Министерство образования Украины
Харьковский государственный технический
унивеситет радиоэлектроники

на правах рукописи

МАЛОЛЕПШЫ Анджей

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ В УПРАВЛЕНИИ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

05.13.01 - управление в технических системах

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Харьков-1994

Работа выполнена на кафедре информатики Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета и в институте информатики Лодзинского политехнического университета (Польша).

Научный руководитель : доктор технических наук,
профессор Панишев А.В.

Научный консультант : доктор, профессор Концкий Э.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических
наук, профессор Шевченко А.Н.,
кандидат технических наук
Буслик Н.Н.

Ведущая организация : Главный НИИ по проблемам
информатики Министерства
экономики Украины

Защита диссертации состоится "1" апреля 1994г. в 14^{00} часов на заседании специализированного Совета К 0689.37.01 в Харьковском государственном техническом университете радиоэлектроники (310726, г.Харьков, пр.Ленина, 14).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан "28" февраля 1994г.

Ученый секретарь
специализированного Совета,
профессор Э.А.Дедиков

АВ-29.522

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Проблема оптимального упорядочения работ и согласования операций во времени была и остается актуальной.

Данная работа посвящена решению задач эффективной организации функционирования производственных и транспортных систем, описываемых двухуровневой моделью ресурсов с единственным объектом на первом уровне и несколькими объектами на втором. Процессы, протекающие в таких системах, связаны с ограниченными пропускными способностями одного или нескольких объектов. Внимание и усилия автора сосредоточены на постановках и решениях задач, ориентированных на применение в тех ситуациях, когда особенно ощутима цена за неоправданные простои дорогостоящего оборудования.

Области применения оптимизационных задач с ограничениями на сроки достижения совокупности действий чрезвычайно обширны. Решения таких задач необходимы в ситуациях, при которых приходится делать выбор из множества вариантов воздействий на объект управления.

С усложнением производства и производственных связей, бурным развитием компьютерной техники и информационных систем роль задач упорядочения, регламентирующих работу технических объектов, неуклонно возрастает. В этих условиях расширяются границы применения методов оптимального распределения временных ресурсов. Такие методы становятся одним из необходимых инструментов при создании технологий и систем управления гибким автоматизированным призводством (ГАП), они приобретают важное значение в решении проблемы рационального использования транспортных ресурсов.

В диссертации излагаются результаты теоретических и прикладных исследований по построению математических моделей и алгоритмов решения задач оптимального упорядочения транспортно-технологических и погрузочно-транспортных операций.

Содержание работы охватывает комплекс взаимосвязанных задач, представляющих обобщения известных задач упорядочения. С научных позиций целью диссертации является подтверждение того факта, что заслуживающие внимания теоретические результаты могут быть получены на базе относительно простых моделей. С точки зрения практики представленные теоретические результаты содержательны по отношению к актуальным прикладным проблемам согласования во времени транспортных и технологических операций.

Наряду с разработкой прогрессивных технологий, ускоренной механизацией производства важная роль в развитии научно-технического прогресса отводится проблемам эффективного распределения ресурсов. Задачи оптимального распределения ресурсов являются обобщениями экстремальных задач упорядочения, выдвинутых в 50-х годах практикой планирования производства.

Проблема упорядочения состоит в определении такой очередности выполнения операций на каждом объекте производственной или технологической системы, которая исключает его неоправданные простои.

Методы оптимального упорядочения берут свое начало от алгоритмов решения задач, изучаемых в рамках специального раздела прикладной математики - теории расписаний. Исследуемая в работе модель последовательно-параллельного выполнения работ обобщает ряд широко известных моделей теории расписаний. Ее исследование способствует совершенствованию методов управления технологическими и производственными системами с ограниченными возможностями ввиду наличия одного или более объектов в качестве "узких мест".

Цель и задачи исследования. Цель исследования заключается в анализе и развитии методов управления последовательно-параллельными процессами и в разработке на их основе алгоритмов упорядочения транспортно-технологических и погрузочно-транспортных работ.

