

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КАРЬЕРНЫМ АВТОТРАНСПОРТОМ

### Введение

Оперативно-диспетчерское управление карьерным автотранспортом связано с решением нескольких функциональных задач, а именно - задачей управления грузопотоками, задачей динамической маршрутизации транспортных средств, задачей комплексной оценки эффективности функционирования транспортно-технологического комплекса (ТТК) [1]. Существующие системы [2, 3] обеспечивают диспетчера ТТК большим количеством данных по параметрам движения автосамосвалов и работе экскаваторов, но не решают задач автоматизированного регулирования грузопотоков в реальном времени и динамической маршрутизации автосамосвалов с учетом меняющейся обстановки, требований ритмичности поставок и минимизации потерь от простоев и холостых пробегов.

Для эффективного решения указанных задач необходимо разработать адекватные математические модели, позволяющие, с одной стороны, отслеживать в формализованном виде процессы, происходящие в ТТК, а, с другой стороны, - корректировать задания и вычислять оптимальные управляющие воздействия.

На уровне оперативно-диспетчерского управления ТТК можно выделить две основные функциональные задачи: регулирование грузопотоков и динамическая маршрутизация транспортных средств (ТС).

В данной работе разработаны математические модели решения указанных задач, которые входят в комплекс математических моделей автоматизированной системы оперативно диспетчерского управления (АСОДУ) ТТК карьера [5, 6].

### Математическая модель задачи регулирования грузопотоков

Задачей верхнего уровня в АСОДУ является регулирование грузопотоков, идущих от экскаваторов на пункты разгрузки. Цель решения задачи - оперативное перепланирование для стабилизации

© Левыкин В.М., Шевченко И.В., 2006

заданного объёма и качества рудного потока при изменении режима функционирования ТТК и минимизация затрат на транспортирование.

Постановка задачи заключается в следующем. Имеется  $n$  объектов погрузки (ОП) и  $m$  объектов разгрузки (ОР). Каждому из ОП установлен план отгрузки груза на смену  $q_{nli}$  ( $i=1..n$ ) и качественный показатель содержания металла в руде  $\alpha_i$ , а каждому из ОР – план приема груза  $Q_{nlj}$  ( $j=1..m$ ), причем, если объектом разгрузки является обогатительная фабрика или перегрузочный пункт, то план предусматривает смешение грузов для обеспечения среднего показателем качества  $\alpha_j^{(k)}$ , который может оставаться неизменным на всё время смены или изменяться  $k$  раз в течение смены.

Рассмотрим модель задачи применительно к случаю смешения грузов на приемных воронках фабрики. Остальные варианты (отгрузка на промежуточные склады, дробилки щебня, отвалы) являются частными случаями данной задачи.

При условии поддержания ритмичного процесса погрузки, перевозки и разгрузки основные соотношения между параметрами материальных потоков с учетом смешения грузов на  $j$ -м объекте будут следующие.

Количество потребления груза  $j$ -м объектом с  $i$ -го объекта за интервал времени  $t_k$  определяется выражением вида:

$$q_{ij}^{(k)} = U_{ij}^{(k)} Q_j^{(k)} \quad (1)$$

где  $U_{ij}^{(k)}$  – коэффициент смешения по режиму  $k$  для потока с  $i$ -го объекта,  $U_{ij} < 1$ ;  $Q_j^{(k)}$  – количество переработанного груза на  $j$ -том объекте за время  $t_k$ , причем

$$Q_j^{(k)} = \sum_{i=1}^n q_{ij}^{(k)}. \quad (2)$$

На величину  $Q_j^{(k)}$  наложено ограничение вида

$$Q_{jн}^{(k)} < Q_j^{(k)} < Q_{jв}^{(k)}, \quad (3)$$

где индекс «н» определяет нижнее, а «в» - верхнее значение переменной.

