

УДК 513.330.115

ЗАДАЧА СОСТАВЛЕНИЯ СУТОЧНОГО РАСПИСАНИЯ
РАБОТЫ АВТОТРАНСПОРТА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЗЕРНА В ПЕРИОД
ЗАГОТОВОК

Д.И.Волков, В.П.Стригунов

С увеличением производства зерна очень важно своевременно провести уборку, закупку зерна и обеспечить его сохранность. В решении этой задачи значительная роль отводится автотранспорту. Только на период напряженных работ по уборке урожая и массовых перевозок зерна государство направляет в помощь селу примерно 600 тыс. грузовых автомобилей. Подготовка автотранспортных средств к перевозкам зерна, перемещение их в места уборки и обратно с одновременным командированием шоферов, ремонтных рабочих и инженерно-технических работников требует больших материальных затрат — от 200 до 800 руб на одну машину. В целом эти вынужденные затраты исчисляются сотнями миллионов рублей. Ежегодно только в Новосибирской области работает более тысячи привлеченных автомобилей. По мере дальнейшего увеличения производства и заготовок зерна проблема транспорта станет еще более острой. Ввиду этого актуальной является задача определения путей наиболее рационального использования автотранспорта.

В настоящей работе рассматривается один из самых напряженных участков в период массовой уборки — работа автотранспорта по перевозке зерна с токов хозяйств на государственные хлебоприемные пункты (система "ток-автомобиль-ХПП"). Установлено, что более 70% привлеченного автотранспорта работает именно на этом участке. Изучение и анализ работы системы "ток-авто-

мобиль-ХПП" показывает, что здесь имеются серьезные недостатки, приводящие к неоправданным производственно-транспортным затратам, а также к излишнему привлечению автомашин. Одной из причин недостатков в работе автотранспорта является несогласованность в организации отдельных элементов системы "ток-автомобиль-ХПП": токи работают 14-16 часов в сутки, автомашины 10-14 часов, ХПП - круглосуточно. Результаты наблюдений, проведенных в течение 1969-1971 гг. по нескольким районам Новосибирской области, показывают, что автомобили с зерном поступают на ХПП крайне неравномерно. Наибольшее поступление автомобилей по часам суток для всех ХПП приходится на период с 10 часов до 20 часов. Имеющиеся в этом периоде пики сбивают ритм работы ХПП, вследствие чего у контрольно-визировочной лаборатории возникает очередь автомобилей, достигающая иногда нескольких километров. В ночное же время из-за малого поступления автомашин с зерном приемные устройства ХПП используются неполностью.

В сложившейся организации управления транспортом трудно найти пути для его эффективного использования. В настоящее время автотранспорт, предназначенный для вывоза зерна с токов на ХПП, поступает в распоряжение хозяйств по их заявкам и используется по усмотрению руководителей хозяйств. Отсюда произвол в автоперевозках и отсутствие согласованности в действиях руководителей хозяйств и ХПП. Для синхронизации работы системы "ток-автомобиль-ХПП" необходимо провести коренную ломку в сложившейся организации производства.

С целью улучшения использования автотранспорта на перевозках зерна с токов на ХПП должен быть создан единый центр управления транспортным процессом. При этом автотранспорт, необходимый для перевозки зерна на государственные ХПП, следует централизовать в районе при АТХ. Для осуществления централизованного руководства и управления автоперевозками в районе необходимо организовать диспетчерскую службу. Только при наличии такого центра появляется возможность использовать для организации работы автотранспорта современные методы планирования. Очевидно, что наибольший эффект от применения современных методов планирования можно получить, если использовать их для каждодневного, оперативного управления работой автотранспорта. При этом появляется возможность достаточно точно

учитывать накопление зерна на токах и имеющийся в готовности автопарк.

Отметим, что в работах, исследующих массовые перевозки сельскохозяйственных продуктов [1] - [3], не рассматривались вопросы оперативного (каждодневного) планирования, а составлялся лишь план работы автотранспорта на весь период уборки и заготовки, учитывающий лишь прогнозируемые объемы заготовок сельхозпродуктов. Рекомендации, получаемые с помощью такого подхода, могут оказаться неприемлемыми в реальных условиях.