Поставленная цель требует:

1) систематизации и оценки теоретических практических результатов, полученных при исследовании моделей параллельного упорядочения;

2) построения математических моделей, описывающих процессы последовательного прохождения работ и параллельного

их выполнения;

3) анализа вычислительной сложности прикладных задач, связанных с построенной моделью, и разработки алгоритмов их решения;

4) аналитической или экспериментальной оценки работоспособности предложенных вычислительных процедур.

На защиту выносятся результаты, научная новизна которых состоит в следующем.

1.На основе анализа связи основополагающих задач теории расписаний с нетрадиционными задачами исследуемого класса предложено их описание с помощью усеченных классификационных формул.

2.Построена математическая модель подкласса задач упорядочения транспортно-технологических работ.

3.С позиции теории вычислительной сложности алгоритмов дана оценка времени решения каждой задачи подкласса и обоснован выбор метода их решения.

4.Предложен точный алгоритм по методу ветвей и границ для решения задач оптимального упорядочения транспортно-технологических работ.

5.В результате определения условий и параметров, характеризующих процесс функционирования простейшей погрузочно-транспортной системы, приведены постановки подкласса задач организации согласованной работы ее объектов.

6.Опираясь на результаты теории NP-полноты проведен анализ вычислительной сложности одной из задач упорядочения погрузочно-транспортных работ и предложен алгоритм ее решения.

Методы исследования. При решении задач исследования привлекались известные положения и результаты из теории множеств, комбинаторного анализа, теории вычислительной сложности алгоритмов, теории расписаний, методов программирования и конструирования пакетов прикладных программ. Проведено формальное доказательство корректности всех алгоритмов. Теоретические результаты поддержаны д нными вычислительного эксперимента.

Практическая ценность заключается в возможности использования полученых результатов при разработке программного обеспечения систем управления гибкими автоматизированными комплексами и транспортными системами.

Внедрение результатов. Результаты диссертационной работы использованы в учебном процессе при выполнении лабораторных работ в Лодзинском политехническом университете и Харьковском государственном автомобильно-дорожном университете.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях профессорско - преподавательского состава Харьковского автомобильно-дорожного института (1988-1993 гг.), на 6-м и 7-м Международном симпозиуме "Системы. Моделирование. Контроль" (1990-1993 гг. Закопане, Польша).

Публикации. Результаты диссертации освещены в 5 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертауия состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 133 страницах, содержит 17 рисунков, 8 таблиц, 100 наименований библиографии.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе показано, что ряд задач эффективной организации транспортно-технологических и погрузочно-транспортных операций в самом общем виде может быть сформулирован следующим образом.

Требуется построить оптимальное в смысле выбранного критерия расписание для n независимых работ в системе из $1+m$ машин двух уровней, $n > m$. Входом системы является единственная машина первого уровня, а выходом - m параллельно действующих машин второго уровня. Каждая работа g_k, $k=1,n$, представлена двумя этапами. Первый этап работы g_k реализуется машиной первого за время γ_k, а второй этап длительности β_k выполняется какой-либо машиной из m машин второго уровня. В любой момент времени каждая машина занята выполнением не более одной работы, а каждая работа обслуживается не более чем одной машиной. Этапы работ выполняются без прерываний до их полного завершения. Все n работ одновременно поступают на вход системы.