Суммарное количество реально отправленного груза с  $i$ -го объекта ОП всем объектам разгрузки за время  $t_k$ , рассчитывается по выражению:

$$q_i^{*(k)} = \sum_{j=1}^m q_{ij}^{(k)} \quad (4)$$

Управление смешением грузов на  $j$ -м ОР будет осуществляться управляющими воздействиями  $U_{ij}$ , множество которых задано с помощью системы ограничений вида

$$U_{ijn}^{(k)} \leq U_{ij}^{(k)} \leq U_{ije}^{(k)}, \sum_{i=1}^n U_{ij}^{(k)} = 1. \quad (5)$$

Допустим, что зависимость усреднённого качественного показателя выходного потока  $j$ -го объекта  $\alpha_{0j}^{(k)}$  от показателей  $\alpha_i$  и управляющих воздействий  $U_{ij}^{(k)}$  является линейной:

$$\alpha_{0j}^{(k)} = \sum_{i=1}^n U_{ij}^{(k)} \alpha_i^{(k)}. \quad (6)$$

По условиям технологического режима на переменную  $\alpha_{0j}^{(k)}$  наложено ограничение вида

$$\alpha_{0jn}^{(k)} \leq \alpha_{0j}^{(k)} \leq \alpha_{0je}^{(k)} \quad (7)$$

и на основании уравнения (4) введем ограничения, выражающие баланс потока, исходящего от объекта погрузки с индексом  $i$ :

$$\sum_{j=1}^m q_{ij}^{(k)} \leq q_{ie}^{*(k)} \quad (8)$$

Поскольку при планировании грузопотоков на следующий период  $t_k$  мы не можем непосредственно влиять на ритмичность поступления грузов, а, следовательно, и на «мгновенные» значения качества  $\alpha_0$ , то в качестве функции цели примем не максимум прибыли от реализации продукции [2], а условную себестоимость перевозки:

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_{ij}^{(k)} S_{ij}, \quad (9)$$

где  $q_{ij}$  – объём перевозок по маршруту  $ij$ ;  $S_{ij}$  – расстояние пробега от  $i$ -го экскаватора до  $j$ -го объекта разгрузки.

Тогда задача оптимизации грузопотока для транспортно-технологического комплекса формулируется как выбор объёмов транспортировки  $q_{ij}^{(k)} = U_{ij}^{(k)} Q_j^{(k)}$  с каждого ОП<sub>i</sub> на каждый ОР<sub>j</sub>, таких, что:

выполняется план приёма груза для каждого ОР<sub>j</sub> :

$$Q_{nлj}^{\min} \leq \sum_i q_{ij} \leq Q_{nлj}^{\max}; \quad (10)$$

не превышает план отгрузки продукта для каждого ОП<sub>i</sub>

$$\sum_{j=1}^m q_{ij}^{(k)} \leq q_{ie}^{*(k)}; \quad (11)$$

соблюдается требуемый коэффициент смешения продукта для каждого ОР<sub>j</sub>

$$\alpha_{cpjн} \leq \frac{\sum_i (\alpha_i * q_{ij})}{\sum_i q_{ij}} \leq \alpha_{cpjв}; \quad (12)$$

минимизируются транспортные расходы

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_{ij}^{(k)} S_{ij} \rightarrow \min. \quad (13)$$

соблюдаются ограничения по знаку переменных:

$$U_{ij} \geq 0, \quad (14)$$

где  $i=1..n$ ;  $j=1..m$ ;  $k=1..s$ .

Сформулированная задача условной оптимизации представляет собой задачу математического программирования с нелинейными ограничениями. Задача является мультимодальной и применять градиентные методы невозможно из-за риска попадания в локальный экстремум. Учитывая приоритетность плана грузопотоков для приёмных воронок обогатительной фабрики и перегрузочных площадок, производится ранжирование объектов разгрузки. При решении данной задачи используется эвристический алгоритм, позволяющий при необходимости быстро перепланировать грузопотоки в любой момент времени.

## Математическая модель динамической маршрутизации

$$S = \langle X, T, U, Y, \varphi, \eta \rangle, \quad (15)$$

где  $X$  – пространство состояний системы;  $T$  – множество моментов времени;  $U$  – множество значений управляющих воздействий (распределение транспортных средств по маршрутам в течение временного интервала  $T$ );  $Y$  – множество значений выходных величин;  $\varphi : T \times X \rightarrow X$  – переходная функция состояния (определяет изменение оперативного положения на транспортной сети в любой момент времени из множества  $T$ );  $\eta : T \times X \rightarrow Y$  – выходное отображение, определяющее динамику выходных величин (определяет значение затрат на транспортирование и результаты транспортирования в любой момент времени из множества  $T$ ).

