

УДК 004: 519.854

**ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ
РАСПИСАНИЙ ОБРАБОТКИ ПАРТИЙ ДАННЫХ
ПРИ УСЛОВИИ ОПЕРАТИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ
КОМПЛЕКТОВ ИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ**

К. В. Кротов

Севастопольский государственный университет

Поступила в редакцию 22.10.2018 г.

Аннотация. В работе обосновывается модель иерархической игры для определения составов партий данных и расписаний их обработки при условии оперативного формирования комплектов; формулируется метод упорядочивания типов комплектов с учетом требования оперативности их формирования; формулируется метод построения расписаний обработки партий, обеспечивающих оперативное формирование комплектов.

Ключевые слова: многостадийная конвейерная система, расписания обработки партий данных, комплекты результатов обработки, модель иерархической игры.

Annotation. In this paper, the hierarchical game model for determining data batches composition and schedules for their processing, considering operative data sets forming, is introduced; data sets types ordering method is formulated satisfying their operative forming requirement; data batches processing scheduling method is formulated, which guarantees operative data sets forming.

Keywords: multistage conveyor system, data batches processing schedules, processing result sets, hierarchical game model.

ВВЕДЕНИЕ

Современными способами идентификации наличия природных явлений и техногенных воздействий на окружающую среду (ОС), определения их характеристик и условий распространения являются Web-ориентированные сервисы мониторинга подстилающей поверхности с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), получаемых от различных центров хранения и предоставления этих данных. Различные природные явления и техногенные воздействия на ОС идентифицируются с использованием данных ДЗЗ разных типов. С использованием данных разных типов идентифицируются условия их распространения и развития. Одно-

временно к сервисам такого вида может осуществляться обращение большое количество пользователей. В соответствии с их запросами Web-ориентированные сервисы получают данные ДЗЗ от различных центров их хранения и предоставления. Поэтому в буфере накопления данных Web-ориентированных сервисов хранится большое количество наборов данных разных типа. Тематическая обработка данных ДЗЗ представляет собой последовательность этапов выполнения действий с ними. При обработке необходимо обеспечить оперативность откликов на запросы пользователей по идентификации природных явлений и техногенных воздействий, условий их развития и распространения. Поэтому с целью повышения оперативности выдачи результатов необходима конвейеризация обработки данных. В буфере хранения находятся наборы

данных разных типов, переход от обработки данных одного типа к обработке данных другого типа обеспечивается переналадкой сегментов конвейера на выполнение фрагментов программ, закрепленных за этими сегментами. Тогда повышение эффективности обработки данных обеспечивается формированием партий данных разных типов. Таким образом, наборы данных разных типов могут быть обработаны в системе целиком либо могут быть разбиты на части, называемые партиями данных. Партия данных – это совокупность данных одного типа, обработка которых выполняется без переналадки сегментов конвейера. В соответствии с этим процесс управления обработкой наборов данных разных типов в конвейерной системе предполагает определение эффективных составов партий и расписаний их обработки.

При реализации мониторинга земной поверхности с использованием данных ДЗЗ возникает необходимость определения условий развития и распространения природных явлений и техногенных воздействий на ОС, наличие которых было определено. При этом параметры разных видов, соответствующие условиям распространения природных явлений и техногенных воздействий на ОС, определяются на основе данных ДЗЗ различных типов. Тогда необходимо комплексирование результатов обработки данных при определении условий распространения природных явлений и техногенных воздействий. Так как в буфере приема накапливаются данные ДЗЗ от разных спутников, поэтому конвейерная система реализует обработку данных различных типов, соответствующих условиям распространения. Поскольку в буфере хранения данных системы мониторинга природных явлений и техногенных воздействий размещаются несколько наборов данных разных типов, тогда из результатов обработки разнотипных данных ДЗЗ формируются комплекты различных составов. Таким образом, решение задачи планирования обработки данных ДЗЗ разных типов с целью формирования комплектов из результатов обработки связано с необходимостью формирования партий данных соответствующих типов.

Комплект параметров (результатов обработки данных ДЗЗ) характеризует определенное природное явление и техногенное воздействие на ОС. Тогда комплект – это набор значений параметров, являющихся результатами обработки данных ДЗЗ разных типов, представляющих собой условия, необходимые для прогнозирования развития природного явления либо техногенного воздействия на ОС определенного типа.

В том случае, если в конвейерной системе выполняется обработка наборов данных ДЗЗ разных типов, то возникает задача управления процессом обработки этих данных. Управление процессом обработки данных должно быть реализовано таким образом, чтобы обеспечить выполнение требования оперативности выдачи результатов и, как следствие, требования оперативного формирования комплектов параметров, являющихся результатами обработки.

Решение задачи управления процессом обработки партий данных в конвейерной системе предполагает построение комплексных расписаний обработки этих партий. Тогда решение задачи построения расписаний обработки партий данных с учетом требования формирования комплектов из результатов обработки предполагает решение подзадач: определения составов партий данных, построения расписаний обработки партий, распределения результатов обработки по комплектам заданных составов.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В работе [1] выполнен анализ существующих способов управления обработкой данных в Web-ориентированных системах мониторинга ОС. Способы управления процессом обработки данных ДЗЗ предполагают, что в случае наличия требуемого количества ресурсов на вычислительном устройстве (ВУ) для данных определенного типа, диспетчирующее устройство формирует сценарий обработки, который передается на это ВУ для интерпретации. Поступление в систему новых данных вызывает повторную генерацию диспетчирующим устройством сценариев об-

работки, повторную передачу этих сценариев на освободившееся ВУ и интерпретацию этих сценариев. Это приводит к повторной активизации обрабатываемых процедур (загрузка в ОП, запуск на выполнение и т. д.). Исключить указанные недостатки позволяет подход, предусматривающий объединение однотипных данных в группы, называемые партиями. Так как партия – это совокупность данных одного типа, обрабатываемых в конвейере без его переналадки на обработку данных другого типа, то формирование партий позволяет исключить повторяющееся построение сценариев для однотипных данных и передачу их на ВУ.

Анализ современных методов решения задач определения составов партий и расписаний их обработки представлен в работе [2]. Для решения задач определения эффективных составов партий используются подходы на основе частично целочисленного линейного программирования (ЧЦЛП), эвристических процедур и алгоритмы локальной оптимизации для задач в упрощенной постановке (один обрабатывающий прибор, директивные сроки обработки партий). Однако упомянутые методы обладают рядом недостатков: 1) для аппарата ЧЦЛП – при большой размерности задачи получение решения является затруднительным, решения по составам партий формируются без учета расписаний обработки; 2) для методов формирования партий с учетом директивных сроков обработки на одном приборе – решения по составам партий не являются эффективными, а только удовлетворяют директивным срокам; 3) для эвристических процедур – не позволяют получить эффективные решения, приближающиеся к оптимальным. При этом методы определения составов партий и расписаний их обработки не учитывают необходимость формирования комплектов из результатов. В силу сказанного является актуальной задача разработки методов определения эффективных составов партий и расписаний их обработки с учетом требования формирования комплектов.

ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель работы состоит в совершенствовании методов решения комплексной задачи определения составов партий и расписаний их обработки в конвейерных системах при условии формирования комплектов из результатов. Достижение цели обеспечивается декомпозицией обобщенной функции системы на совокупность иерархически упорядоченных подфункций. На основании предложенного иерархического подхода достижение цели обеспечивается решением задач: а) обоснования модели процесса обработки партий данных в конвейерной системе при условии формирования комплектов, вида критериев оптимизации решений на уровнях иерархии (модели иерархической игры для оптимизации составов партий и расписаний их обработки с учетом требования формирования комплектов); б) обоснования метода оперативного формирования комплектов из результатов обработки; в) обоснования метода поиска локально оптимальных решений по расписаниям обработки партий при условии оперативного формирования комплектов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Под конвейеризацией выполнения программы подразумевается разделение её на фрагменты, каждый из которых закреплён за соответствующим сегментом конвейера. Маршруты обработки данных всех типов одинаковы, строго фиксированы и предполагают прохождение ими всех сегментов конвейера. Обозначим: l – индекс сегмента конвейера ($l = \overline{1, L}$), n – количество типов данных, обрабатываемых в системе, i – идентификатор типа данных ($i = \overline{1, n}$). Количество элементов в наборе данных, характеризуемых индексом i , обозначим как n^i . Данные i -го типа ($i = \overline{1, n}$) обрабатываются соответствующей программой. В системе используется n типов программ, обрабатывающих данные i -х типов ($i = \overline{1, n}$). Для формирования решений по составам партий данных введены обозначения: m_i – количество партий данных i -го

типа ($i = \overline{1, n}$), формируемых на первом уровне принятия решений, элементы m_i образуют вектор M , соответствующий количествам партий данных n типов; A – матрица, элемент a_{ih} которой – это количество данных i -го типа в h -й партии ($h = \overline{1, m_i}$). Решение, формируемое на верхнем уровне иерархии системы имеет вид: $[M, A]$, где M – вектор количества партий данных i -х типов ($i = \overline{1, n}$), A – матрица составов партий. В соответствии с решением по составам партий требуется определить последовательности их обработки на сегментах конвейера, т. е. расписание обработки партий. Расписание обработки партий обозначим как π . Оно представляет собой набор (множество) последовательностей π^l запуска партий на обработку на l -х сегментах конвейера ($l = \overline{1, L}$). Расписание π формируется в предположении, что порядок обработки партий данных является одинаковым на всех сегментах конвейера. Для формализации вида последовательностей π^l расписания π в рассмотрении введена матрица порядка обработки партий P . Элемент $p_{ij} = 1$, если партия данных i -го типа занимает в последовательности π^l j -ю позицию, $p_{ij} = 0$ в случае, если партия данных i -го типа не занимает в последовательности π^l j -ю позицию, размерность матрицы $n \times n_p$, где n – количество типов данных, n_p – количество партий в последовательностях π^l ($n_p = \sum_{i=1}^n m_i$). Порядок обработки партий на всех сегментах конвейера одинаков, поэтому достаточно определения одной матрицы порядка P . В рассмотрение введена матрица R – матрица количества данных i -х типов в партиях, занимающих в последовательностях π^l j -е позиции (r_{ij} – количество данных i -го типа в партии, занимающей j -ю позицию в π^l).

Для формализации вида двухуровневой модели принятия решений по составам партий и расписаниям их обработки в конвейерной системе введены следующие обозначения [2, 3]: (t_i^l) – вектор длительностей обработки данных i -х типов на l -м сегменте конвейера ($l = \overline{1, L}$); (t_{jq}^{0l}) – матрица моментов времени начала обработки q -х данных в партиях, занимающих в π^l j -е позиции (q – порядковый

номер данных в партии в j -й позиции в π^l ($q = \overline{1, n_j}$, $n_j = \sum_{h=1}^n r_{hj}$, где n_j – количество данных в партии, занимающей j -ю позицию в π^l). Значения t_{jq}^{0l} определяются в соответствии с выражениями модели вычислительного процесса обработки партий данных, рассмотренной в [3]. На основе параметров t_{jq}^{0l} формируется модель оптимизации решений по расписаниям обработки партий. Вид критерия оптимизации решений по расписаниям обработки партий обоснован в [3].

С целью решения задачи управления процессом обработки партий данных выполнена декомпозиция обобщенной цели функционирования системы на совокупность иерархически упорядоченных целей подсистем (подзадач, решаемых на иерархически упорядоченных уровнях системы построения комплексных расписаний обработки партий данных) следующим образом: первый – решения по составам партий данных вида $[M, A]$, второй – решения по порядкам обработки сформированных партий на сегментах конвейера в виде $[P, R, \{(t_{jq}^{0l}) | l = \overline{1, L}\}]$. Решения по составам партий, сформированные на первом уровне, передаются на второй уровень для построения расписаний их обработки. Сформированные эффективные решения по расписаниям обработки партий передаются на первый уровень для распределения результатов, получаемых при обработке партий, по соответствующим комплектам и определения эффективности решений по составам партий. То есть результаты по мере их готовности при завершении обработки каждой из партий распределяются по комплектам. Тогда на первом уровне иерархии подсистем выполняется решение двух взаимосвязанных задач: определения составов партий (решений вида $[M, A]$); формирования комплектов из результатов обработки данных в партиях с учетом определенного на втором уровне иерархии эффективного решения по порядкам их (партий) обработки $[P, R, \{(t_{jq}^{0l}) | l = \overline{1, L}\}]^*$.

В соответствии с выполненными рассуждениями управление процессом обработки партий данных в конвейерной системе при условии формирования комплектов заданных составов предполагает: 1) определение

составов партий данных, обрабатываемых в системе (решений вида $[M, A]$); 2) определение порядка обработки партий данных – расписаний обработки партий в виде $[P, R, \{(t_{jq}^{0l}) | l = \overline{1, L}\}]^*$; 3) распределение результатов, полученных при обработке партий данных, по комплектам заданных составов. Метод построения расписаний обработки партий предполагает определение такого порядка выполнения операций с ними, который обеспечивает оперативное формирование комплектов.

Для формализации модели процесса обработки партий данных в конвейерной системе при условии формирования комплектов в рассмотрение введены следующие обозначения. Через g обозначен идентификатор типа комплекта, который формируется из результатов обработки данных, через g^{KOM} – общее количество типов формируемых комплектов. Комплект результатов обработки данных представляет собой совокупность данных, при этом количество данных каждого i -го типа ($i = \overline{1, n}$), входящих в комплект одного (g -го) типа, является заданным. Данные всех n типов входят в определенном количестве в составы комплектов каждого типа. Через w_{ig} обозначено количество данных i -го типа, которые должны входить в один комплект g -го типа. В рассмотрение введена матрица W , значения элементов w_{ig} которой равны числу данных i -го типа, которые включаются в один комплект g -го типа. Таким образом количество результатов обработки данных i -го типа, включаемых в комплект g -го типа, обозначенное через w_{ig} , соответствует i -й компоненте одного комплекта g -го типа.

Через n_g^{KOM} обозначим количество комплектов g -го типа, которые должны быть сформированы из результатов обработки данных i -х типов ($i = \overline{1, n}$). То есть количество комплектов заданного типа соответствует количеству однотипных явлений на земной поверхности, которые обнаружены к текущему моменту времени, и для которых должны быть сформированы наборы параметров, характеризующих условия их развития (распространения). Тогда количество n^i данных каждого i -го типа ($i = \overline{1, n}$), которые будут обработаны в системе

с целью идентификации условий развития (распространения) природных явлений и техногенных воздействий, определяется следующим образом: $n^i = \sum_{g=1}^{g^{KOM}} n_g^{KOM} \cdot w_{ig}$. В итоге все поступившие на вход системы для обработки данные будут использованы при формировании комплектов разных типов. Через h_g обозначим номер сформированного комплекта g -го типа, тогда $h_g = 1, n_g^{KOM}$.