Для улучшения работы системы "ток-автомобиль-ХПП" в данной статье предлагается подход, опирающийся на методы оптимального планирования и позволяющий осуществить эффективное оперативное планирование работы автотранспорта. Данный подход реализуется в два этапа. На первом этапе (§ 1) исходными данными являются сведения об объемах готового к вывозу зерна, получаемые с токов за день вперед, и сведения от АТХ о готовности автопарка, его количественный и марочный состав. На основании этих данных формулируется и решается целочисленная задача линейного программирования - задача 1. В результате решения этой задачи мы получаем оптимальное в смысле эксплуатационных затрат прикрепление автомобилей к пунктам производства - токам. Решение задачи 1 дает возможность определить индивидуальный маршрут и число ездов по нему для каждого водителя.

Дальнейшей целью является организация движения автомашин по своим маршрутам таким образом, чтобы суммарное время простоя всех автомашин в пунктах с ограниченной пропускной способностью (пунктах погрузки и ХПП) было минимальным. Такую организацию движения автомашин, учитывающую распорядок рабочего дня каждого водителя (необходимость обеденного перерыва, продолжительность рабочей смены и т.п.), мы будем называть расписанием. Расписание составляется на втором этапе (задача 2) с помощью алгоритма, разработанного авторами (§ 2).

Предлагаемый подход был апробирован на нескольких задачах, исходными данными для которых послужил фактический материал. Результаты оказались весьма обнадеживающими. Еще раз отметим, что предлагаемый подход практически может быть реализован только при наличии централизованного управления автотранспортом и налаженной диспетчерской службы.

§ 1. Задача оптимального распределения автомашин по маршрутам

Введем следующие обозначения:

a_i - объем производства в планируемый день в i -ом пункте ($i = 1, 2, \dots, m$);

δ_{ij} - время полного оборота j -ой автомашины для i -го пункта производства ($i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$);

p_j - грузоподъемность j -ой автомашины;

Δ_j - количество рабочих часов в сутки для j -ой автомашины;

c_{ij} - суммарные эксплуатационные затраты полного оборота в i -ый пункт производства для j -ой автомашины;

x_{ij} - число ездов j -ой автомашины в i -ый пункт производства.

В принятых обозначениях интересующая нас задача (задача 1) состоит в следующем:
минимизировать

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

при условиях:

$$\sum_{j=1}^n p_j x_{ij} \geq a_i, \quad i = 1, \dots, m; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m \delta_{ij} x_{ij} \leq \Delta_j, \quad j = 1, \dots, n; \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0; \quad (4)$$

$$x_{ij} - \text{целые числа.} \quad (5)$$

Решение поставленной задачи дает оптимальное с точки зрения транспортных и погрузочно-разгрузочных затрат прикрепление автомашин к пунктам производства. Заметим, что условие (5) целочисленности всех переменных, как правило, исключает возможность получения точного решения задачи 1. При практических расчетах приходится довольствоваться приближенным решением, которое получается путем округления точного решения

задачи, определяемой условиями (1) - (4). Возможно, что полученное таким образом целочисленное решение окажется недопустимым. В этом случае следует рассмотреть несколько вариантов округления или прибегнуть к небольшим вариациям правых частей ограничений (2) и (3), см. [6]. В экспериментальных расчетах задача (1) - (4) решалась на ЭВМ по программе [5], а доводка ее решения до целочисленного осуществлялась вручную. При этом в процессе округления осуществлялось (если это было необходимо) такое перераспределение ездов автомашин, чтобы в окончательном решении каждая машина в течение всего рабочего дня обслуживала лишь один ток. Прикрепление автомашин к токам, обладающее указанным свойством, определяется решением целочисленной задачи линейного программирования, которая может быть получена из задачи 1, если дополнительно ввести $m \cdot n$ переменных f_{ij} со значениями 0 или 1, удовлетворяющих $n + m \cdot n$ дополнительным ограничениям:

$$\sum_{i=1}^m f_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, n; \quad x_{ij} \leq N_{ij} f_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n,$$

где N_{ij} - какая-либо верхняя граница x_{ij} .

При больших значениях параметров m и n размеры матрицы ограничений (2), (3) могут превысить возможности используемой программы [5]. В таких случаях размерность задачи 1 можно сократить, рассматривая агрегированно все автомашины одной марки. Значения переменных x_{ij} дадут число ездов машин j -ой марки по i -му маршруту, поэтому для определения индивидуальных маршрутов здесь потребуются провести дополнительные расчеты.