Из анализа результатов исследований представленной модели оказывается, что, несмотря на ее нетрадиционность, все постановки задач рассматриваемого класса поддаются описанию в виде усеченных классификационных формул. В прикладном аспекте весьма важными являются задачи, в постановках которых содержится условие, состоящее в том, что каждая работа выполняется на заранее закрепленной за ней машине второго уровня. Это позволяет рассматривать модель ресурсов таких задач в виде конвейерной системы из 1+m машин. Поставленная выше задача имеет следующую усеченную классификационную формулу: $F1{+}m \mid 1{=}1O_{<2>} \mid V_{max}$. Первое поле записи формулы определяет конвейерную систему из 1+m машин. В обозначение второго поля вкладывается следующий смысл: в конвейерной системе каждая работа поступает на выполнение только на две машины, включая первую машину. С содержимым третьего поля связан критерий оптимальности, который в данном случае состоит в минимизации длины расписания. При m=1 задача $F1{+}m \mid 1{=}1O_{<2>} \mid V_{max}$ имеет формулу $F2 \mid V_{max}$ и известна как классическая задача Джонсона (задача двух станков).

Целевая функция задачи $F1{+}m \mid 1{=}1O_{<2>} \mid V_{max}$ имеет вид

$$V(\pi) = \max_{1\le i\le m} \max_{1\le l\le n} \left(\sum_{k=1}^{l}\gamma_{j_k} + \sum_{k=l}^{n} b_{ij_k}\right),$$

где $\pi = (j_1, j_2, \dots, j_n)$ – перестановка из n двухэтапных работ $g_k \in G$,

$$b_{ij_k} = \begin{cases} \beta_{j_k}, & \text{если k-я работа в } \pi \text{ принадлежит множеству работ} \\ & G_i, \text{ закрепленных за машиной i второго уровня,} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

При описании погрузочно - транспортных процессов в ситуациях, когда готовность транспортного средства определяется тем, завершен или не завершен этап погрузки, следует учитывать два требования: а) каждая двухэтапная работа должна выполняться без прерываний (no wait); б) для данного транспортного средства очередная погрузочная операция должна быть начата только по завершению предыдущей транспортной операции (interrupt line). В этом случае задача $F1+m \mid l=1O_{<2>} \mid V_{max}$ становится задачей $F1+m$ |no wait, interrupt line, $l=1O_{<2>} \mid V_{max}$.

В предположении, что длительность этапа погрузки для всех работ равна одному такту ($\gamma_j=p_{1j}=1$), имеет практический смысл задача, в которой условие interrupt line заменено на следующее условие: для совокупности работ, выполняемых каждой машиной второго уровня, момент окончания очередной работы совпадает с моментом начала выполнения следующей за ней работы на машине первого уровня (continuous line). Если к тому же известно, что машина второго уровня i приступает к выполнению назначенных на нее работ в момент времени 1 ($r_i=1,m$), то получим постановку $F1+m$ |no wait, continuous line, $r_i=1,m$, $l=1O_{<2>} \mid p_{1j}=1$.

В главе получены усеченные классификационные формулы всех задач, связанных с проблемой исследования.

<u>Во второй главе</u> приведены содержательные и математические формулировки задач, представляющих обобщения задачи $F1+m \mid l=1O_{<2>} \mid V_{max}$. Они естественным образом описывают транспортно-технологические процессы ГАП, включающего транспортно-складскую систему и параллельно действующие технологические линии, под которыми подразумеваются обрабатывающие центры, линии сборки, конвейеры.

Рассматриваемая оптимизационная модель календарного планирования ГАП описывает процесс взаимодействия транспортного механизма с m параллельно действующими технологическими линиями, на которых выполняется заданное множество работ $T=(t_j \mid j=1,n)$.

На i-ю линию, $i=1,m$, назначена совокупность T_i работ $|T_i|=n_i$, для s-й работы из T_i задано время ее выполнения β_{i_s}, $s=1,n$. Предполагается, что $T = U^m_{i=1}T_i$, $T_i \neq \emptyset$, $T_\mu \cap T_\nu = \emptyset$, $\mu \neq \nu$. Каждая работа $t_j, j=1,n_i$, не должна прерываться до полного завершения. Любые две линии функционируют независимо друг от друга.

Складская система представлена в общем случае несколькими накопителями, связанн ми с технологическими линиями сетью транспортных маршрутов.