Входными данными для построения комплексных расписаний обработки партий при формировании комплектов являются: типы i ($i = \overline{1, n}$) данных, обрабатываемых в системе; количество данных $n^i \geq 2$ каждого i -го типа, которые должны быть обработаны; количество типов формируемых комплектов g^{KOM} ; количество комплектов каждого типа n_g^{KOM} ($g = \overline{1, g^{KOM}}$); матрица W , элемент w_{ig} которой равен количеству данных i -го типа, которые должны входить в один формируемый комплект g -го типа ($i = \overline{1, n}$; $g = \overline{1, g^{KOM}}$); вектора (t_i^l) длительностей обработки данных i -х типов на l -х сегментах конвейера ($l = \overline{1, L}$); матрицы (t_{ij}^l) длительностей переналадок l -х сегментов конвейера с обработки данных i -го типа на обработку данных j -го типа. Значение элемента t_{ii}^l равно длительности первоначальной наладки l -го сегмента конвейера на обработку данных i -го типа ($i = \overline{1, n}$). Выходными решениями, обеспечивающими формирование комплектов с учетом вводимых в рассмотрение критериев являются: количество и составы партий данных i -х типов ($i = \overline{1, n}$); расписания обработки партий данных в конвейерной системе.

В силу требования оперативности идентификации условий развития (распространения) природных явлений и техногенных воздействий, полученные результаты распределяются по комплектам по мере окончания обработки партий в системе. При формировании расписаний обработки партий данных i -х типов состав партий не изменяется (значения m_i и a_{ih} , поступившие с верхнего уровня, изменены быть не могут).

В соответствии с обозначениями t_{jq}^{0l} для моментов времени начала обработки q -х данных в партиях, занимающих в последователь-

ностях обработки π^l j -е позиции, введено обозначение t_{jq}^l для момента времени окончания обработки на l -м сегменте q -х данных в партии в j -й позиции в последовательности π^l ($l = \overline{1, L}$). По аналогии вводится обозначение для моментов времени окончания обработки в системе (соответственно, на L -м сегменте конвейера) требуемого количества w_{ig} данных i -го типа, включаемых в формируемый h_g -й комплект g -го типа ($h_g = 1, n_{g^{KOM}}$, $g = 1, g^{KOM}$) в виде: t_{i,h_g}^g . Момент времени t_{i,h_g}^g равен моменту времени окончания обработки партии, результаты из которой позволяют закончить формирование i -й компоненты h_g -го комплекта g -го типа, характеризуемой значением w_{ig} .

Таким образом, t_{i,h_g}^g – это момент времени окончания обработки партии данных i -го типа, результаты из которой включаются в i -ю компоненту h_g -го комплекта g -го типа таким образом, чтобы их количество в этой компоненте соответствовало значению w_{ig} .

В силу сказанного для h_g -го комплекта g -го типа ($h_g = 1, n_{g^{KOM}}$, $g = 1, g^{KOM}$) определен вектор моментов времени окончания обработки всех данных i -х типов (в требуемом их количестве w_{ig} при $i = 1, n$), обозначенный в виде $T_{h_g}^g$, формируемый из значений t_{i,h_g}^g . Вектор $T_{h_g}^g$ является h_g -м столбцом матрицы T^g , компонентами которой являются элементы t_{i,h_g}^g . То есть элементами t_{i,h_g}^g матрицы T^g являются моменты времени окончания формирования i -х компонент в количестве w_{ig} в h_g -х комплектах g -го типа (размерность матрицы $n \times n_{g^{KOM}}$).

Тогда на верхнем (первом) уровне с использованием решения по порядкам обработки партий данных $[P, R, \{(t_{jq}^{0l}) | l = \overline{1, L}\}]^*$, сформированного для соответствующего решения по составам партий $[M, A]$, определяются матрицы T^g ($g = 1, g^{KOM}$) значений моментов времени окончания формирования i -х компонент в h_g -х комплектах g -х типов ($g = 1, g^{KOM}$).

Для каждого h_g -го комплекта g -го типа ($g = 1, g^{KOM}$) вводится в рассмотрение параметр, обозначенный как t_{g,h_g}^{KOM} , соответствующий моменту времени окончания его форми-

рования. Значения t_{g,h_g}^{KOM} определяются на основе значений t_{i,h_g}^g следующим образом: $t_{g,h_g}^{KOM} = \max_i [t_{i,h_g}^g]$ (максимальное значение в h_g -м столбце матрицы T^g , соответствующей комплектам g -го типа ($g = 1, g^{KOM}$)). То есть момент времени окончания формирования h_g -го комплекта g -го типа определяется как максимум среди моментов времени окончания формирования каждой его i -й компоненты ($i = 1, n$).

Цель управления процессом обработки состоит в оперативности формирования комплектов из результатов обработки данных по мере завершения выполнения в системе операций с партиями. Таким образом, в случае завершения выполнения обработки партии, получаемые результаты распределяются по комплектам и для каждого комплекта определяется момент времени t_{g,h_g}^{KOM} его формирования. Так как значения t_{g,h_g}^{KOM} для каждого h_g -й комплекта g -го типа ($g = 1, g^{KOM}$) вычисляются на основе значений элементов t_{i,h_g}^g матриц T^g , тогда эти матрицы образуют решение по распределению результатов по комплектам, формируемое на основе решения $[P, R, \{(t_{jq}^{0l}) | l = \overline{1, L}\}]^*$ на втором (нижнем) уровне иерархии.

Общий вид модели иерархической игры для определения составов партий при условии формирования комплектов в соответствии с введенными обозначениями следующий:

$$- \text{первые уровень:} \\ f_1([M, A][P, R, \{(t_{jq}^{0l}) | l = \overline{1, L}\}]^*, \\ \{T^g | g = 1, g^{KOM}\}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$- \text{второй уровень:} \\ f_2([M, A][P, R, \{(t_{jq}^{0l}) | l = \overline{1, L}\}]^*) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Если для h_g -го комплекта g -го типа компоненты всех i -х типов в количестве w_{ig} ($i = 1, n$) подготовлены, тогда этот комплект является сформированным в качестве условия распространения (развития) соответствующего природного явления или техногенного воздействия на ОС. Оперативность формирования каждого h_g -го комплекта g -го типа ($h_g = 1, n_{g^{KOM}}$, $g = 1, g^{KOM}$) характеризуется минимальным значением момента времени t_{g,h_g}^{KOM} .

Выполнение операций со всеми партиями данных i -х типов ($i = 1, n$) в конвейерной системе начинается в момент времени $d_i = 0$. Значение $t_{g,1}^{KOM}$ характеризует интервал времени обработки данных в партиях с целью формирования первого комплекта g -го типа (временные затраты на обработку данных в партиях, связанные с формированием первого комплекта g -го типа). Во второй комплект g -го типа могут быть включены результаты обработки данных из партий, для которых $\left[t_{j,n_j}^{0L} + \sum_{h=1}^n t_h^L \cdot p_{h,j} \right] < \overline{t_{g,1}^{KOM}}$ (результаты, полностью формирующие некоторую i -ю компоненту второго комплекта g -го типа, получены при обработке партии в j -й позиции в π^l ($l = 1, L$), выполнение операций с которой завершается до окончания формирования первого комплекта g -го типа). Таким образом, результаты обработки данных некоторого i -го типа в партии в j -й позиции в π^l ($l = 1, L$) могут быть распределены по i -м компонентам нескольких комплектов g -го типа (либо g -х типов, $g = 1, g^{KOM}$). Поэтому интервал времени, затраченный на получение результатов, из которых формируется второй комплект g -го типа характеризуется значением $t_{g,2}^{KOM}$. Аналогичные рассуждения могут быть применены для любого h_g -го комплекта g -го типа. Тогда, временные затраты на обработку данных в партиях с целью формирования всех h_g -х комплектов ($h_g = 1, n_g^{KOM}$) g -го типа определяются выражением $\sum_{h_g=1}^{n_g^{KOM}} \overline{t_{g,h_g}^{KOM}}$. Оперативность формирования комплектов g -го типа обеспечивается составами партий, для которых значение, получаемое с использованием приведенного выражения является минимальным. Поэтому для комплектов каждого g -го типа ($g = 1, g^{KOM}$) требуется обеспечить минимизацию интервалов времени, затрачиваемых на их формирование. В итоге по всем g -м типам комплектов необходимо выполнить совместную минимизацию значений временных затрат, связанных с обработкой данных в партиях с целью получения результатов, из которых формируются комплекты. Тогда вид