§ 2. Построение расписания движения автомашин по маршрутам

Как указывалось выше, на втором этапе предлагаемого подхода осуществляется построение суточного расписания движения автотранспорта, занятого на вывозке зерна с пунктов заготовки (токов) на хлебоприемный пункт (ХП).

Исходными данными для задачи составления расписания движения автотранспорта (задачи 2) являются результаты решения задачи 1. Решение задачи 1 дает нам возможность наилучшим образом распределить имеющийся парк автомашин по пунктам прома-

водства зерна и определить, какое число ездов в течение заданного интервала времени (как правило, суток) должна совершить каждая машина между ХПП и тем пунктом производства зерна, который ей предстоит обслуживать. Таким образом, в результате решения задачи I для каждого пункта производства зерна мы получаем список автомашин, обслуживающих этот пункт, и число ездов на ХПП каждой автомашины. Дальнейшей нашей целью является организация такого движения автомашин по своим маршрутам, чтобы суммарное время простоя всех автомашин в пунктах погрузки и на ХПП было минимальным.

Задачи нахождения расписаний, удовлетворяющих тем или иным экстремальным условиям, рассматриваются в классической теории расписаний. Вычислительный аппарат этой теории в настоящее время разработан слабо. Из известных подходов к задачам теории расписания можно упомянуть линейно-программный подход, приводящий к необходимости решать целочисленную задачу линейного программирования, которая в интересных для практики случаях оказывается задачей очень большого размера (см. [4] и [7]). В связи с этим получили распространение приближенные алгоритмы, опирающиеся, как правило, на эвристические соображения. Описываемый ниже алгоритм следует отнести к алгоритмам такого типа.

2.1. Предварительные пояснения и обозначения

Величины a_i , δ_{ij} , α_{ij} здесь имеют тот же смысл, что и в задаче I. При этом

$$\delta_{ij} = t_{ij}^1 + t_{ij}^2 + t_{ij}^3 + t_{ij}^4,$$

где t_{ij}^1 - время холостого пробега j -ой автомашины до i -го пункта производства, t_{ij}^2 - время обслуживания на i -ом токе, t_{ij}^3 - время движения j -го автомобиля с грузом от i -го пункта производства до ХПП, t_{ij}^4 - время обслуживания на ХПП.

Автомашинам присваиваются номера так, что при $i < i'$ каждый элемент множества J_i машин обслуживающих i -ый пункт меньше любого элемента множества $J_{i'}$, а внутри множества машины нумеруются в порядке возрастания δ_{ij} . Таким образом, если A_i - число машин, выделенных для обслуживания i -го пункта, то

$$J_i = \left\{ \sum_{k=1}^{i-1} A_{k+1}, \sum_{k=1}^{i-1} A_{k+2}, \dots, \sum_{k=1}^i A_k \right\}.$$

Далее, t_{ij}^n - время загрузки j -ой автомашины на i -ом токе, τ - интервал поступления машин на ХПП (в наших условиях 2 мин), T^n - длина интервала планирования (в рассматриваемом случае 24 часа). При этом весь интервал планирования $T = [0, T^n]$ разбивается на T^n интервалов $T_k = [k-1, k]$, длиной в 1 час. Последние разбиваются на 30 двухминутных интервалов T_{ke} .

Наконец, через y_{ij} обозначается время выхода j -ой автомашины на i -ый маршрут. Остальные обозначения, которые нам потребуются при описании алгоритма, будут введены в нужном месте.

Работа описываемого ниже алгоритма состоит в последовательном выполнении нескольких шагов. На 1-ом и 2-ом шагах определяется время выхода каждой автомашины на свой маршрут. Это время определяется таким образом, чтобы полностью исключить простой любой автомашины на токе и ХПП при совершении ею своей первой ездки. При этом, конечно, не исключаются простои некоторых или всех автомашин при выполнении последующих ездок. Дальнейшие шаги алгоритма изменяют поведение автомашин на маршрутах таким образом, чтобы сохранить нулевыми простои всех автомашин на токах и сделать суммарные простои на ХПП минимальными (шаг 3) и, кроме того, учесть требования к расписанию рабочего дня каждого шофера (шаг 4).

Таким образом, в алгоритме реализуются следующие эвристические принципы:

1. ликвидация простоев автомашин на токах и ХПП при первой езде;
2. уменьшение простоев на токах в течение всего рабочего дня.