Рассмотрим пространство состояний системы -  $X$ , которое состоит из параметров состояния транспортных средств, параметров состояния объектов погрузки и параметров состояния объектов разгрузки:

$$X = \langle X_{ТС\gamma}, X_{ОПi}, X_{ОРj} \rangle. \quad (16)$$

Состояние транспортного средства  $\gamma$  определяется вектором:

$$X_{ТС\gamma} = (x_{\gamma}^{ТС}, ОП_{\gamma}^{ТС}, ОР_{\gamma}^{ТС}, q_{\gamma}^{ТС}, t_{\gamma}^{ТС}),$$

где  $x_{\gamma}^{ТС}$  – переменная, характеризующая состояние данного ТС, со следующими допустимыми значениями: «СП» – следование на погрузку, «ОП» – ожидание погрузки, «П» – погрузка, «СР» – следование на разгрузку, «ОР» – ожидание разгрузки, «Р» – разгрузка, «Н» – неисправно;  $ОП_{\gamma}^{ТС}$  – номер объекта погрузки, к которому следует данный ТС (когда он находится в состоянии «СП», «ОП» или «П»);  $ОР_{\gamma}^{ТС}$  – номер объекта разгрузки, к которому следует данный ТС (когда он находится в состоянии «СР», «ОР» или «Р»);  $q_{\gamma}^{ТС}$  – количество тонн груза, которое в данный момент перевозится ТС (когда он находится в состоянии «СР», «ОР» или «Р»);  $t_{\gamma}^{ТС}$  – время последнего изменения состояния данного ТС.

Длину маршрута между ОП и ОР, по которому движется ТС $\gamma$ , будем обозначать  $S(ОП_{\gamma}^{ТС}, ОР_{\gamma}^{ТС})$ . Учитывая, что скорость движения ТС

колеблется в определенных пределах, введём функцию  $T^\gamma(\gamma, i, j)$ , которая определяет время движения ТС $\gamma$  по маршруту между ОП $_i$  и ОР $_j$ .

Состояние объекта погрузки ОП $_i$  определяется следующими параметрами:  $X_{ОП_i} = (x_i^{ОП}, N_i^{ОП}, t_i^{ОП})$ , где  $x_i^{ОП}$  - переменная оценки состояния данного ОП, со следующими допустимыми значениями: «И» – исправен, «Н» - неисправен;  $N_i^{ОП}$  - количество ТС с состояниями «СП», «ОП» или «П», направленных в данный момент к ОП $_i$ ;  $t_i^{ОП}$  - время последнего ухода загруженного ТС с ОП $_i$  (для расчета ритмичности).

Состояние объекта разгрузки ОР $_j$  определяется следующими параметрами:  $X_{ОР_j} = (x_j^{ОР}, N_j^{ОР}, q_{ij}^{ОР}, t_j^{ОР})$ , где  $x_j^{ОР}$  - переменная оценки состояния данного ОР, со следующими допустимыми значениями: «И» – исправен, «Н» - неисправен;  $N_j^{ОР}$  - количество ТС с состояниями «СР», «ОР» или «Р», направленных в данный момент к ОР $_j$ ;  $q_{ij}^{ОР}$  - количество груза, доставленного с начала смены с ОП $_i$  на ОР $_j$ ;  $t_j^{ОР}$  - время последнего прибытия загруженного ТС на ОР $_j$  (для расчета ритмичности).

Для обеспечения возможности алгоритмизации решения задачи разделим множества ОП, ОР и ТС на несколько подмножеств по организационным и функциональным признакам. Здесь и далее предполагается, что  $I$  – множество индексов ОП,  $J$  – множество индексов ОР,  $G$  – множество индексов ТС.

$ОП^i = \{ОП_d \mid d \in I, q_{dj} > 0\}$  - множество ОП, с которых предусмотрена транспортировка груза на объект разгрузки ОР $_j$ , в соответствии с планом оптимизации грузопотока.

$ОР^i = \{ОР_r \mid r \in J, q_{rj} > 0\}$  - множество ОР, на которые предусмотрена транспортировка груза с объекта погрузки ОП $_i$ , в соответствии с планом оптимизации грузопотока.

$ТС^i = \{ТС^a \mid a \in I, ОП_\gamma^{ТС} = i, x_\gamma^{ТС} = "СП", \gamma \in G\}$  - множество ТС, которые направляются в данный момент на объект погрузки ОП $_i$ .

$ТС^j = \{ТС^b \mid b \in J, OP_\gamma^{TC} = j, x_\gamma^{TC} = "CP", \gamma \in G\}$  - множество ТС, которые направляются в данный момент на объект разгрузки  $OP_j$ .

$ТС_{ОП} = \{ТС_l \mid l \in G, x_l^{TC} \in \{"ОП", "П"\}\}$  - множество ТС, которые находятся под погрузкой или ожидают погрузки.