выражения, с использованием которого реализуется определение суммарных временных затрат на формирование комплектов g -х типов ($g = 1, g^{KOM}$) следующий: $\sum_{g=1}^{g^{KOM}} \sum_{h_g=1}^{n_g^{KOM}} \overline{t_{g,h_g}^{KOM}}$. Данное выражение представляет собой аддитивную свертку выражений (критериев), определяющих временные затраты на формирование всех комплектов каждого g -го типа ($g = 1, g^{KOM}$).

Эффективность применения метода определения составов партий для задачи управления обработкой данных при формировании комплектов определяется путем сравнения получаемых решений с решением для фиксированных партий. В случае обработки фиксированных партий все комплекты формируются одновременно в момент времени окончания обработки последней партии. В этом случае выражение $\sum_{g=1}^{g^{KOM}} \sum_{h_g=1}^{n_g^{KOM}} \overline{t_{g,h_g}^{KOM}}$ не является приемлемым для определения числовой характеристики решения. Поэтому для идентификации характеристик решений предложен способ, позволяющий определить средние временные затраты на обработку данных, связанные с получением результатов, из которых формируются комплекты (средний интервал времени, затрачиваемый на обработку данных в партиях для получения результатов, из которых формируются комплекты). Выражение для определения средних временных затрат на выполнение операций с данными в партиях, из результатов обработки которых формируются комплекты, имеет вид $\left(\sum_{g=1}^{g^{KOM}} \sum_{h_g=1}^{n_g^{KOM}} \overline{t_{g,h_g}^{KOM}} \right) / \left(\sum_{g=1}^{g^{KOM}} n_g^{KOM} \right)$. Предложенное выражение используется в качестве критерия для оптимизации решений по составам партий при реализации требования оперативности и равномерности формирования комплектов из результатов обработки.

На основе подхода, рассмотренного в [3], построение расписаний обработки партий на нижнем уровне иерархии реализуется в точки зрения минимизации общего суммарного простоя сегментов конвейера при обработке всех сформированных партий. Для рассма-

триваемой задачи принятия решений по расписаниям обработки партий предложен метод определения порядка их обработки. Этот метод предусматривает добавление партий в последовательности π^l ($l = 1, L$) таким образом, чтобы обеспечить наиболее быстрое формирование комплектов всех g^{KOM} типов. Порядок обработки партий в последовательностях π^l оптимизируется с точки зрения минимизации суммарного времени простоя сегментов конвейера (по аналогии с [3]).

Тогда модель двухуровневой иерархической игры, позволяющей реализовать определение составов партий, гарантирующих оперативность формирования комплектов с условиями развития природных явлений и техногенных воздействий на ОС, имеет следующий вид:

– первые уровень:

$$\min f_1, \quad f_1 = \left(\sum_{g=1}^{g^{KOM}} \sum_{h_g=1}^{n_g^{KOM}} t_{g,h_g}^{KOM} \right) / \left(\sum_{g=1}^{g^{KOM}} n_g^{KOM} \right); \quad (3)$$

– второй уровень [3]:

$$\min f_2, \quad (4)$$

$$f_2 = \sum_{l=2}^L t_{11}^{0l} +$$

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

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

Распределение результатов обработки данных в партиях по комплектам разных типов предполагает определение значений t_{g,h_g}^{KOM} ($h_g = 1, n_g^{KOM}$, $g = 1, g^{KOM}$) на основе расписания обработки этих партий в конвейерной системе. Распределение результатов обработки данных по комплектам реализуется с учетом порядка обработки партий в расписаниях, сформированных для определенного решения по их составам. То есть комплекты формируются по мере готовности результатов, полученных при обработке партий данных, а при реализации распределения результатов обработки по комплектам определяются значения t_{g,h_g}^{KOM} ($h_g = 1, n_g^{KOM}$, $g = 1, g^{KOM}$) и значения критерия, характеризующего решения по составам партий данных.

На нижнем уровне принятия решений реализуется метод определения порядка обработки партий, предусматривающий добавление партий в последовательности π^l ($l = 1, L$) таким образом, чтобы обеспечить наиболее быстрое формирование комплектов всех g^{KOM} типов. С целью распределения результатов обработки по комплектам введен способ предварительного упорядочивания идентификаторов комплектов g ($g = 1, g^{KOM}$).

В рассмотрение введены обозначения, которые позволят сформулировать метод упорядочивания идентификаторов комплектов с целью их последующего формирования из результатов обработки: K^{KOM} – исходное множество идентификаторов типов комплектов, которые формируются из результатов обработки данных (первоначальный вид множества $K^{KOM} = \{1, 2, \dots, g^{KOM}\}$); K_y^{KOM} – множество идентификаторов типов комплектов, упорядоченное в соответствии с рассматриваемым способом; g' – идентификатор типа комплекта, выделяемый из множества K^{KOM} в соответствии с введенным в рассмотрение признаком и добавляемый в множество K_y^{KOM} ; h – позиция идентификатора g' типа комплекта, на которой он размещается в множестве K_y^{KOM} ; g_h – идентификатор типа комплекта, занимающий в множестве K_y^{KOM} h -ю позицию; w_g^{omni} – параметр, обратный относительной сложности формирования комплекта g -го типа, вычисляемый по формуле $w_g^{omni} = \frac{\max(w_{ig}) - \min(w_{ig})}{\max(w_{ig})}$

(т. е. большее значение параметра w_g^{omni} соответствует простому для формирования типу комплекта, меньшее значение w_g^{omni} соответствует сложному для формирования типу комплекта), st_{i,h_g} – счетчик количества результатов обработки данных i -го типа, добавленных в h_g -й комплект g -го типа ($h_g = 1, n_g^{KOM}$). Тогда, вводимый в рассмотрение способ обеспечивает формирование упорядоченного множества K_y^{KOM} типов комплектов на основе исходного множества K^{KOM} .

Первый этап способа формирования упорядоченного множества K_y^{KOM} типов комплектов имеет следующую последовательность шагов:

1) формирование исходного множества K^{KOM} в виде: $K^{KOM} = \{1, 2, \dots, g^{KOM}\}$;

2) задание значения позиции h в множестве K_y^{KOM} для рассматриваемого типа данных g' равной g^{KOM} ($h = g^{KOM}$);

3) среди типов данных $g \in K^{KOM}$ выбирается такой тип данных g' , для которого выполняется следующее условие: $\max_i(w_{ig'}) = \max_g \max_i(w_{ig})$;

4) тип комплектов g' добавляется в множество K_y^{KOM} на позицию h и исключается из множества K^{KOM} : $K_y^{KOM} = K_y^{KOM} \cup \{g'\}$, $K^{KOM} = K^{KOM} \setminus \{g'\}$;

5) модификация значения h позиции типа комплектов g' в множестве K_y^{KOM} : $h = h - 1$; если выполняется условие $K^{KOM} \neq \emptyset$, то реализуется переход на шаг 3;

6) в случае $K^{KOM} = \emptyset$ выполнено первоначальное упорядочивание типов комплектов g в множестве K_y^{KOM} .

