

Ер. 6.7
486

ISSN 0136-3549
0320-3433

TALLINNA
POLÜTEHNILISE INSTITUUDI
TOIMETISED

486

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА

ТРИ
'80

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ
АВТОМОБИЛЬНЫХ
ДОРОГ
И АВТОМОБИЛЬНОГО
ТРАНСПОРТА
ЭСТОНСКОЙ ССР
В УСЛОВИЯХ
ИНТЕНСИВНОЙ
АВТОМОБИЛИЗАЦИИ



Ep. 6.7

486

**ТРИ
'80**

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 625.7

●
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ
АВТОМОБИЛЬНЫХ
ДОРОГ
И АВТОМОБИЛЬНОГО
ТРАНСПОРТА
ЭСТОНСКОЙ ССР
В УСЛОВИЯХ
ИНТЕНСИВНОЙ
АВТОМОБИЛИЗАЦИИ

Автомобильные дороги. Автомобильный
транспорт X1

Таллин 1980

625



© Таллинский политехнический институт

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Общезвестно, что интенсивность движения на автомобильных дорогах постоянно растет, опережать потребности транспорта строительством новых дорог трудно. Поэтому необходимо как можно эффективнее использовать существующую сеть дорог, снижая при этом аварийность. Это было подчеркнуто и на XIII международной неделе безопасности движения в Швейцарии [1].

Для улучшения условий работы транспорта необходимо больше внимания уделять деталям дорожной среды. Ясно и то, что настоящий уровень безопасности движения не может удовлетворять нас в будущем. Для достижения цели по повышению плавности и безопасности движения необходимо больше внимания уделять вопросам проектирования организации движения. Ниже приведены результаты исследований Таллинского политехнического института некоторых аспектов проектирования организации движения. При этом была поставлена цель разработать мероприятия с точки зрения задачи снижения аварийности. Вполне понятно, что кроме нижеизложенных факторов имеется и множество других, которые в данной работе не анализируются.

Существующие нормы проектирования автомобильных дорог не нормируют такой важный показатель, как необходимая видимость для обгона. Однако необходимо отметить, что в зарубежных нормах этому показателю уделяют много внимания.

Как показывают проведенные нами исследования, соблюдение рекомендаций СНиП по элементам плана и продольного профиля не гарантирует удовлетворительной доли участков от общей длины дороги, где возможен безопасный и без риска обгон. Наблюдения, проведенные на дорогах III и IV технической

категории Эстонской ССР позволили выявить вероятность появления участков с недостаточной видимостью. Критерием считалась длина фактической видимости встречного автомобиля ≤ 500 м. Эта длина является минимальной, при которой еще возможен маневр обгона.

Объем информации за счет участков с недостаточной видимостью определен по формуле

$$J = -\log_2 \frac{\sum_{k=1}^M m_{jk}}{M \cdot N}, \quad (I)$$

где $\sum_{k=1}^M m_{jk}$ - количество участков, где видимость встречного автомобиля $l \in 50 \dots 500$ м (геометрическая видимость ≤ 50 м и практически не встречается);

N - количество участков длиной Δl ;

M - количество интервалов длиной Δt времени следования на перегоне.

В данном исследовании взяли $\Delta l = 1$ км и $\Delta t = 60$ с. Возможны и другие размеры Δl и Δt . Однако принятые размеры гарантируют достаточную точность определения информации. Результаты измерений и расчетов приведены в табл. I.

Т а б л и ц а I

Информация, полученная водителем, в зависимости от определения видимости

Дорога с видимостью ≤ 500 м	Категория	Длина исследуемого участка, км	Количество участков с видимостью 500 м	Объем информации для водителя, биты
Таллин-Нарва	III	201,8	320	6,66
Таллин-Тарту	III	178,8	160	7,30
Таллин-Цярну	III	111,4	104	6,42
Тарту-Вильянди	IV	30,5	104	2,85
Йыгева-Тарту	IV	45,0	132	3,60
Раквере-Вайке-Маарья	IV	23,0	86	2,34

Как видим, определение необходимой видимости снабжает водителей довольно большим потоком информации. Из табл. I следует также, что ограниченная видимость более опасна на дорогах высших категорий. При оценке видимости может возник-

нуть положение, где водитель не может справиться с дорожной ситуацией.

Из приведенного явствует, что ограниченная видимость должна учитываться при проектировании режимов скоростей. Исходя из фактической видимости встречного автомобиля можно по известным формулам определить безопасную скорость.

Нами рекомендованы необходимые величины видимостей обгона одного или колонны автомобилей [2]. В новых нормах проектирования автомобильных дорог, которые, видимо, сформируют нашу дорожную сеть к концу столетия, следовало бы предусмотреть и нормы видимости для обгона и минимальную длину участков, где обгон возможен.

Местом концентрации аварий являются пересечения дорог на одном уровне и места с интенсивным пешеходным движением.

В зоне пересечения дорог возможен конфликт между пересекающимися (примыкающими) потоками. Вероятность этого конфликта тем больше, чем больше суммарная интенсивность в узле, а также при ограниченной видимости.