$ТС_{ОР} = \{ТС_u \mid u \in G, x_u^{TC} \in \{"ОР", "Р"\}\}$  - множество ТС, которые находятся под разгрузкой или ожидают разгрузки;

$ТС_{ОП}^i = \{ТС_{ОП}^l \mid l \in I, ОП_l^{TC} = i, x_\gamma^{TC} \in \{"ОП", "П"\}, \gamma \in G\}$  - множество ТС, которые находятся под погрузкой или ожидают погрузки на  $ОП_i$ .

$ТС_{ОР}^j = \{ТС_{ОР}^u \mid u \in J, OP_\gamma^{TC} = j, x_\gamma^{TC} \in \{"ОР", "Р"\}, \gamma \in G\}$  - множество ТС, которые находятся под разгрузкой или ожидают разгрузки на  $OP_j$ .\*\*\*до сих

Для конкретизации отображения  $\varphi: T \times X \rightarrow X$  введем функции переходов, каждая из которых определяет изменение состояния автоматной модели после определённого события в ТТК.

После того, как  $ТС_\gamma$  начал движение на погрузку к  $ОП_i$ , состояния  $ТС_\gamma$  и  $ОП_i$  изменяются следующим образом:

$$X_{ТС_\gamma}(t) = ("СП", i, OP_\gamma^{TC}(t-1), 0, t), \quad (17)$$

$$X_{ОП_i}(t) = ("И", N_i^{ОП}(t-1) + 1, t_i^{ОП}(t-1)); \quad (18)$$

После того, как  $ТС_\gamma$  прибыл на погрузку к  $ОП_i$  и стал в очередь, состояние  $ТС_\gamma$  изменяется следующим образом:

$$X_{ТС_\gamma}(t) = ("ОП", i, OP_\gamma^{TC}(t-1), 0, t); \quad (19)$$

После того, как была начата погрузка  $ТС_\gamma$  на объекте погрузки  $ОП_i$ , состояние  $ТС_\gamma$  изменяется следующим образом:

$$X_{ТС_\gamma}(t) = ("П", i, OP_\gamma^{TC}(t-1), 0, t); \quad (20)$$

После того, как  $ТС_\gamma$  начал движение от  $ОП_i$  на разгрузку к  $ОР_j$  с грузом  $q$  тонн, состояния  $ТС_\gamma$ ,  $ОП_i$  и  $ОР_j$  изменяются следующим образом:

$$X_{TC\gamma}(t) = ("CP", OP_{\gamma}^{TC}(t-1), j, q, t), \quad (21)$$

$$X_{OP_i}(t) = ("И", N_i^{OP}(t-1) - 1, t), \quad (22)$$

$$X_{OP_j}(t) = ("И", N_j^{OP}(t-1) + 1, q_{ij}^{OP}(t-1), t_j^{OP}(t-1)). \quad (23)$$

После того, как ТС $\gamma$  прибыл на разгрузку к ОР $_j$  и стал в очередь, состояние ТС $\gamma$  изменяется следующим образом:

$$X_{TC\gamma}(t) = ("OP", OP_{\gamma}^{TC}(t-1), j, q, t); \quad (24)$$

После того, как была начата разгрузка ТС $\gamma$  на объекте разгрузки ОР $_j$ , состояние ТС $\gamma$  изменяется следующим образом:

$$X_{TC\gamma}(t) = ("P", OP_{\gamma}^{TC}(t-1), j, q, t); \quad (25)$$

После того, как была окончена разгрузка ТС $\gamma$  на объекте разгрузки ОР $_j$ , данный ТС должен быть отправлен на объект погрузки ОП $_i$ . Состояния ТС $\gamma$ , ОП $_i$  и ОР $_j$  изменяются следующим образом:

$$X_{TC\gamma}(t) = ("СП", i, OP_{\gamma}^{TC}(t-1), 0, t); \quad (26)$$

$$X_{OP_j}(t) = ("И", N_j^{OP}(t-1) - 1, q_{ij}^{OP}(t-1) + q, t); \quad (27)$$

$$X_{OP_i}(t) = ("И", N_i^{OP}(t-1) + 1, t_i^{OP}(t-1)). \quad (28)$$

После того, как была обнаружена неисправность на объекте погрузки ОП $_i$ , его состояние изменяется следующим образом:

$$X_{OP_i}(t) = ("H", N_i^{OP}(t-1), t_i^{OP}(t-1)); \quad (29)$$

После того, как была обнаружена неисправность на объекте разгрузки ОР $_j$ , его состояние изменяется следующим образом:

$$X_{OP_j}(t) = ("H", N_j^{OP}(t-1), q_{ij}^{OP}(t-1), t_j^{OP}(t-1)); \quad (30)$$