В результате реализации рассмотренной последовательности шагов типы комплектов g упорядочиваются в множестве K_y^{KOM} в соответствии с значениями $\max_i(w_{ig})$, т. е. множество K_y^{KOM} определено в виде $K_y^{KOM} = \{g_h | h = 1, g^{KOM}\}$, где типы комплектов g_h и g_{h+1} размещаются на h -й и $(h+1)$ -й позициях в этом множестве в том случае, если $\max_i(w_{ig_h}) < \max_i(w_{ig_{h+1}})$. После формирования с использованием рассмотренного способа первоначального вида множества K_y^{KOM} , реализуется уточнение h -х позиций типов комплектов $g_h \in K_y^{KOM}$ при выполнении условия для подряд идущих идентификаторов g_h и g_{h+1} вида: $\max_i(w_{ig_h}) = \max_i(w_{ig_{h+1}})$. Уточнение (изменение) позиций h и $(h+1)$ для типов комплектов g_h и g_{h+1} , для которых $\max_i(w_{ig_h}) = \max_i(w_{ig_{h+1}})$ выполняется в соответствии со следующей последовательностью шагов:

1) в множестве $K_y^{KOM} = \{g_h | h = 1, g^{KOM}\}$ определяются такие типы комплектов g_h и g_{h+1} , для которых выполняется условие $\max_i(w_{ig_h}) = \max_i(w_{ig_{h+1}})$;

2) для определенных таким образом типов комплектов g_h и g_{h+1} выполняется вычисление значений параметров $w_{g_h}^{omh}$ и $w_{g_{h+1}}^{omh}$; в том случае, если для параметров $w_{g_h}^{omh}$ и $w_{g_{h+1}}^{omh}$ выполняется условие $w_{g_h}^{omh} < w_{g_{h+1}}^{omh}$, тогда для рассматриваемых типов комплектов g_h и g_{h+1}

производится обмен их позициями в множестве K_y^{KOM} ;

3) приведенные в п. 1) и 2) действия выполняются для всех типов комплектов, для которых выполняется условие $\max_i(w_{ig_h}) = \max_i(w_{ig_{h+1}})$.

В итоге на основе множества K_y^{KOM} вида $K_y^{KOM} = \{g_1, g_2, \dots, g_h, g_{h+1}, \dots, g_{g^{KOM}}\}$ формируется новое множество $(K_y^{KOM})'$ следующего вида $(K_y^{KOM})' = \{g_1, g_2, \dots, g_{h+1}, g_h, \dots, g_{g^{KOM}}\}$. Полученное множество $(K_y^{KOM})'$ используется при распределении результатов обработки данных в партиях в конвейерной системе по комплектам. Распределение результатов обработки по комплектам предусматривает определение моментов времени t_{g, h_g}^{KOM} окончания формирования каждого h_g -го комплекта g -го типа ($h_g = 1, n_g^{KOM}$, $g = 1, g^{KOM}$). При распределении результатов обработки данных по комплектам используется динамически изменяющаяся копия множества $(K_y^{KOM})'$, обозначенная как $(K_y^{KOM})''$.

Алгоритм определения моментов времени t_{i, h_g}^g ($i = 1, n$, $g = 1, g^{KOM}$, $h_g = 1, n_g^{KOM}$) окончания формирования i -х компонент во всех h_g -х комплектах всех g -х типов (распределения результатов обработки данных по комплектам) в соответствии с расписанием $[P, R, \{(t_{jq}^{ol}) | l = 1, L\}]^*$, имеет следующий порядок шагов:

1) для всех g -х типов комплектов ($g = 1, g^{KOM}$) задание значения параметра h_g равным 1 ($h_g = 1$); инициализация множества $(K_y^{KOM})''$: $(K_y^{KOM})'' = (K_y^{KOM})'$;

2) для каждого i -го типа данных задание значения параметра h_i , используемого при реализации алгоритма, равным 0 ($h_i = 0$);

3) задание индекса i' типа результатов обработки данных, которые будут распределяться по комплектам g -х типов ($g = 1, g^{KOM}$): $i' = \min\{i | i \in I\}$, где I – множество типов данных, партии которых обрабатываются в системе; $I = I \setminus \{i'\}$;

4) задание идентификатора g' типа комплектов, в которые будут включаться данные i' -го типа: $g' = \min\{g_h | g_h \in (K_y^{KOM})''\}$; $(K_y^{KOM})'' = (K_y^{KOM})'' \setminus \{g'\}$; в соответствии с определен-

ным таким образом типом комплекта g' реализуется идентификация значения n_g^{KOM} количества комплектов этого типа;

5) задание значений счетчиков st_{i',h_g} количества данных i' -го типа, добавленных в h_g -е комплекты g' -го типа, равными 0 ($st_{i',h_g} = 0, h_g = 1, n_{g'}^{KOM}$);

6) определение для i' -го типа позиции h партии в последовательности π^L , данные из которой будут включаться в h_g -й комплект g' -го типа, где h – номер позиции партии i' -го типа в π^L такой, что $r_{i',h} \neq 0$ при $h = h_{i'} + 1, n_p$;

7) если $st_{i',h_g} < w_{i',g'}$, то выполняется переход на шаг 8; если $st_{i',h_g} = w_{i',g'}$, то реализуется переход на шаг 9;

8) если $r_{i',h} > 0$, то выполняется модификация st_{i',h_g} и $r_{i',h}$: $st_{i',h_g} = st_{i',h_g} + 1$; $r_{i',h} = r_{i',h} - 1$; выполняется переход на шаг 7; если $r_{i',h} = 0$, то реализуется присваивание $h_{i'} = h$ (где h – текущий номер партии данных i' -го, распределяемой по комплектам) и переход на шаг 6;

9) определение значения: $t_{i',h_g}^{g'} = t_{h,n_h}^{OL} + \sum_{q=1}^n t_q^L \cdot p_{q,h}$ ($t_{i',h_g}^{g'}$ – элемент матрицы $T^{g'}$ моментов времени окончания формирования i -х компонент h_g -х комплектов g' -го типа), модификация индекса формируемого комплекта g' -го типа: $h_g = h_g + 1$; если $h_g \leq n_{g'}^{KOM}$, то выполняется переход на шаг 7; если $h_g > n_{g'}^{KOM}$, то выполняется переход на шаг 10;

10) проверка условия $(K_y^{KOM})^n = \emptyset$; в случае его выполнения – переход на шаг 11; при выполнении условия $(K_y^{KOM})^n \neq \emptyset$ задание идентификатора вида комплекта g' , в который будут включаться данные i' -го типа: $g' = \min\{g_h \mid g_h \in (K_y^{KOM})^n\}$; $(K_y^{KOM})^{h'} = (K_y^{KOM})^n \setminus \{g'\}$; задание значений счетчиков st_{i',h_g} количества данных i' -го типа, добавленных в h_g -е комплекты g' -го типа, равными 0 ($st_{i',h_g} = 0, h_g = 1, n_{g'}^{KOM}$); переход на шаг 7;

11) проверка условия $I = \emptyset$, при его выполнении реализуется переход на шаг 12; при выполнении условия $I \neq \emptyset$ осуществляется модификация идентификатора типа результатов i' , которые распределяются по комплектам g -х типов ($g = 1, g^{KOM}$): $i' = \min\{i \mid i \in I\}$,

$I = I \setminus \{i'\}$; выполняется инициализация множества $(K_y^{KOM})^n$: $(K_y^{KOM})^n = (K_y^{KOM})^n$; реализуется переход на шаг 3;

12) останов алгоритма.