Функции робота состоят в обеспечении средствами, без которых не может быть закончена ~~работа~~ t_{i_s}. Для ее выполнения транспортный механизм за время γ_{i_s} доставляет со склада на линию i необходимые средства и возвращается на склад, затратив по тому же маршруту η_{i_s} единиц времени.

Требуется определить такую траекторию движения робота, которая бн минимизировала время функционирования всей системы.

Программу перемещения робота зададим последовательностью $\pi = (j_1, j_2, \ldots, j_n)$, где j_k – индекс работы из множества работ T. Каждому элементу последовательности π поставим в соответствие параметр

$$b_{ij_k} = \begin{cases} \beta_{j_k}, & \text{если k-я работа в } \pi \text{ принадлежит } T_i, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Время функционирования ГАП зависит не только от того, в какой очередности обслуживаются линии, но и от того, где находится робот в момент начала работы транспортной системы и как расположены линии относительно друг друга.

В связи с этим возможны различные постановки задачи. Показано, что их целевые функции имеют вид функции $V(\pi)$, где γ_{j_k} и b_{ij_k} предварительно определяются через параметры γ_k, b_k, η_k, $k=1,n$.

Пусть в момент начала и окончания функционирования ГАП робот находится на складе, являющемся исходным пунктом любого маршрута, а работа t_{i_s} может начаться только через δ_{i_s} единиц времени после начала движения робота от склада к линии i, $i=1,m$, $s=1,n_i$. Тогда задача состоит в минимизации на множестве всех перестановок $\pi = (j_1, j_2, \ldots, j_n)$ функции

$$D(\pi) = \max_{1 \le i \le m} \max \left[\delta_{j1} + \sum_{k=1}^{n} b_{ij_k}, \sum_{j=1}^{n}(\gamma_j + \eta_j),\right.$$

$$\max_{2\le l\le n} \left(\sum_{k=1}^{l-1} \gamma_{j_k} + \sum_{k=1}^{l-1} \eta_{j_k} + \delta_{j_l} + \sum_{k=l}^{n} b_{ij_k} \right].$$

При $m=1$ получим

$$D(\pi) = \max \left[\delta_{j1} + \sum_{k=1}^{n} b_{ij_k},\ \sum_{j=1}^{n} (\gamma_j + \eta_j), \right.$$

$$\left. \max_{2\le l\le n} \left(\sum_{k=1}^{l-1} \gamma_{j_k} + \sum_{k=1}^{l-1} \eta_{j_k} + \delta_{j_l} + \sum_{k=l}^{n} b_{j_k} \right) \right].$$

В терминах "детали-станки" задача минимизации функции $D(\pi)$ представляет собой вариант задачи Небешимы.

Доказано, что минимум функции $D(\pi)$ доставляет перестановка π^*, в которой следуют сначала компоненты с $\gamma_k+\eta_k\le\beta_k$ в порядке неубывания значений δ_k, а затем – компоненты с $\beta_k\le\gamma_k+\eta_k$ в порядке невозрастания значений $\delta_k+\beta_k-\gamma_k-\eta_k$. Другими словами, решением задачи минимизации функции $D(\pi)$ является решение задачи двух станков с длительностями выполнения k-й детали, $k=\overline{1,n}$, на первом и втором станках, равными $a_k=\delta_k$, $b_k=\delta_k+\beta_k-\gamma_k-\eta_k$.

Этот промежуточный результат позволяет представить задачу нахождения минимума $D(\pi)$ как задачу $F1+m \mid l=1O_{\langle 2\rangle} \mid V_{max}$, где $\gamma_{j_k} = \delta_{j_k}$, $k=\overline{1,n}$,

$$b_{ij_k} = \begin{cases} \max(0, \delta_k+\beta_k-\gamma_k-\eta_k), & \text{если } k\text{-я работа в } \pi \text{ принадлежит } T_i, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Сводимостью задачи РАЗБИЕНИЕ установлена NP-трудность задачи $F1+m \mid l=1O_{\langle 2\rangle} \mid V_{max}$.