После того, как была обнаружена неисправность транспортного средства ТС $\gamma$ , его состояние изменяется следующим образом:

$$X_{TC\gamma}(t) = ("H", OP_{\gamma}^{TC}(t-1), OP_{\gamma}^{TC}(t-1), q_{\gamma}^{TC}(t-1), t_{\gamma}^{TC}(t-1)). \quad (31)$$



### Множество управляющих воздействий

Управляющими воздействиями в данной задаче являются назначения ТС на маршруты. Поскольку нет смысла рассчитывать оптимальные маршруты для тех ТС, которые находятся в движении по уже назначенным маршрутам, условимся считать управляющими воздействиями предполагаемые маршруты для тех ТС, которые вскоре освободятся (такowymi считаются ТС, которые стоят в очереди на погрузку, загружаются, стоят в очереди на разгрузку или разгружаются, т.е. ТС попадающие во множества  $\bigcup_{i \in I} TC_{OP}^i$  и  $\bigcup_{j \in J} TC_{OP}^j$ ).

Для каждого ТС, которое стоит в очереди на погрузку либо уже загружается, АСОДУ должна обеспечить выбор объекта разгрузки, к которому нужно направить данное ТС. Поэтому управляющим воздействием для данного ТС будет параметр его состояния  $OP_{\gamma}^{TC}$ . Множество управляющих воздействий  $U_{OP}$  для всех ТС, которые входят во множество  $\bigcup_{i \in I} TC_{OP}^i$ , определим, как

$$U_{OP} = \left\{ OP_{\gamma}^{TC} \in J \mid \gamma \in \bigcup_i TC_{OP}^i \right\}. \quad (32)$$

Аналогичным образом, для каждого ТС которое стоит в очереди на разгрузку либо уже разгружается, АСОДУ должна обеспечить выбор оптимального объекта погрузки, к которому нужно направить данное ТС. Управляющим воздействием для такого ТС будет параметр его состояния  $OP_{\gamma}^{TC}$ , и множество управляющих воздействий  $U_{OP}$  для всех ТС, которые входят во множество  $\bigcup_{j \in J} TC_{OP}^j$  определим, как

$$U_{OP} = \left\{ OP_{\gamma}^{TC} \in I \mid \gamma \in \bigcup_j TC_{OP}^j \right\}. \quad (33)$$

Таким образом, множество управляющих воздействий АСОДУ можно представить как кортеж  $U = \langle U_{OP}, U_{OP} \rangle$ .

Далее необходимо сформулировать критерии оптимальности решения задачи маршрутизации.

Для получения обобщенной оценки качества управления, которое достигается при использовании АСОДУ, необходимо использовать

комплексный критерий, включающий оценку соблюдения коэффициента смешения, времени простоя экскаваторов и ТС, суммарного пробега ТС, и ритмичности доставки груза. Однако такой критерий неприменим для динамического управления ТТК, поскольку он опирается на историю процесса, в то время как для динамического управления требуется просчитать и оценить ситуацию на ближайший период.

Введём также понятие «предполагаемый коэффициент смешения» для ОР как коэффициент смешения руды, который рассчитывается с учётом уже доставленного на данный ОР груза, и груза, который находится в транспортировке. Предполагаемый коэффициент смешения для  $OP_j$  можно найти следующим образом:

$$\alpha_j^{PP} = \frac{\sum_{i \in I} \alpha_i * q_{ij}^{OP} + \sum_{\gamma \in TC^j \cup TC_{OP}^j} \alpha_{OP_\gamma^{TC}} * q_\gamma^{TC}}{\sum_{i \in I} q_{ij}^{OP} + \sum_{\gamma \in TC^j \cup TC_{OP}^j} q_\gamma^{TC}}. \quad (34)$$

Для того, чтобы обеспечить ритмичности поступления груза на объекты разгрузки, необходимо, прежде всего, определить предстоящий интервал времени, на котором уже задано распределение ТС по маршрутам, и количество груза, которое будет перевезено с каждого ОП на каждый ОР за этот интервал.