Значения $t_{i',h_g}^{g'}$ элементов матриц $T^{g'}$ ($g = 1, g^{KOM}$) используются для определения моментов времени t_{g,h_g}^{KOM} окончания формирования каждого h_g -го комплекта ($h_g = 1, n_{g'}^{KOM}$) g -го типа и последующего вычисления значений критерия (3), характеризующих решения по составам партий на верхнем уровне иерархии. Таким образом, итогом реализации алгоритма является как распределение результатов обработки данных в партиях по комплектам, так и вычисление значения критерия f_1 , который определен для решения $[P, R, \{(t_{jq}^{OL}) \mid l = 1, L\}]^*$ и характеризует решение $[M, A]$ по составам партий данных на верхнем уровне иерархии.

Построение расписаний обработки партий данных реализуется для определенного на верхнем уровне решения по составам партий с учетом требования оперативности формирования комплектов. Метод построения расписаний обработки партий предусматривает последовательное добавление в π^l ($l = 1, L$) по одной партии каждого i -го типа ($i = 1, n$), определение эффективного порядка обработки этих партий, затем размещение в π^l ($l = 1, L$) следующих партий каждого i -го типа и их упорядочивание в π^l ($l = 1, L$) и т. д. пока все партии данных каждого типа не будут добавлены в π^l ($l = 1, L$).

Для реализации метода построения расписаний обработки партий при условии формирования комплектов использовано множество I' , дублирующее исходное множество типов данных I , что обеспечит последовательное добавление в π^l ($l = 1, L$) по одной партии каждого i -го типа. В соответствии с обозначениями [3] параметр n_p – это общее количество партий, сформированных на первом уровне иерархии ($n_p = \sum_{i=1}^n m_i$), которые должны быть добавлены в последовательности в π^l ($l = 1, L$), m_i^p – количество партий i -го типа, которые добавлены в последовательности π^l ($l = 1, L$), s – обозначение индекса текущего шага алгоритма. Также при реализа-

ции алгоритма используется идентификатор (номер) столбца v^{\max} в матрицах $P(s)$ и $R(s)$, в котором будут размещаться значения параметров, соответствующих рассматриваемой партии данных i -го. Первоначальная инициализация v^{\max} : $v^{\max} = 1$.

Последовательность шагов алгоритма формирования расписаний обработки партий при условии формирования комплектов имеет следующий вид:

1) для каждого i -го типа данных ($i = \overline{1, n}$) идентификаторы (номера) партий h_i (номера элементов в i -х строках матрицы A ($h_i = \overline{1, m_i}$), данные которых в количестве a_{i, h_i} размещаются в последовательностях π^l ($l = \overline{1, L}$), инициализируются значениями 1 ($h_i = 1$); параметры m_i^p инициализируются значениями 0 ($m_i^p = 0, i = \overline{1, n}$); задание идентификатора s шагом алгоритма равным 1 ($s = 1$);

2) определениек i -го типа данных, партия которого размещается в последовательностях π^l ($l = \overline{1, L}$): $i' = \min\{i \mid i \in I'\}$, $I' = I \setminus \{i'\}$;

3) добавляемая в π^l партия данных i' -го типа в количестве $a_{i', h_{i'}}$ элементов размещается в конце этих последовательностей π^l ($l = \overline{1, L}$); для этого в i' -й строке v^{\max} -го столбца матриц $P(s)$ и $R(s)$ задаются значения, соответствующие этой партии: $p_{i', v^{\max}} = 1$; $r_{i', v^{\max}} = a_{i', h_{i'}}$; $p_{k, v^{\max}} = 0, r_{k, v^{\max}} = 0$ при $k = \overline{1, n}$ и $k \neq i'$; сформированное решение фиксируется как локально оптимальное решение: $[P, R]^* = [P(s), R(s)]$;

4) значение g индекса шага формирования текущего промежуточного решения инициализируется значением 1; индексу текущего рассматриваемого столбца v матриц $P(s)$ и $R(s)$ присваивается значение v^{\max} ($v = v^{\max}$); выполняются модификация v^{\max} : $v^{\max} = v^{\max} + 1$;

5) на основе матриц $P(s)$ и $R(s)$ реализуется вычисление матриц $(t_{jq}^{0l}(s))$ ($l = \overline{1, L}$);

6) выполняется проверка условия $v = 1$; в случае $v = 1$ реализуется переход на шаг 13;

7) для полученного вида матриц $P(s), R(s)$ и матриц $(t_{jq}^{0l}(s))$ ($l = \overline{1, L}$) определяется значение критерия $f_2(s)$ и значения элементов матриц $(t_{ji}^{nl}(s))$ ($l = \overline{1, L}$);

8) выполняется проверка условия $v = 1$; в случае выполнения условия $v = 1$ реализуется

переход на шаг 13; при выполнении условия $v \neq 1$ реализуется изменение в π^l ($l = \overline{1, L}$) порядка партий таким образом, что рассматриваемая партия данных i' -го типа перемещается на одну позицию в начало π^l ($l = \overline{1, L}$); выполняемые для этого действия имеют вид: $p_{i', v-1}(s+g) = 1, p_{i', v}(s+g) = 0, p_{k, v-1}(s+g) = 0, p_{k, v}(s+g) = 1, r_{i', v-1}(s+g) = r_{i', v}(s+(g-1)), r_{i', v}(s+g) = 0, r_{k, v}(s+g) = r_{k, v-1}(s+(g-1)), r_{k, v-1}(s+g) = 0$, где k – индекс строки в матрицах $P(s+(g-1))$ и $R(s+(g-1))$, в которой элементы $p_{k, v-1} = 1$ и $r_{k, v-1} = a_{i', h} \neq 0$ на $(s+(g-1))$ -м шаге алгоритма; в результате формируются матрицы $P(s+g), R(s+g)$; индекс v столбца, идентифицирующий местоположение партии в π^l ($l = \overline{1, L}$), модифицируется: $v = v - 1$;

9) с использованием матриц $P(s+g), R(s+g)$ вычисляются матрицы $(t_{jq}^{0l}(s+g))$ и $(t_{ji}^{nl}(s+g))$ ($l = \overline{1, L}$), а также значение критерия $f_2(s+g)$;

10) выполняется проверка условия $f_2(s) > f_2(s+g)$; при выполнении $f_2(s) > f_2(s+g)$ получено решение, лучшее чем $[P, R]^*$, тогда $[P(s+g), R(s+g)]$ фиксируется как локально эффективное: $[P, R]^* = [P(s+g), R(s+g)]$, фиксируется значение критерия f_2 ; значение s модифицируется: $s = s + g$, значение индекса g шага поиска следующего локального оптимального решения в окрестности текущего $[P, R]^*$ задается равным 1, значение метрики k окрестности O_k , в которой выполняется поиск локально оптимального решения, задается равным 1 ($k = 1$) выполняется переход к шагу 8;

11) если $f_2(s) < f_2(s+g)$, то выполняется проверка условия для текущего значения метрики k окрестности O_k : $k(s+g) < k^{\max}$; при выполнении условия $k(s+g) < k^{\max}$ реализуется дальнейший поиск более эффективного решения в окрестности O_{k+1} решения $[P(s), R(s)]$, модифицируются: индекс g ($g = g + 1$), значение метрики окрестности $k = k + 1$; выполняется переход к шагу 8;