В зависимости от интенсивности движения от 200 ... 7000 автомобилей в сутки, средний интервал времени λ в часы пик между автомобилями составляет 5,14...180 с. Однако в ночное время этот интервал может быть значительно больше. Вероятность того, что в интервале T в зоне перекрестка появится автомобиль, может быть записана при распределении интервалов по закону Пуассона следующим образом:

$$p = 1 - e^{-\lambda \cdot T} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{k \cdot \lambda^k}{(T+k)(T+k)!}$$

Вероятность p вычислена для случаев $\lambda \in [5, 180]$ и $T \in [1, 10]$ на ЭВМ. При этом для получения необходимой точности и удобства расчетов формулу математически преобразовали. В табл. 2 приведены результаты расчета. Конфликтной ситуацией считается вероятность одновременного прибытия в зону перекрестка двух автомобилей.

Вероятности конфликтной ситуации, приведенные в таблице 2, можно классифицировать в три группы (границы групп нанесены пунктирной линией). Верхняя левая зона характер-

на интенсивными потоками в зоне перекрестка, где суммарная среднесуточная интенсивность движения ≥ 4000 автомобилей. Вероятность конфликтной ситуации в этом случае ≥ 600 раз в сутки. Нормы проектирования автомобильных дорог требуют при такой интенсивности проектирования пересечения на разных уровнях.

Т а б л и ц а 2

Вероятность одновременного прибытия автомобилей по пересекающимся дорогам в зону перекрестка при разных интенсивностях движения

Расчетная скорость, км/час и категория дороги	Среднесуточная интенсивность движения авт./сутки	Средний интервал между автомобилями	Вероятность конфликтной ситуации категории пересекающейся дороги			
			II	III	IV	V
			120, II	7000	5	0,8889
100, III	3000	12	0,4299	0,2079	0,0627	0,0078
80, IV	1000	36	0,1297	0,0627	0,0189	0,0024
60, V	200	175	0,0161	0,0078	0,0024	0,0003

Средняя зона также характерна повышенной вероятностью конфликта. В сутки может быть более 20 конфликтных ситуаций. Только левая зона в табл. 2 имеет относительно малую вероятность конфликтной ситуации (менее 3 ситуаций в сутки).

Используем в качестве критерия данные финского исследователя С. Хяккинена [3], по которому в среднем для всей сети дорог приходится 1 конфликтная ситуация на 120 км пробега (т.е. 1 на 2 часа проезда).

Из приведенного можем сделать вывод, что только для условий движения правой зоны по табл. 2 нет повышенного риска на перекрестке. Поэтому с точки зрения интенсивности движения особые ограничения не нужны.

Левая зона в табл. 2 по своей сложности соответствует условиям движения в городских условиях. Поэтому необходимо и ограничение скорости 50...60 км/час.

Условия движения, соответствующие средней зоне табл.2, имеют меньшую опасность, чем условия первой зоны, поэтому,

если нет других факторов, вызывающих увеличение риска, возможно применение ограничения скорости только на одну ступень.

Вследствие того, что информационная нагрузка водителей в зоне перекрестка велика, необходимо проведение следующих мероприятий на пересечениях дорог на одном уровне:

- пересечение должно быть хорошо обозримым и возможно более простым для водителя;

- пешеходы должны иметь возможность безопасного перехода дороги;

- ближайшие друг к другу пересечения на одной дороге должны быть по организации движения и плановым решениям как можно более схожими;

- в зоне перекрестка обязательно должны быть соблюдены требования норм видимости.

Т а б л и ц а 3

Необходимая видимость в зоне перекрестка

Скорость, км/час	I20	I10	I00	90	80	70	60	50
Зона запрета обгона, м	470	380	310	250	200	150	120	80
Дистанция, необходимая для приема и обработки информации, м	<u>105</u> 270	<u>100</u> 245	<u>90</u> 220	<u>80</u> 200	<u>70</u> 180	<u>60</u> 155	<u>55</u> 135	<u>45</u> 110
Путь торможения ^X , м	I70	I40	I20	95	75	60	40	30

^X Путь торможения определен при расчетной величине коэффициента сцепления, равной 0,4. Возможно применение и более высокого коэффициента сцепления, если позволяют дорожные условия.

В таблице 3, по результатам наших исследований, приведены рекомендации для определения необходимой видимости в зоне перекрестка. Эта видимость состоит из пути реагирования и торможения. До этой зоны видимости необходимо знаками или разметкой запретить обгон.

В табл. 3 длины пути реагирования приведены в виде дроби, где в числителе приведены данные для относительно простых условий (простые пересечения без пешеходного движения) и в знаменателе — для более сложных условий. Сложными считаются перекрестки с интенсивным движением (суммарная интенсивность более 1000 авт./сутки), с применением канализации, средств организации движения, с возможностью появления пешеходов. При сложных условиях водитель получает двукратную информацию по сравнению с простыми условиями.

К сожалению, наибольший процент жертв в дорожно-транспортных происшествиях выпадает на долю пешеходов. Пешеходному движению до сих пор уделено мало внимания.