Как показали экспериментальные расчеты, реализация указанных принципов позволяет получить достаточно хорошее для практического применения расписание.

2.2. Описание алгоритма

Приведем детальные описания каждого шага.

ШАГ 1. На этом шаге мы определяем для каждой автомашины условное время выхода на маршрут y_{ij} . Условным оно называ-

но потому, что в дальнейшем может быть изменено. Условное время выхода автомашины на маршрут определяется лишь из требования нулевого простоя на токах для первых ездов. Для этого для автомашин с индексом $j \in J_i$, $i = 1, 2, \dots, m$, достаточно положить

$$\bar{y}_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } j = \sum_{k=1}^{i-1} A_k + 1, \\ \bar{y}_{i,j-1} + t''_{i,j-1} & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (6)$$

ШАГ 2. На этом шаге определяется фактическое время y_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$, $j \in J_i$, выхода каждой автомашины на маршрут (начало рабочего дня каждого шофера). При этом учитывается, что автомашины, чтобы не простаивать на ХПП, должны прибывать туда с интервалом $\tau = 2$ мин.

Определяем условное время первого прибытия на ХПП для каждой машины по формулам

$$\bar{p}_{ij} = \bar{y}_{ij} + \delta_{ij} - t''_{ij}, \quad i = 1, \dots, m; j \in J_i.$$

Для всех $j \in J$ находим тот интервал T_{kl} , для которого $\bar{p}_{ij} = k-1+2l$, $1 \leq l \leq 30$. При этом будем говорить, что машина j заняла интервал T_{kl} , и обозначать $\bar{p}_{ij} \in T_{kl}$. Интервал T_{kl} называется "занятым". Ясно, что один и тот же интервал может быть занят несколькими машинами. Для нас представляет интерес случай, когда каждый из занятых интервалов оказывается занятым лишь одной автомашиной, так как только при выполнении этого условия автомашины после завершения первых ездов не будут простаивать на ХПП. В таком случае мы будем говорить, что каждая автомашина имеет "собственный" интервал прибытия на ХПП. Моменты \bar{y}_{ij} выхода автомашин на маршрут, определенные на шаге I, могут не обеспечить каждой автомашине свой собственный интервал поступления на ХПП после первой ездки. В этом случае они изменяются с помощью следующей процедуры.

Для $j = 1$ собственным является тот интервал, который занят этим j , т.е. для которого $\bar{p}_{11} \in T_{kl}$. Момент выхода первой автомашины полагается равным условному времени, т.е. $y_{11} = \bar{y}_{11} = 0$.

Рассмотрим автомашину с произвольным индексом j_0 . Нахо-

дим интервал $T_{k, \ell}$, занимаемый индексом j . Если выполняется соотношение $\bar{p}_{ij} \in T_{k, \ell}$, $j < j_0$, то есть если интервал $T_{k, \ell}$ не занят никаким индексом j , меньшим j_0 , то этот интервал объявляется собственным для индекса j_0 и полагается $y_{i, j_0} = \bar{y}_{i, j_0}$.

В противном случае в интервале T_k находится первый незапятнанный интервал $T_{k, \ell'}$, $\ell' > \ell$, который объявляется собственным для индекса j_0 . Время выхода на маршрут для автомашины j_0 определяется по формуле

$$y_{i, j_0} = \bar{y}_{i, j_0} + 2(\ell' - \ell). \quad (7)$$

Если внутри T_k не найдется свободного интервала, то рассматривается следующий $(k+1)$ интервал и т.д. Пусть номер первого интервала, в котором первым свободным 2-х минутным интервалом оказался интервал с номером ℓ'' . Тогда определяется формулой

$$y_{i, j_0} = \bar{y}_{i, j_0} + (k' - k_0) + 2(\ell'' - \ell), \quad (7')$$

а интервал $T_{k'} \ell''$ объявляется собственным для индекса j_0 .

Заметим, что описание процедуры вычисления времени выхода на маршрут применяется в несколько измененном виде, если индекс j_0 соответствует машине, не являющейся первой в списке машин, обслуживающих ток i . В этом случае при выборе собственного интервала для машины j_0 следует брать не просто первый свободный интервал, а первый свободный интервал, сохраняющий (не увеличивающий) темп движения машин на данном маршруте, задаваемый соотношениями (6). Таким образом, необходимо дополнительно учитывать условие:

$$y_{i, j_0} \geq y_{i, j_0-1} + t_{i, j_0-1}^{j_0}, \sum_{k=1}^{j_0-1} A_{k+1} < j_0 \leq \sum_{k=1}^{j_0} A_k,$$

исключающее простои автомашин на токах при первой езде.