12) при выполнении условия $k(s+g) > k^{\max}$ реализуется переход к шагу 13;

13) полученное локально эффективное решение $[P, R]^*$ соответствует эффективной позиции рассматриваемой партии в последо-

вательностях π^l ($l = \overline{1, L}$), изменение положения рассматриваемой партии данных i -го типа в количестве a_{i,h_i} , в дальнейшем не реализуется;

14) выполняется модификация счетчика количества размещенных в последовательностях π^l ($l = \overline{1, L}$) партий данных i -го типа m_i^p : $m_i^p = m_i^p + 1$; если $m_i^p > m_i$, тогда все партии i -го типа размещены в последовательностях π^l ($l = \overline{1, L}$), i -й тип данных исключается из множества I : $I = I \setminus \{i\}$; реализуется проверка условия $I' \neq \emptyset$; в случае выполнения этого условия реализуется переход на шаг 2; если условие $I' \neq \emptyset$ не выполняется, то реализуется проверка условия $I \neq \emptyset$; в случае его выполнения не все партии данных i -х типов размещены в последовательностях π^l ($l = \overline{1, L}$), тогда выполняется присваивание $I' = I$ и переход на шаг 2; при выполнении $I = \emptyset$ условия партии данных всех i -х типов размещены в последовательностях π^l ($l = \overline{1, L}$), реализуется переход на шаг 15;

15) останов алгоритма.

В соответствии с рассмотренным алгоритмом определения расписаний обработки партий реализуется формирование решений по порядкам их (партий) обработки, которые передаются на первый уровень иерархии с целью распределения результатов по комплектам заданных составов. При этом учитываются моменты времени окончания обработки данных в каждой из партий последовательностях π^l ($l = \overline{1, L}$), на основе чего определяются моменты времени формирования комплектов результатов, используемые при оценке степени эффективности полученных решений по составам партий. Локально оптимальным решением по составам партий является решение, которое обеспечивает эффективное формирование комплектов.

Решение задачи планирования обработки данных разных типов при формировании комплектов из результатов обеспечивается применением метода определения эффективных составов партий [1]. Распределение результатов обработки данных по комплектам при условии минимизации среднего времени их формирования обеспечивается составами партий, эффективными с точки зрения крите-

рия (3). Поэтому основной компонентой иерархической системы построения комплексных расписаний обработки данных является подсистема формирования составов партий на верхнем уровне. Исследование эффективности планирования заключается в определении эффективности использования метода определения составов партий при решении задачи управления обработкой данных.

Для исследования эффективности применения метода формирования составов партий при условии формирования комплектов используются следующие обозначения для параметров: $\max(t_i^l) / \min(t_i^l)$ – отношение максимальной длительности обработки данных i -х типов ($i = \overline{1, n}$) на всех l -х сегментах конвейера ($l = \overline{1, L}$) к минимальной длительности обработки данных этих типов, определяющее неоднородность длительностей обработки данных на сегментах конвейера; $\max(t_{ij}^l) / \min(t_{ij}^l)$ – отношение максимальной длительности переналадки сегментов конвейера ($l = \overline{1, L}$) к минимальной длительности переналадки этих сегментов; $\max(w_{ig}) / \min(w_{ig})$ – отношение максимального количества данных i -х типов в комплектах g -х типов ($g = \overline{1, g^{ком}}$) к минимальному количеству данных i -х типов в комплектах g -х типов ($g = \overline{1, g^{ком}}$) (характеризует неоднородность в составах комплектов). Задаваемые при исследовании значения параметров – n : 5 и 10; L : 5 и 10; $g^{ком}$: 2; $n_g^{ком}$: 2 и 4. Задача планирования характеризуется парой значений параметров вида: $(g^{ком}, n_g^{ком})$. С точки зрения введенного кортежа $(g^{ком}, n_g^{ком})$ рассматривались задачи, характеризуемые следующими парами значений $g^{ком}$ и $n_g^{ком}$: (2,2), (2,4). Комбинация значений параметров $g^{ком}$ и $n_g^{ком}$ в виде (4, 2) позволила получить результаты, аналогичные результатам для пары (2,4). Исследование эффективности применения метода определения составов партий при решении задачи планирования с условием формирования комплектов выполнялось с учетом неоднородности их (комплектов) составов, характеризуемой отношением $\max(w_{ig}) / \min(w_{ig})$, для которого задавались значения 1, 2, 3. При исследованиях значения отношения $\max(t_{ij}^l) / \min(t_{ij}^l)$ задавались равными: 1, 2, 4,

8, 16. Значения отношения $\max(t_i^l) / \min(t_i^l)$ задавались равными 1, 2, 4, 8, 16.

При исследованиях для некоторого рассматриваемого набора входных характеристик определялись решения по обработке:

- фиксированных партий (наборы данных i -х типов в количестве n^i интерпретировались как фиксированные партии);

- не фиксированных партий (сформировались эффективные решения по составам партий).

В качестве параметра определялось отношение разности значений средних интервалов времени окончания формирования комплектов из результатов обработки для фиксированных партий и партий, сформированных в соответствии с использованным методом, к среднему интервалу времени формирования комплектов для фиксированных партий.

Максимальная эффективность применения метода определения составов партий для управления обработкой данных при условии формирования комплектов получена для значений $n = 5$, $L = 5$ и задании указанных ранее значений других введенных параметров. Графики зависимостей эффективности применения метода только при $n = 5$, $L = 5$ в сравнении с применением аппарата генетических алгоритмов ([3]) представлены на рис. 1–6 (использованы обозначения: МО СП – метод оптимизации составов партий, ГА – генетические алгоритмы [3]).

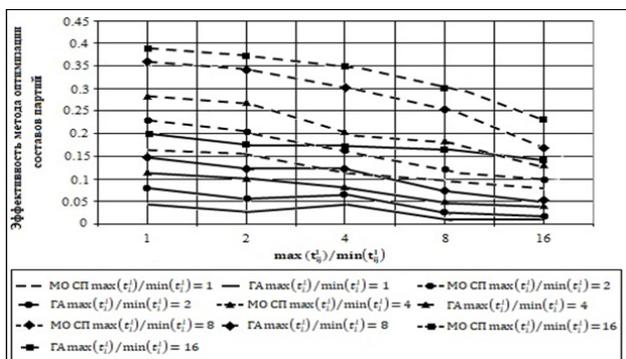


Рис. 1. Эффективность метода определения составов партий при $g^{KOM} = 2$, $n_g^{KOM} = 2$, $\max(w_{ig}) / \min(w_{ig}) = 1$

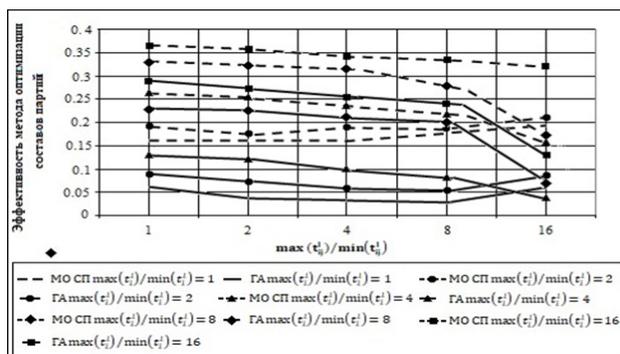


Рис. 2. Эффективность метода определения составов партий при $g^{KOM} = 2$, $n_g^{KOM} = 2$, $\max(w_{ig}) / \min(w_{ig}) = 2$