Как показывают наши исследования, даже помимо зон населенных пунктов пешеходные переходы могут снабжать водителей значительными потоками информации. Разработанная в Таллинском политехническом институте модель [4] позволяет, на основании экспериментальных данных, определить объем информации от пешеходов. В табл. 3 учтена также информация от пешеходов. Ниже рассматривается случай пешеходного перехода вне зоны перекрестка.

Необходимая зона видимости пешеходного перехода, как и в случае перекрестка, состоит из путей реагирования и торможения. Обязательным является такое условие безопасности движения, где обгон был закончен до зоны реагирования и торможения.

Как показывают наши исследования, вне зоны населенных пунктов поселкового типа появление групп пешеходов на дорогах Эстонской ССР в составе более 3-4 человек маловероятно. При этом необходимо учитывать состав пешеходного потока. Наиболее неопределенными являются действия детей. Повышенную группу риска составляют и пожилые люди.

Исходя из средней способности обработки информации и расчетной величины коэффициента сцепления, составлена таблица 4, где приведены данные необходимой видимости в зоне пешеходного перехода. Дистанция приема и обработки информации определена для малых групп пешеходов. Информация от более интенсивного пешеходного движения рассмотрена в отдельной статье данного сборника.

Т а б л и ц а 4
Необходимая видимость в зоне пешеходного перехода

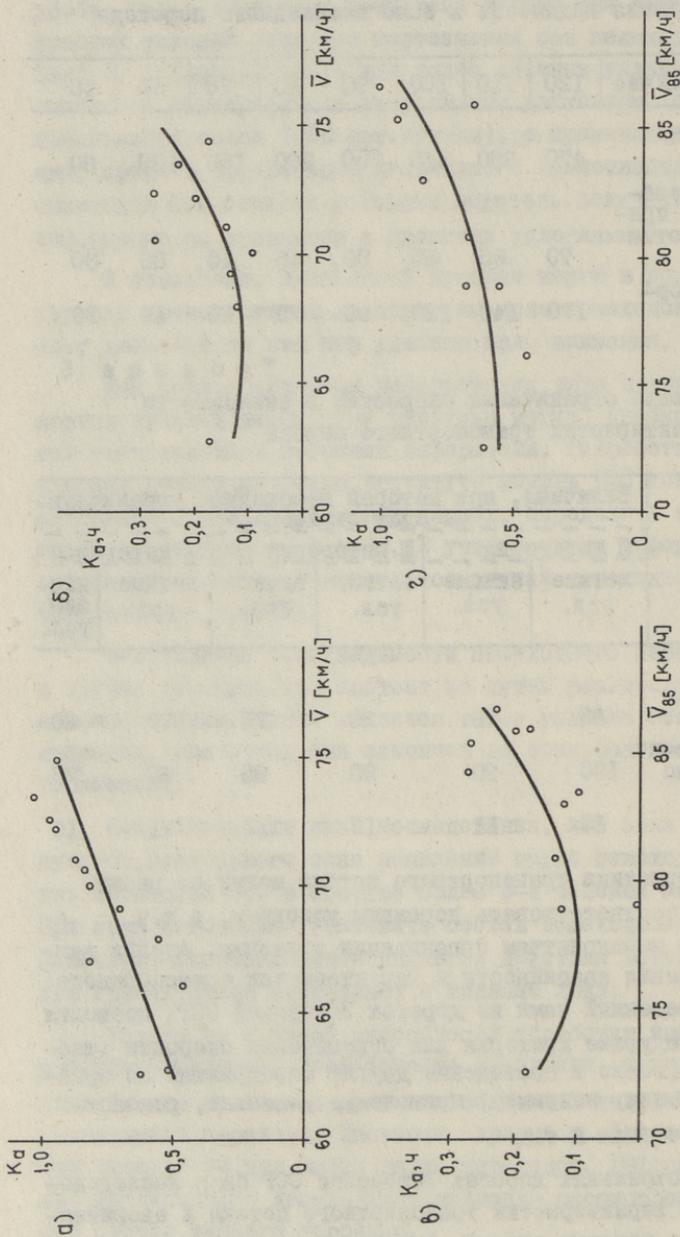
Скорость, км/час	I20	II0	I00	90	80	70	60	50
Зона запрета обгона	470	380	310	250	200	150	120	80
Дистанция, необходимая для приема и обработки информации	70	65	55	50	45	40	35	30
Дистанция торможения, м	170	140	120	95	75	60	40	30

Т а б л и ц а 5
Применение ограничения скоростей в зависимости от характеристик транспортного потока

Показатель	Величина, при которой необходимо ограничение на одну ступень					
	II категория		III категория		IV категория	
	летние усл.	зимние усл.	летние усл.	зимние усл.	летние усл.	зимние усл.
Средняя скорость потока, км/час	85	75	80	75	70	60
85 %-ная скорость, км/час	100	90	90	85	80	75
Стандартное отклонение	I3	II	I3	II	II	IO

Характеристики транспортного потока могут по разным причинам не соответствовать дорожным условиям, в т.ч. и существующим мероприятиям организации движения. Анализ данных исследования аварийности и характеристик транспортного потока, проведенный нами на дорогах Эстонской ССР, позволил выдвинуть следующие критерии для ограничения скорости (таблица 5). Возможно и проведение других мероприятий по организации движения, например, применение разметки, реконструкция пересечения и т.д.