Вначале определим максимальное запланированное время прибытия на ОР для всех ТС, которые на данный момент находятся под погрузкой:

$$T^{PP} = \max_{\gamma \in TC_{OII}} (t^0 + T^\gamma(\gamma, OP_\gamma^{TC}, OP_\gamma^{TC})), \quad (35)$$

где  $t^0$  - время, прошедшее с начала смены.

Множество ТС, которые движутся к заданному  $OP_j$  (или уже стоят в очереди на разгрузку на  $OP_j$ ) с заданного  $OP_i$  обозначим  $TC_{OP}^{ij}$ :

$$TC_{OP}^{ij} = \left\{ TC_{OP}^{ij} \mid OP_\gamma^{TC} = j, OP_\gamma^{TC} = i, x_\gamma^{TC} \in \{ "OP", "П" \}, \gamma \in G \right\} \quad (36)$$

Тогда количество груза, которое будет доставлено с  $OP_i$  на  $OP_j$  при текущем плане распределения ТС по маршрутам на момент времени  $T^{PP}$  можно выразить следующим образом:

$$Q_{ij}^{PP} = q_{ij}^{OP} + \sum_{\gamma \in TC_{OP}^{ij}} q_{\gamma}^{TC}. \quad (37)$$

Опираясь на рассмотренные конструкции, можно ввести несколько критериев динамического управления:

критерий минимизации отклонения от заданного показателя качества руды

$$W_{\alpha}^D = \sum_{j \in J} |\alpha_0 - \alpha_j^{PP}| \rightarrow \min, \quad (38)$$

- минимизирует разницу между плановым коэффициентом смешения  $\alpha_0$  для всех ОР, и предполагаемым коэффициентом смешения для всех ОР, при условии выполнения текущего плана распределения ТС по маршрутам;

критерий условных транспортных расходов

$$W_S^D = \sum_{\gamma \in TC_{OP} \cup TC_{OP}} \frac{S(OP_{\gamma}^{TS}, OP_{\gamma}^{TS})}{\max_{i,j} S_{ij}} \rightarrow \min, \quad (39)$$

- минимизирует длину маршрутов, которые планируется назначить ТС, находящимся в данный момент под погрузкой или разгрузкой (относительно максимальной длины маршрута в ТТК).

критерий ритмичности, - считая, что график отгрузки и потребления груза от  $i$ -го ОП  $j$ -м ОР является линейным от времени, можно ввести следующим образом:

$$W_R^D = \sum_i \sum_j \left( \frac{q_{ij} \cdot T^{PP}}{T^C} - Q_{ij}^{PP} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (40)$$

где  $T^C$  - длительность смены.

Для обеспечения гибкости системы оперативно-диспетчерского управления, оператор должен иметь возможность выбирать наиболее приемлемый критерий динамического планирования, в зависимости от текущей ситуации.

Оптимизация управления ТТК производится путём выбора такого плана распределения ТС по маршрутам, для которого значение выбранного критерия минимально.

### Выводы

Разработаны математические модели задач автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления работой карьерного автотранспорта, которые отличаются от существующих повышенной адекватностью описания пространства состояний ТТК и гибкостью выбора критериев оптимизации. Модели позволяют осуществлять быстрое перепланирование грузопотоков и оптимизировать распределение транспортных средств по маршрутам.

Разработанные модели входят в комплекс математических моделей автоматизированной системы оперативно диспетчерского управления (АСОДУ) ТТК карьера.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Модель автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления карьерным автотранспортом //В.М Левыкин, И.В. Шевченко// Нові технології. 2005. - № 4(10). с.68-72.
2. Легостаев В.Г. Разработка и исследование методов эффективного управления транспортно-технологическими комплексами с использованием информационно-управляющих систем. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Харьков. 1979 г.
3. АСУ горнотранспортными работами ГОКа «Эрдэнэт». Г. Маматов, В.А. Коннов. Механизация и автоматизация производства. № 11, 1991. с. 39-42.
4. Автоматизированная система слежения на основе спутниковой навигации. Диспетчеризация мобильного оборудования карьера. Техническое описание. НВК «ВИСТ». М.: 2001 г.
5. Маршрутизация и контроль движения технологических транспортных средств /В.М. Левыкин, И.В. Шевченко// Нові технології. 2004.- № 2(5) с. 182-187.
6. Имитационная модель функционирования карьерного автотранспорта /В.М Левыкин, И.В. Шевченко// Нові технології. 2004. - № 3(6). с.91-97.