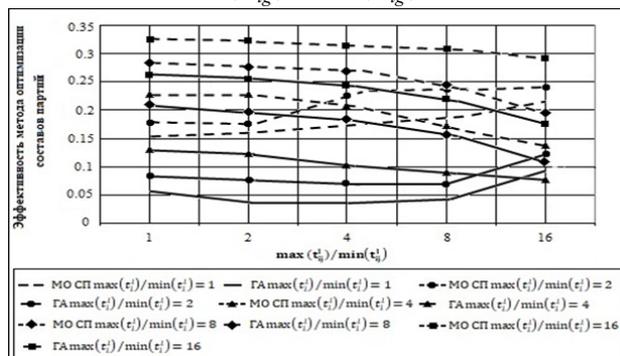


Рис. 3. Эффективность метода определения составов партий при $g^{KOM} = 2$, $n_g^{KOM} = 2$, $\max(w_{ig}) / \min(w_{ig}) = 3$

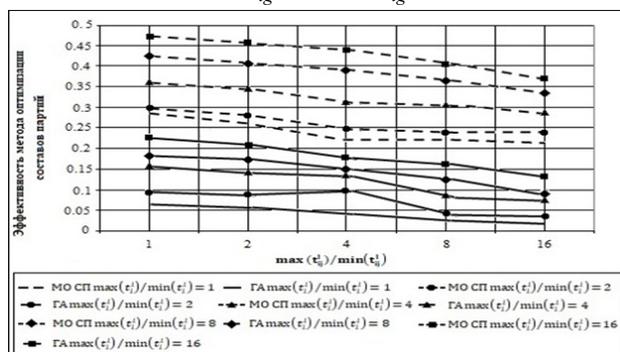


Рис. 4. Эффективность метода определения составов партий при $g^{KOM} = 2$, $n_g^{KOM} = 4$, $\max(w_{ig}) / \min(w_{ig}) = 1$

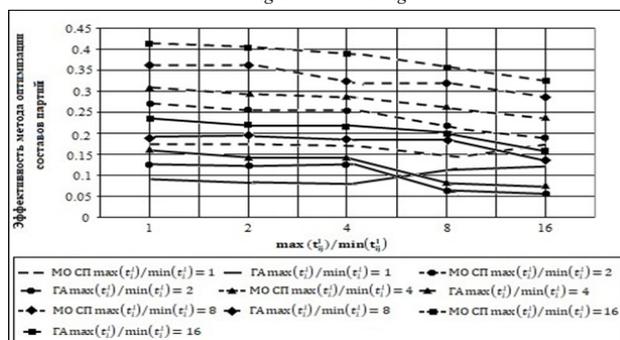


Рис. 5. Эффективность метода определения составов партий при $g^{KOM} = 2$, $n_g^{KOM} = 4$, $\max(w_{ig}) / \min(w_{ig}) = 2$

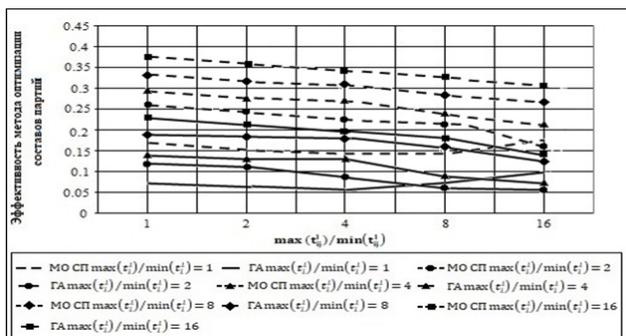


Рис. 6. Эффективность метода определения составов партий при $g^{KOM} = 2, n_g^{KOM} = 4$
 $\max(w_{ig}) / \min(w_{ig}) = 3$

Анализ результатов исследований при значениях ($n = 5, L = 10$), ($n = 10, L = 5$), ($n = 10, L = 10$) и указанных ранее значениях входных параметров позволил обобщить значения максимальной эффективности применения метода определения составов партий в виде табл. 1 (приведены значения максимальной эффективности, получаемые при $\max(t_i^l) / \min(t_i^l) = 16$).

Анализ результатов выполненных исследований показал, что максимальная эффективность применения метода оптимизации составов партий при планировании обработки данных с учетом требования формирования комплектов достигается при макси-

мальной неоднородности длительностей обработки этих данных на сегментах конвейера (значение отношения $\max(t_i^l) / \min(t_i^l) = 16$) и составляет порядка 50 %. Сравнение оценок эффективности применения метода оптимизации составов партий с оценками эффективности формирования решений по составам партий с использованием аппарата ГА [3] показало, что рассматриваемый метод на 10–25 % является более эффективным, чем применение ГА.

ВЫВОДЫ

Разработана система формирования комплексных расписаний обработки данных в конвейерной системе, позволяющая до 50 % повысить эффективность планирования по сравнению со случаем использования фиксированных партий. Используемый при планировании метод оптимизации составов партий показал на 25 % лучшие результаты, чем метод, использующий аппарат генетических алгоритмов. Дальнейшие исследования направлены на применение разработанного подхода по планированию к решению задач управления обработкой партий данных при формировании комплектов.

Таблица 1
 Максимальные эффективности применения метода определения составов партий для различных наборах данных

N, L	$\max(w_{ig}) / \min(w_{ig})$					
	1		2		3	
	МО СП	ГА	МО СП	ГА	МО СП	ГА
$g^{KOM} = 2, n_g^{KOM} = 2$						
$n = 5, L = 5$	0,4	0,2	0,37	0,18	0,33	0,15
$n = 5, L = 10$	0,3	0,18	0,26	0,15	0,25	0,12
$n = 10, L = 5$	0,24	0,13	0,22	0,11	0,2	0,1
$n = 10, L = 10$	0,22	0,08	0,2	0,1	0,18	0,08
$g^{KOM} = 2, n_g^{KOM} = 4$						
$n = 5, L = 5$	0,48	0,28	0,41	0,25	0,37	0,23
$n = 5, L = 10$	0,37	0,25	0,37	0,22	0,35	0,2
$n = 10, L = 5$	0,34	0,22	0,33	0,2	0,33	0,18
$n = 10, L = 10$	0,32	0,18	0,29	0,18	0,27	0,12

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кротов, К. В. Комплексный метод определения эффективных решений по составам партий данных и расписаниям их обработки в конвейерных системах / К. В. Кротов // Вычислительные технологии, Изд-во Института вычислительных технологий СО РАН. – 2018. – Т. 23, № 3 – С. 58–76.

2. Кротов, К. В. Многоуровневая модель построения расписаний обработки партий данных в конвейерных системах при формировании комплектов и наличии ограничений / К. В. Кротов // СПб.: Труды СПИИРАН, 2016. – Вып. 4(47). – С. 65–91.

Кротов Кирилл Викторович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры информационных систем Института информационных технологий и управления в технических системах Севастопольского государственного университета.

Тел.: +7(978) 730-38-19

E-mail: krotov_k1@mail.ru

3. Кротов, К. В. Использование аппарата генетических алгоритмов при формировании решений по составам партий данных в двухуровневой задаче построения комплексных расписаний их обработки / К. В. Кротов // Автоматизированные технологии и производства. Международный научно-технический журнал. – 2017. – №2 (16). – С. 23–34.

Krotov Kirill – Candidat of technical sciences, Associate Professor, Department of Information Systems Institute of Information Technology and Management in technical systems, Sevastopol State University.

Tel.: +7(978) 730-38-19

E-mail: krotov_k1@mail.ru