На магистральных дорогах Эстонской ССР было исследовано изменение характеристик транспортного потока и аварийности в течение годовых циклов. Анализ сделан в зависимости



Фиг. 1. Зависимость коэффициента происшествий от характеристик транспортного потока:

а и г — зависимость общего коэффициента происшествий от средней и 85 % скорости.

б и в — зависимость коэффициента происшествий по человеческим жертвам от средней и 85 % скорости.

от изменения коэффициента происшествий (количество аварий на 10^6 км пробега).

Коэффициент происшествий имеет минимальные значения в весеннем периоде и в начале лета и затем повышается до конца года. Средние скорости потока движения также растут от апреля до августа-сентября. Затем средние скорости несколько падают, однако условия требуют большего снижения скоростей. Из вышесказанного явствует, что для весенне-летнего периода имеет место зависимость между скоростными показателями транспортного потока и аварийностью.

Обработкой данных методом наименьших квадратов [5] получены следующие зависимости между коэффициентами происшествий и характеристиками потоков движения:

$$K_{\text{д}} = -1,2484 + 0,0284 \bar{v} + 0,000004 \bar{v}^2 \quad (\sigma = 0,1499)$$

$$K_{\text{д,ч}} = -0,4532 + 0,008806 \bar{v} - 0,00000048 \bar{v}^2 \quad (\sigma = 0,061)$$

$$K_{\text{д}} = -14,3727 + 0,350585 \bar{v}_{85} - 0,002022 \bar{v}_{85}^2 \quad (\sigma = 0,1280)$$

$$K_{\text{д,ч}} = -12,44 + 0,307006 \bar{v}_{85} - 0,001865 \bar{v}_{85}^2 \quad (\sigma = 0,079)$$

$K_{\text{д}}$ - общие количества аварий на 10^6 км пробега без деления на учетные и неучетные;

$K_{\text{д,ч}}$ - то же с человеческими жертвами;

\bar{v} - средняя скорость потока движения (км/час);

\bar{v}_{85} - 85 %-ная скорость (км/час).

Графическое изображение приведено на фиг. 1 а, б, в и г. Из полученных зависимостей явствует, что, исходя из задачи снижения аварийности, можно назначать те или иные мероприятия организации движения. Например, проектируя режим скоростей так, чтобы средняя скорость снизилась на 10 км/час (\bar{v}_{85} на 7 км/час), можно уменьшить коэффициент происшествий в 2 раза. Это доказывает и то, что возможен подход с технико-экономической позиции (определение оптимума суммарных транспортных расходов) к вопросу проектирования мероприятий повышения безопасности движения.

В ы в о д ы

1. Существующий уровень безопасности движения не может нас удовлетворять. В настоящее время повышение безопасности движения может быть достигнуто уделением большего внимания деталям дорожной среды.

2. При переиздании норм проектирования автомобильных дорог необходимо предусмотреть и нормы видимости для обгона и минимальной длины участков от общей длины дороги, где этот маневр возможен.

3. Одним из эффективных путей снижения аварийности является усовершенствование методов проектирования организации движения на пересечениях на одном уровне. Соблюдение режимов скоростей, а также видимостей, согласно рекомендациям данной статьи, улучшает условия для всех участников движения.

4. Значительно больше внимания, чем до сих пор, необходимо уделять пешеходному движению. Пешеходов необходимо считать равноправными участниками движения. Необходимо внедрять на пешеходных переходах мероприятия организации движения согласно рекомендациям данной статьи.

5. Выявленная закономерность, которая связывает коэффициент происшествий с характеристиками транспортного потока, позволяет количественно прогнозировать влияние на значаемых мероприятий.

Л и т е р а т у р а

1. Hä r k ä n e n, K., Н у р с к у л ä, К. XIII kansainvälinen liikennetekniikan ja liikenneturvallisuuden opintoviiko Montreaux'ssa 11.-16. 9. 1978.- Tie ja liikenne, 1978, nr. 8.

2. С е г е р к р а н ц В.М. Об учете видимости обгона при проектировании автомобильных дорог.-Строительство и архитектура, 1978, № 4 (Изв. вузов).

3. K u l m a l a R., S a l u s j ä r v i M. Liikenteen turvallisuuden mittaaminen. - Tie ja liikenne, 1977, nr. 2.

4. Л е в и н М.И., С е г е р к р а н ц В.М. Информационный подход к изучению условий движения. - Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции по автомобильным дорогам и геодезии. Таллин, 1976.

5. L e v i n M., U l m S. Arvutusmeetodite käsiraamat. Tallinn, Valgus, 1977.

Perfecting Methods in Designing
Traffic Operations

Summary

The article deals with the results of experimental and theoretical study carried out at the Tallinn Polytechnic Institute and concerning road safety problems.

