $\max_l [(t_{n_p^c, n_p^c}^{0l})^z + \sum_{h=1}^{n^c} (t_h^l)^z \cdot p_{h, n_p^c}^z] \leq t^z$.

Выводы. Результатом выполненных исследований является сформированная многоуровневая модель построения комплексных расписаний групповой обработки партий требований с формированием из обработанных требований комплектов заданных (различных) типов (при ограничении на время

реализации выполнения операций с требованиями групп партий). Достоинством использования сформированной модели является возможность определения: 1) эффективных составов партий (количество партий и число требований в них) таких, для которых общее количество требований, не вошедших в состав комплектов разных типов, будет минимальным, 2) эффективных составов групп партий, обрабатываемых в течение установленных временных интервалов, для которых общая эффективность использования оборудования системы будет максимальной (минимально неэффективное использование оборудования), 3) эффективного порядка обработки партий на приборах системы. При этом количество приборов в системе, количество групп партий, длительности обработки требований на приборах являются произвольными (т.е. отсутствуют какие-либо начальные упрощающие условия при поиске решений, задача решается в общем виде). Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку метода построения комплексных расписаний групповой обработки партий требований при формировании комплектов и наличии ограничений на длительности интервалов реализации операций с партиями требований в группах, соответствующего сформированной модели.

Список литературы: 1. *Петросян Л. А.* Теория игр. / *Л. А. Петросян, Н. А. Зенкевич, Е. А. Семина.* – М. : Высшая школа, 1999. – 300 с. 2. *Гермейер Ю. Б.* Игры с противоположными интересами. / *Ю. Б. Гермейер.* – М. : Наука, 1976. – 327 с. 3. *Ковалев М. М.* Модели и методы календарного планирования. Курс лекций. / *М. М. Ковалев.* – Минск : Изд-во БГУ, 2004. – 63 с. 4. *Кротов К. В.* Градиентный метод составления расписаний в многостадийной системе с одинаковым порядком обслуживания требований и одинаковым временем поступления. / *К. В. Кротов* // Сборник научных трудов «Оптимизация производственных процессов». вып. 12. – Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2010. – С.154–160.

Надійшла до редколегії 04.06.2013

УДК 519.2

Модель многоуровневого программирования построения расписаний обработки требований комплектов различных типов (при формировании групп партий)/ К. В. Кротов, В. Е. Шишкевич // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХП», 2013. – № 62 (1035). – С. 21–39. – Бібліогр.: 7 назв.

У роботі обґрунтовується модель багаторівневого програмування для формування ефективного складу груп партій, розкладів виконання операцій з ними при обробці вимог, що входять у комплекти різних типів, при наявності обмежень на тривалість інтервалів роботи системи.

Ключові слова: багаторівневе програмування, теорія розкладів, партії вимог, групи партій, комплекти вимог.

In the paper, the multi-level programming model for efficient composition of the groups of parties, scheduling of operations with the processing of claims included in the kits of different types, with restrictions on the duration of the intervals of the system.

Keywords: multilevel programming, scheduling theory, the party claims of the parties, sets requirements.