По методу ветвей и границ предложен точный алгоритм ее решения, сопровождаемый процедурой построения бинарного дерева поиска. Отсюда следует, что алгоритм можно отнести к наименее трудоемким переборным процедурам.

<u>Третья</u> <u>глава</u> посвящена построению и изучению математической модели типичной погрузочно-транспортной системы, состоящей из двух типов машин. Первый тип представлен погрузочным механизмом, второй - m автомобилями, выполняющими маятниковые маршруты. Для построения графиков функционирования объетов системы должны быть известны список грузополучателей и технические характеристики погрузочного устройства и подвижного состава, важнейшими из которы. считаются грузоподъемность каждой транспортной единицы и время погрузки. Для однотипных с точки зрения грузоподъемности автомобилей время погрузки можно определить равным одному такту. Список грузополучателей однозначно определяется совокупностью из n рейсов. Рейс состоит в погрузке автомобиля за время $\gamma_j = p_{1j} = 1$, $j=1,n$, и в выполнении маятникового маршрута за известное число тактов β_j.

При введении дополнительных условий, регламентирующих работу объектов системы, возникает ряд практически важных постановок задач упорядочения двухэтапных работ в системе из 1+m машин. Одной из них является задача 1+P |no wait, interrupt line, $l=2$, $p_{1j}=1$ | V_{max}, содержательная постановка которой включает следующее требование: каждый рейс j может быть выполнен любым автомобилем за время β_j, а его грузоподъемность достаточна для выполнения любого рейса. Это требование условно представлено первым полем классификационной формулы, описывающим систему из единственной машины первого уровня и m идентичных параллельно действующих машин второго уровня. Иначе говоря, в постановке 1+P |no wait, interrupt line, $l=2$, $p_{1j}=1$ | V_{max} снято условие, состоящее в предварительном назначении каждой работы на одну из m машин.

Приведено доказательство NP-трудности в сильном смысле частого случая задачи 1+P |no wait, interrupt line, $l=2$, $p_{1j}=1$ |V_{max}, формулируемого в терминах распознавания свойств следующим образом.

Пусть векторы $b_{\uparrow}=(b_{(1)}, b_{(2)}, \dots, b_{(m)})$ и $\beta_{\uparrow}=(\beta_{(1)}, \beta_{(2)}, \dots, \beta_{(m)})$, $b_{(1)} \le b_{(2)} \le \dots \le b_{(m)}$, $\beta_{(1)} \le \beta_{(2)} \le \dots \le \beta_{(m)}$, $b_{(1)}=2(l-1)$ таковы, что а) $\sum_{s=1}^{l} b_{(s)} \le \sum_{s=1}^{l} \beta_{(s)}$, $l=\overline{1,m-1}$,

б) $\sum_{l=1}^{m} b_{(s)} = \sum_{l=1}^{m} \beta_{(s)}$,

в) сумма любых k значений $\beta_{(l)}$ не равна $k(m-1)$, $k=\overline{1,m}$.

Существует ли матрица Q порядка m, элементы которой $q_{ij} \in (0,1)$ удовлетворяют условиям:

$$q_{ij} = \begin{cases} 1, \text{если } m+j-i-1 = \beta_{(l)}; \\ 0 \quad \text{во всех остальных случаях}; \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^{m} q_{ij} = 1,\ j=\overline{1,m}, \quad \sum_{j=1}^{m} q_{ij} = 1,\ i=\overline{1,m}.$$

В главе исчерпывающим образом исследуется задача F1+m | no wait, continuous line, $r_i=\overline{1,m}$, $l=10_{<2>}$, $p_{1j}=1$, решение которой можно рассматривать как график согласованной работы погрузочного механизма и m транспортных средств, предназначенных для выполнения заданного объема перевозок. Каждое средство i, $i=\overline{1,m}$, приступающее к работе в момент времени i, должно выполнить n_i рейсов от пункта погрузки и обратно. Известна длительность пребывания транспортного средства в рейсе j, $j=\overline{1,n_i}$, равная числу тактов β_j с момента отправления из пункта погрузки до момента возвращения к нему. Погрузочный механизм за время, равное одному такту, обслуживает одно и только одно транспортное средство и первые m тактов работает непрерывно. Задача состоит в построении графика F, исключающего простои каждого автомобиля в очереди на погрузку.