Road safety and service standards greatly depend on safe passing sight distance. On our roads, which were built by old standards at the beginning of the 60^{ies}, there are many sections, where it is impossible to overtake, using practical measuring and theoretical models of information theory.

The accident rate at uncontrolled intersections and footpaths was studied. By using mathematical methods, the probability of conflict risk is presented in Table 3. Table 4 presents the data about the necessary intersection sight distance.

The safety problems at intersections between pedestrian crossings and roads are also analysed. Table 5 gives the data about sight distances.

The traffic flow characteristics and accident rate (10^6 vehicle kilometres) were used for designing spot speed limits.

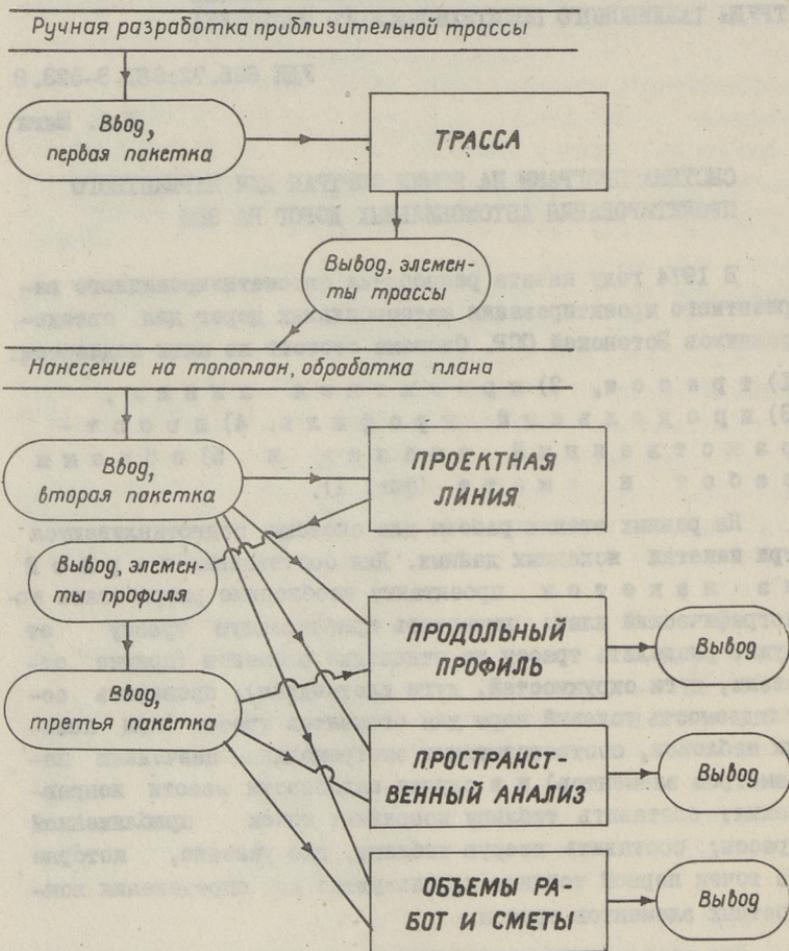
СИСТЕМА ПРОГРАММ НА ЯЗЫКЕ ФОРТРАН ДЛЯ ВАРИАНТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ЭВМ

В 1974 году начата разработка автоматизированного вариантного проектирования автомобильных дорог для автодорожников Эстонской ССР. Система состоит из пяти подсистем:

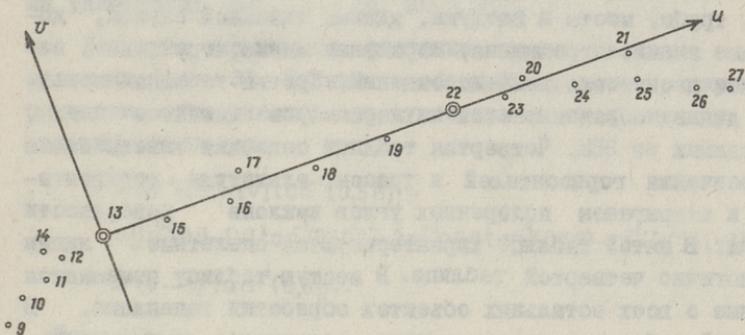
1) трасса, 2) проектная линия, 3) продольный профиль, 4) пространственный анализ и 5) объемы работ и смета (фиг. 1).

На разных этапах работы для системы подготавливаются три пакеты исходных данных. Для составления первой из пакетов проектанту необходимо разработать топографический план: вычертить приближенную трассу от руки; разделить трассу на отдельные элементы (прямые отрезки, дуги окружностей, дуги криволинейные); проверить соблюдение условий норм для элементов трассы (при помощи шаблонов, соответствующих экстремальным значениям параметров элементов) и в случае надобности ввести исправления; составить таблицу координат точек приближенной трассы; составить вторую таблицу, где указано, которые из точек первой таблицы используются для определения конкретных элементов трассы.