ШАГ 3. Вычислив на шаге 2 истинные моменты выхода автомашин на маршрут, мы можем найти время первого прибытия на ток q'_{ij} и время первого прибытия на ХПП - p'_{ij} .

Эти величины равны:

$$q'_{ij} = y_{ij} + t'_{ij},$$

$$p'_{ij} = y_{ij} + \delta_{ij} - t'_{ij} \quad (8)$$

Для контроля за движением машин на маршрутах в описываемом алгоритме вычисляются моменты их поступления на токи и на XIII, то есть величины q'_{ij} и p'_{ij} . Если бы машины нигде не простаивали и рабочий день шоферов длился бы без перерыва, то эти моменты можно было бы легко найти: они отличались бы от величин (8) на число, кратное времени полного оборота δ_{ij} .

На шаге 3 моменты q'_{ij} и p'_{ij} вычисляются с учетом возможных простоев автомашин на токах и требования отсутствия простоев на XIII.

Пусть найдены q^{k-1}_{ij} , p^{k-1}_{ij} для всех i, j и q^{k-1}_{ij} , p^{k-1}_{ij} для $i \in i_0$, $j \in j_0$. Предположим, что $j_0 \in J_{i_0}$. Для определения $p^{k,j}_0$ найдем двухминутный интервал $T_{p\ell}$, занимаемый индексом j_0 . Рассмотрим случаи:

1) $(j_0 - 1) \in J_{i_0}$, $j_0 \in J_{i_0}$, и $T_{p\ell}$ оказался собственным интервалом для j_0 . Моменты времени $q^{k,j}_0$ и $p^{k,j}_0$ определяются по формулам:

$$\begin{aligned} q^{k,j}_0 &= q^{k-1}_{i_0,j_0} + \delta_{i_0,j_0}, \\ p^{k,j}_0 &= p^{k-1}_{i_0,j_0} + \delta_{i_0,j_0}. \end{aligned} \quad (9)$$

2) $(j_0 - 1) \in J_{i_0}$, $j_0 \in J_{i_0}$, и $T_{p\ell}$ оказался несобственным интервалом для j_0 . В этом случае так же, как и на шаге 2, первый незанятый интервал $T_{p'\ell'}$ объявляется собственным для j_0 , а величины $q^{k,j}_0$ и $p^{k,j}_0$ вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} q^{k,j}_0 &= q^{k-1}_{i_0,j_0} + \delta_{i_0,j_0} + (p' - p) + 2(\ell' - \ell), \\ p^{k,j}_0 &= p^{k-1}_{i_0,j_0} + \delta_{i_0,j_0} + (p' - p) + 2(\ell' - \ell). \end{aligned} \quad (10)$$

При этом автомашинка j_0 вынуждена простаивать на XIII, и время ожидания разгрузки для нее равно $(p' - p) + 2(\ell' - \ell)$.

3) $(j_0 - 1) \notin J_{i_0}$, $j_0 \in J_{i_0}$, и $T_{p\ell}$ оказался собственным интервалом для j_0 . Величины $q^{k,j}_0$ и $p^{k,j}_0$ вычисляются по формулам (9), если при этом выполняется соотношение

$$q^{k,j}_0 \geq q^{k,j-1}_{i_0,j-1} + t'_{i_0,j-1} \quad (11)$$

В противном случае эти величины вычисляются по формулам (10), где p' , ℓ' — индексы первого незанятого интервала $T_{p'\ell'}$, для которого выполняется соотношение (11). Величина $(p' - p) + 2(\ell' - \ell)$ здесь также определяет величину простоя машины на XIII.

4) $(j, -1)$, $j \in J_i$, и T_{pe} оказался несобственным интервалом для j . В этом случае используются формулы (10), где p' , l' - индексы первого незнамого интервала $T_{p'l'}$, для которого выполняются соотношения (11). Машина j простаивает на ХПП время $(p'-p)+2(l'-l)$. Заметим, что если κ - номер последней езды машины j , то условие (11) учитывать не нужно.