Доказано, что задача F1+m | no wait, continuous line, $r_i=\overline{1,m}$, $l=10_{<2>}$, $p_{1j}=1$ NP-полна в сильном смысле. К ней сводится задача построения (0,1) - матрицы Q.

Предложена процедура организации перебора допустимых решений задачи, которая обеспечивает построение расписания F, если и только если для заданных значений m и β_{ip}, $i=\overline{1,m}$, $p=\overline{1,n_i}$ оно существует.

<u>В четвертой главе</u> освещаются вопросы создания на персональном компьютере типа IBM PC пакета ОРММ прикладных

программ (ППП) построения расписаний для двухэтапных работ, выполняемых в системе из 1+m машин, в условиях, когда границы проблемы "размыты" еще нерешенными задачами.

Идея использования усеченных классификационных формул для описания задач последовательно-параллельного упорядочения оказывается весьма плодотворной на этапе определения состава программ пакета. В приведенной ниже таблице перечислены задачи, образующие основу ППП ОРММ. В ней содержатся как полностью исследованные модели, так и модели, подлежащие изучению. Для всех задач, за исключением 6 и 11, предложены точные или приближенные алгоритмы. Все перечисленные задачи, кроме задачи 7, состоят в минимизации длины расписания. Задача 7 сформулирована в терминах распознавания свойств.

Стратегия разработки пакета ОРММ построена на принципах объектно-ориентированного программирования, а в качестве языка программирования выбран Паскаль в системе Turbo Pascal фирмы Borland. В соответствии с принципами модульного программирования пакет разбивается на отдельные, функционально независимые модули. Каждый модуль в свою очередь разбит на раздел описаний и раздел реализаций, содержащий информацию, которая необходима транслятору для обеспечения связи с данным модулем.

Структура пакета ОРММ предложена в виде общей абстрактной схемы для традиционных диалоговых процедур. Она способна к расширению как для обеспечения интерфейса, так и для непосредственного манипулирования объектами.

В главе приведены результаты вычислительного эксперимента с целью получения выходных характеристик для переборного алгоритма решения задачи F1+m | no wait, continuous line, $\dot{r}_i=1,m$, $l=10_{<2>}$, $p_{1j}=1$

№	Сокращенная классификационная формула	Статус	Сложность	Оценка точности
1	$F2\|\|V_{max}$	P	$O(n\log_2 n)$	
2	$F1+m\|l=1O_{<2>},P_{ij}=const\|V_{max}$	P	$O(n\log_2 n)$	
3	$F1+m\|l=1O_{<2>}\|V_{max}$	NP		точн.
4	$F2\|no\ wait\|V_{max}$	P	$O(n\log_2 n)$	
5	$F1+m\|no\ wait,\ l=1O_{<2>}\|V_{max}$			
6	$F1+m\|no\ wait, interrupt\ line,$ $l=1O_{<2>}\|V_{max}$	NP		
7	$F1+m\|no\ wait, continuous\ line$ $r_1=1,m,\ l=1O_{<2>},\ P_{ij}=1$	NP		
8	$1+P\|l=2\|V_{max}$	NP	$O(n\log_2 n)$	$2V(\Omega^*)-n-\frac{\beta n}{2}$
9	$1+P\|no\ wait, interrupt\ line,$ $l=2\|V_{max}$	NP	$O(n\log_2 n)$	$2V(\Omega^*)$
10	$1+P\|no\ wait, interrupt\ line,$ $l=2,\ P_{ij}=1\|V_{max}$	NP	$O(n\log_2 n)$	$(\frac{3}{2}-\frac{1}{2m})V(\Omega^*)$
11	$1+P\|no\ wait,\ l=2\|V_{max}$			

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненной работы ориентированы на обобщение и развитие важнейших разделов дискретной оптимизации; теории сложности вычислений и теории расписаний. С точки зрения практики проведенные исследования направлены на создание методов и алгоритмов эффективной организации погрузочно-транспортных и технологических работ.