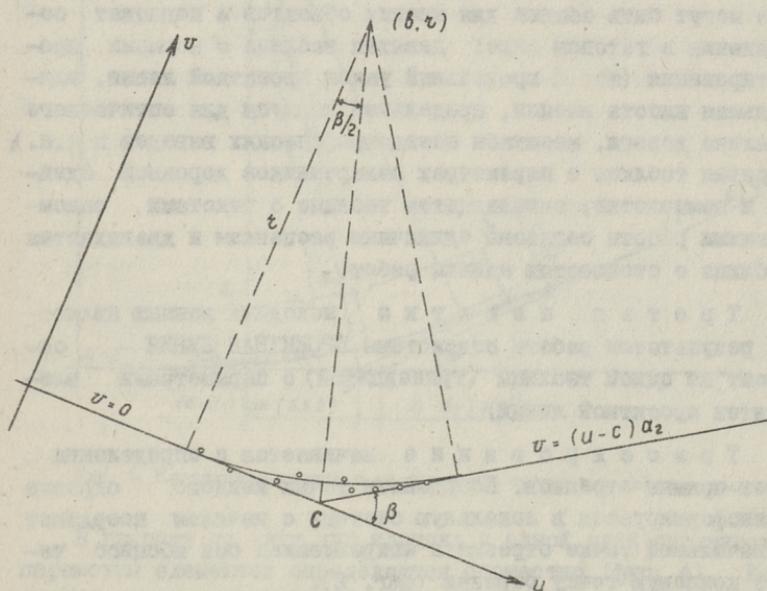
Для составления второй пакетки исходных данных необходимо иметь выходные данные подсистемы ТРАССА. В ходе продолжения обработки топоплана проектант вычерчивает: уточненную трассу с пикетажем, скелетные линии рельефа, полосу отчуждения земли, полосы уборки камней, рубки леса и кустарника, здания, возможные к удалению, линии связи и энергоснабжения, пересекающие дорогу, перегоны с одинаковыми предписанными высотами насыпи, толщинами растительного слоя и



Фиг. 1. Подсистемы и их связи.



Фиг. 2. Пример расположения точек в близости прямого отрезка (13 ... 2).
Координатная система - локальная.



Фиг. 3. Дуга окружности и её соседние прямые.

торфа, категориями грунта выемок, типами поперечников земполотна и дорожной одежды, резервы и кавальеры грунта, дрена и канавы (боковые, горные, отводящие), пересечения и разветвления с другими дорогами на одном и разных уровнях, трубы, мосты и виадуки, здания линейной службы, дорожные знаки, ограждения, маркерные линии, групповые, аллейные и снегозащитные насаждения. Третья таблица исходных данных образовывается из параметров элементов плана, выводимых из ЭВМ. Четвертая таблица содержит пикеты точек пересечения горизонталей и трассы, альтитуды горизонталей и котангенсы поперечных углов наклона поверхности земли. В пятой таблице характеризуются скелетные линии аналогично четвертой таблице. В шестую таблицу помещаются данные о всех остальных объектах обработки топоплана. В седьмой таблице помещены данные, касающиеся километража объекта, а также сметных коэффициентов. В восьмой таблице задают тексты названия объекта, строительной организации, проектной организации и т.д.

Дополнительно во вторую пакетку входят данные, которые могут быть общими для многих объектов и подлежат сохранению в готовом виде: девятая таблица с нормами проектирования (шаг и продольный уклон проектной линии, наибольшая высота насыпи, предельные радиусы для оптического анализа дороги, масштаб псевдографических выводов и т.п.); десятая таблица о параметрах поперечников дорожной одежды и земполотна; одиннадцатая таблица с текстами, описывающими работы согласно единичным расценкам и двенадцатая таблица о стоимостях единиц работ.

Третья пакетка исходных данных является результатом работы подсистемы ПРОЕКТНАЯ ЛИНИЯ — состоит из одной таблицы (тринадцатой) с параметрами элементов проектной линии.

Трассирование начинается с определения всех прямых отрезков. Координаты точек каждого отрезка трансформируются в локальную систему с началом координат в начальной точке отрезка и направлением оси абсцисс через концевую точку отрезка (фиг. 2).

Совокупность точек прямой (фиг. 2 — I3...22) приближается прямой линией

$$v = a_0 + a_1 u$$

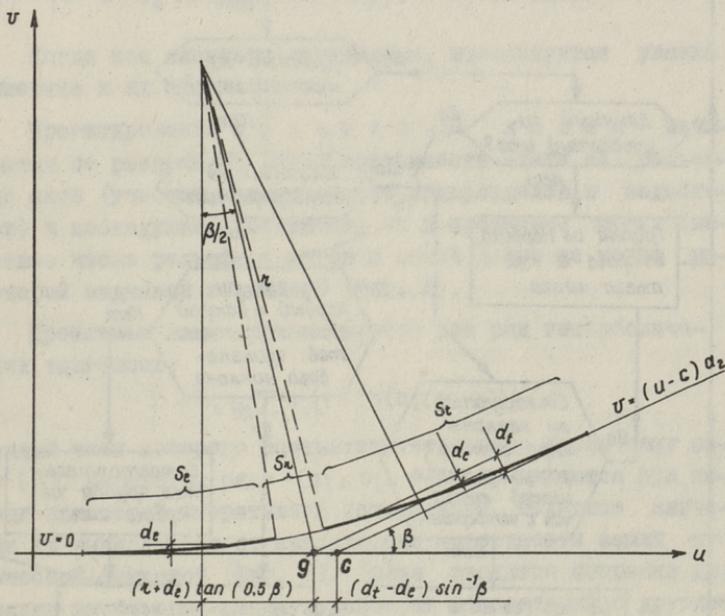
по методу наименьших квадратов. Направление короткого отрезка определяется более точно, если часть точек выбрать на удлинениях (фиг. 2 - I4, 20 и 2I).