ШАГ 4. На этом шаге учитываются различные требования к распорядку рабочего дня каждого водителя. Здесь мы покажем, как можно учесть основные требования к такому распорядку - необходимость обеденного перерыва и фиксированную величину рабочего дня (смены) водителя. Пусть продолжительность рабочего дня равна \mathcal{F} часам и требуется, чтобы каждый водитель пообедал не позже, чем через \mathcal{D} часов после начала работы.

Предположим, что водитель машины j обслуживает i -ый ток и совершил $(\kappa-1)$ езду. На шаге 3 мы вычислили величину p_{ij}^{κ} , то есть время, в которое водитель вернулся бы на ХПП, если бы он совершил еще и κ -ю езду. Прежде чем принимать решение относительно κ -ой езды, нужно проверить условие $\kappa > \alpha_{ij}$. Если оно выполняется, то машина j рабочий день заканчивает. В противном случае проверяем условие

$$p_{ij}^{\kappa} - y_{ij} + t_{ij}^4 \leq \mathcal{D}. \quad (12)$$

Здесь $p_{ij}^{\kappa} - y_{ij} + t_{ij}^4$ - время, проведенное водителем на маршруте после совершения им κ езды. Если это условие выполняется, то автомашина совершает κ -ю езду. Если условие (12) для индекса j нарушается при данном κ и выполнялось при всех меньших κ , то, прежде чем совершить κ -ю езду, водитель отправляется на обед. При этом индекс j получает название отмеченного. Время возвращения на ХПП, определенное на шаге 3, аннулируется и вычисляется заново, при этом исходная величина p_{ij}^{κ} увеличится на продолжительность обеденного перерыва \mathcal{D} .

Если соотношение (12) уже нарушалось при меньших κ , т.е. если индекс j отмеченный, то проверяется условие

$$p_{ij}^{\kappa} + t_{ij}^4 - y_{ij} \leq \mathcal{F}, \quad (13)$$

где \mathcal{F} - продолжительность смены водителя. Если условие (13) выполняется, то машина совершает κ -ю езду. В противном

случае водитель j -ой машины заканчивает рабочий день, машина сходит с маршрута и возвращается на него через время F_j (время пересмены). Время возвращения на ХПП после k -ой ездки, определенное на шаге 3, аннулируется и вычисляется заново аналогичным образом, но при этом исходная величина ρ_{ij}^{k-1} увеличивается на продолжительность пересмены F_j . Величина y_{ij} заменяется на величину $\rho_{ij}^{k-1} + F_j$, а индекс j вновь становится неотмеченным. Возвращается на шаг 3, увеличив k на единицу. Алгоритм заканчивает работу, когда все машины совершат полностью свои ездки.

Заметим, что при составлении расписания необходимо учитывать, что момент перехода от одного периода планирования к другому может застать некоторые автомашины в очереди у ХПП. Если последняя из таких машин не будет обслужена до прибытия первой из машин, работающих в следующем периоде планирования, то окажется невозможным обеспечить отсутствие простоев всех машин у ХПП при первой ездке. В таких случаях алгоритм применяется в прежнем виде, лишь часть двухминутных интервалов предполагается занятой с самого начала периода, и, кроме того, автомашины, задержавшиеся у ХПП с прошлого периода, выходят на свои маршруты позже.

§ 3. Экспериментальные расчеты

Предложенный подход был использован для анализа ситуации, сложившейся в Коченевском районе Новосибирской области 18 сентября 1971 года. Авторы располагали всей информацией, характеризующей обстановку в этот день.

На основе фактических данных была сформулирована задача I. При 18 токах и 10 различных марках автомашин (автомшины одной марки рассматривались агрегированно) размеры матрицы ограничений (2), (3) оказались равными 28×180 . Задача I (без учета ограничений (5)) была решена по программе Р.А.Звягиной [5]. Приближенное целочисленное решение задачи I получено вручную.

Далее, для реализации решения задачи I решалась задача составления суточного расписания движения автотранспорта (задача 2). Составление расписания осуществлялось с помощью алго-

ритма параграфа 2. При этом на шаге 4 учитывались следующие условия, накладываемые на распорядок рабочего дня водителя: работа автотранспорта осуществлялась в три смены по 8 часов, $T = 8$; каждый водитель должен пообедать не позднее, чем через 5 часов после начала работы, $\Sigma = 5$; продолжительность обеденного перерыва 1 час, $\Sigma_0 = 1$; кроме того, было принято условие, что водители могут уходить на обед не позднее, чем в 13³⁰ для первой смены, в 21³⁰ — для второй и в 5⁰⁰ — для третьей. Продолжительность пересмены была принята равной 30 мин, $F_0 = 0,5$.