Основные результаты исследований заключаются в следующем.

1.На основе анализа изучения класса задач составления расписаний двухэтапных работ, выполняемых в системе из 1+m машин, предложены математические модели синхронизации погрузочно-транспортных операций и операций в ГАП. В результате анализа показано, что они относятся к проблеме распараллеливания операций. Это позволило получить с помощью усечённых классификационных формул постановки ранее изученных задач и задач исследования.

2.Дано формализованное описание процесса взаимодействия объектов типичной гибкой автоматизированной системы, в результате которого получены постановки пяти задач построения оптимальной по быстродействию программы перемещения транспортного средства для доставки ресурсов на технологические линии. Приведено доказательство того, что все поставленные задачи описываются од: эй усеченной классификационной формулой и могут быть решены с помощью одного алгоритма оптимизац функций, заданных на множестве перестановок.

3.Показано, что при $m=1$ все рассматриваемые задачи эффективно разрешимы за время $O(n\log_2 n)$, а в общем случае они NP-трудны.

4.Предложен точный алгоритм построения бинарного дерева поиска, позволяющий решить любую из поставленных задач путем изменения значений параметров на входе процедуры; доказана корректность алгоритма.

5.Показано, что в отличие от задач упорядочения транспортно-технологических операций в условиях задач организации погрузочно-транспортных процессов содержится требование непрерывности выполнения для каждой работы.

6.В терминах задач составления конвейерных расписаний сформулирована одна из задач подкласса задач упорядочения, объединяемых тем, что их постановки учитывают динамику погрузочно-транспортного процесса и роль пункта погрузки как "узкого места".

7.Доказана сильная NP-полнота поставленной задачи и предложена корректная процедура организации поиска ее решения, задаваемого графиком функционирования 1+m машин.

8.Выполнен вычислительный эксперимент с целью получения параметров, характеризующих работоспособность предложенной процедуры и возможность ее практического использования.

9.На основе анализа и классификации задач упорядочения двухэтапных работ в системе из 1+m машин предложен список программных модулей проблемно-ориентированного пакета, предназначенного как для практической работы, так и для исследования моделей и методов теории расписаний. С учетом специфики задач упорядочения определены состав и структура пакета.

Основные результаты диссертации отражены в следующих работах:

1.Malolepszy A., Warakin A.S., Panishev A.V., Polozova L.N. Some New Results for generalized twostage flowshop sequencing problems //System.Modelling.Control.6.--1990.-V.3.-Zakopane, Poland, P.15-20.

2.Malolepszy A., Warakin A.S., Panishev A.V. On a heuristic algorithm of the task sequencing in system with parallely working objects //Informatyka. Zeszyty naukowe. Politechnika Lodzka.- 1991,N623.- P.51-65.

3.Malolepszy A.,Panishev A.V., Polozova L.N. Some New Results for generalized twostage flowshop sequencing problems //System.Modelling.Control.7.-1993.-V.2.-Zakopane, Poland, P.104-106.

4.Malolepszy A., Panishev A.V. Algorithm of Task Sequencing in a System Consisting of 1+m Machines // Informatyka. Zeszyty naukowe. Politechnika Lodzka.- 1993, N679.- P.71-83.

Подп.к печ.21.02.94. Формат 60 х 84 I/16.
I,0 усл.-печ.л., I,0 уч.-изд.л. Тираж I00. Заказ 317.

Участок оперативной печати Харьковского ГАУ.