Для дуги окружности соседние прямые являются касательными (фиг. 3). Единный свободный параметр, радиус окружности, определяется совокупностью точек по методу наименьших квадратов:

$$b = m^{-1}([u] - [v] \tan^{-1}(0,5\beta)) -$$

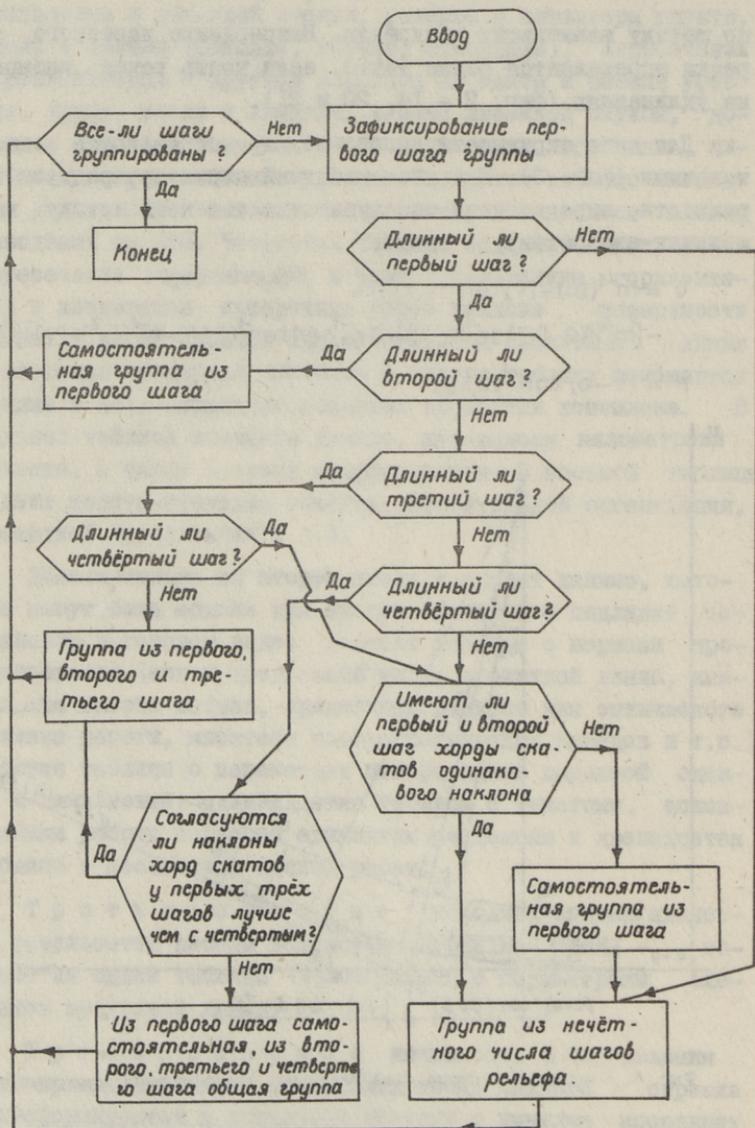
$$- [m^2([u] - [v] \tan^{-1}(0,5\beta))^2 + 2m^{-1}c[v] \tan^{-1}(0,5\beta) - m^{-1}([u^2] + [v])]^{0,5},$$

$$r = (b - c) \tan^{-1}(0,5\beta).$$



Фиг. 4. Клотоидная группа с её главными точками и параметрами.

В группах из двух дуг клотоид и одной дуги окружности параметры элементов определяются совместно (фиг. 4). Исходный наименьший радиус группы вычисляется приближенно, с учетом заданных длин трех элементов группы:



Фиг. 5. Блок-схема группирования шагов рельефа.