Сравнение работы автотранспорта по полученному расписанию с фактическим положением (см. табл. I) показывает неоспоримые преимущества предлагаемого подхода перед сложившимися в настоящее время методами управления автотранспортом.

Таблица I

Часы По- суток ступ- ление ав- томобилей	24-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
Фактичес- кое	19	10	2	2	1	1	5	6
Согласно эксперимен- тальному расписанию	12	27	25	22	4	21	28	17

Часы По- суток ступ- ление ав- томобилей	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Фактичес- кое	19	36	100	70	62	53	62	82
Согласно эксперимен- тальному расписанию	11	23	25	27	12	18	17	19

Часы По- суток ступ- ление ав- томобилей	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
Фактичес- кое	60	81	58	51	38	43	25	29
Согласно эксперимен- тальному расписанию	30	21	9	25	29	19	10	24

Во-первых, оказывается возможным значительно (более чем на 40%) сократить занятый на перевозке зерна автотранспорт. Это достигается за счет более интенсивного использования большегрузных автомобилей. Соответственно уменьшаются (более чем на 50%) эксплуатационные расходы. При этом заготовленный объем зерна вывозится полностью.

Во-вторых, движение автомобилей по полученному расписанию делает равномерным почасовое поступление автомобилей на ХПП. В табл. I приведены фактические и экспериментальные данные о поступлении автомобилей на ХПП по часам суток. Из фактических данных видно, что в отдельные часы поступление автомобилей на ХПП более чем в 3 раза превышало его пропускную способность - 30 автомобилей в час. В общей сложности за 18.IX. 1971 г. сверх пропускной способности поступило 406 автомобилей. Использование расписания позволило бы получить равномерное поступление автомашин на ХПП, не превышающее пропускной способности. Это обстоятельство, конечно, не исключает полностью простои автотранспорта, но они были бы значительно меньшими (3042 мин), чем фактические (31668 мин).

Таким образом, анализ работы системы "ток-автомобиль-ХПП" показывает, что в настоящее время автотранспорт в этой системе используется весьма неэффективно. Эффективной работы автотранспорта можно добиться лишь при централизованном управлении, привлекая современные методы планирования и ЭВМ. Предлагаемый подход пока лишь частично опирается на вычислительную технику. Разработанный авторами алгоритм позволяет получить достаточно хорошее для практики расписание, нетрудоемкое и легко поддается программированию. Поэтому всю вычислительную работу, связанную с получением расписания, можно полностью передать ЭВМ. Это обстоятельство делает реальным оперативное (каждодневное) управление автотранспортом в системе "ток-автомобиль-ХПП".

Л и т е р а т у р а

1. СРУБАСОВСКИЙ Г.К., ЗАБЕНЧИК Л.Г., КРИВЕНКО И.В., СЛАВУТИН А.В. Перевозки сельскохозяйственных продуктов автомобильным транспортом. Киев, "Техника", 1967, 266 с.

2. ЧЕРНОБАЕВ И.И. Работа автомобильных бригад по часовому графику. М., "Транспорт", 1968. 106 с.
3. ЗАЕНЧИК Л.Г. Организация централизованного оперативного планирования грузовых автоперевозок с помощью математических методов. Киев, 1966. 121 с.
4. Календарное планирование. Сб. переводов под редакцией В.В.Головинского. М., "Прогресс", 1966. 466 с.
5. ЗВЯГИНА Р.А. Программа реализации на М-20 модифицированного симплекс-метода с узкоблочной матрицей. В сб.: "Оптимальное планирование", вып. 4, Новосибирск, "Наука", 1966. с. 63-124.
6. ВОЛКОВ Ю.И., ХОХЛУЖ В.И. Методы решения целочисленных задач линейного программирования. - В сб.: Математические модели и методы оптимального планирования. Новосибирск, "Наука", 1966, с. 5-35.
7. КОРБУТ А.А., ФИНКЕЛЬШТЕЙН Ю.Ю. Дискретное программирование. М., "Наука", 1969. 368 с.

Поступила в ред.-изд. отд.

19. IV. 1973 г.