$$r^{(0)} = (0,5s_e + s_r + 0,5s_t) \beta^{-1}.$$

Далее дуга окружности определяется приближением по заданным точкам, а дуги ключонд плавно вписываются в стыки между соседними прямыми и окружностями. Ввиду некоторой противоречивости наложенных условий задача решается со следующей итерацией:

$$\begin{cases} d_e^{(i)} = r^{(i-1)}(1 - \cos \beta_e + 0,476190 \beta_e^4 - 0,666667 \beta_e^2), \\ d_t^{(i)} = r^{(i-1)}(1 - \cos \beta_t + 0,476190 \beta_t^4 - 0,666667 \beta_t^2), \\ b^{(i)} = m^{-1}([u] - [v - d_e^{(i)}] \tan^{-1}(0,5\beta)) - \\ \quad - [m^{-2}([u] - [v - d_e^{(i)}] \tan^{-1}(0,5\beta))^2 - m^{-1}([u]^2) + [(v - d_e^{(i)})^2] - 2[v - d_e^{(i)}]g \tan^{-1}(0,5\beta)]^{0,5}, \\ r^{(i)} = [b^{(i)} - c + d_e^{(i)} \tan(0,5\beta) + (d_t^{(i)} - d_e^{(i)}) \sin^{-1} \beta] \tan^{-1}(0,5\beta). \end{cases}$$

Когда все элементы определены, производится увязка пикетажа в их стыках.

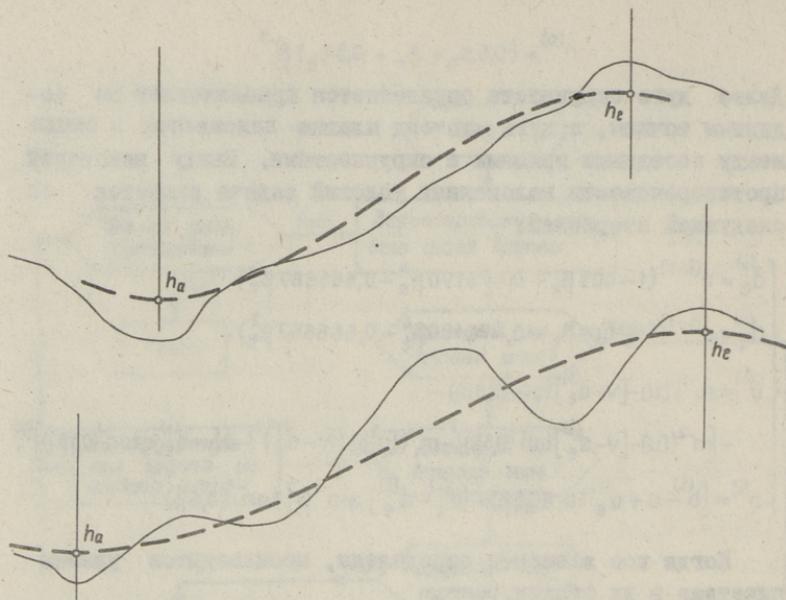
Проектирование проектной линии начинается от разделения линии поверхности земли на рельефные шаги (участки между точками водоразделов и водосток) и последующее соединение их в проектные шаги (нечетное число рельефных шагов в общей длине не менее некоторой заданной величины) (фиг. 5).

Проектная линия проектируется как ряд гиперболических тангенсов:

$$h = h_0 + \sum_{i=1}^n a_i [1 + th(b_i(s - c_i))],$$

каждый член которого соответствует одному проектному шагу [3]. Параметры ряда (a_i , b_i , c_i) определяются при помощи некоторой итеративной оптимизации. Исходные значения их вычисляются от приближения поверхности земли кубической функцией (фиг. 6). Далее вводятся поправки для увязки высот одно- и двухуровневых пересечений с другими дорогами; затем на тех шагах, где проектная линия обертывающая (и нет поправок от пересечений), параметры b_i и c_i оптимизируются по высотам поверхности земли.

Продольный профиль выводится псевдографическим способом на строчном принтере ввиду отсутствия у ЭМ Минск-32 графического вывода.



Фиг. 6. Приближение линии поверхности земли обертывающей или секущей кубической функцией. Высота нижнего экстремума обычно задается, высота верхнего экстремума определяется методом наименьших квадратов.

Пространственный анализ состоит из двух этапов: 1) выделение участков, где обеспечена зрительная плавность и ясность; 2) вычерчивание перспективных изображений для остальных участков для их последующей экспертной оценки.

Первый этап основывается на теории П.Я. Дзениса [1]: используется его номограмма радиусов оптически плавных и ясных участков дорог. При этом радиус кривизны клотоиды определяется формулой

$$\rho = RL\xi^{-1}$$

и радиус ряда гиперболических тангенсов по формуле

$$\rho = 0,5 \left[1 + \left(\sum_{i=J-1}^{J+1} a_i b_i (1 - \tau_i(s)) \right)^2 \right]^{1,5} \left[\sum_{i=J-1}^{J+1} a_i b_i \tau_i(s) (\tau_i^2(s) - 1) \right]^{-1}$$

где R и L — наименьший радиус и длина клотоидной дуги;
 ξ — расстояние от прямой по дуге клотоиды до места определения ρ ;
 s — абсцисса проектной линии $\tau_i(s) = \text{th}(b_i(s - c_i))$;
 J — порядковый номер шага проектной линии, на которой определяется ρ .

Метод вычисления координат перспективных изображений взаимствован из ранее опубликованной работы [2]. Перспективные изображения выводятся псевдографическим способом на строчном принтере по блок-схеме на фиг. 7.

Вычисление объемов работ основывается на топокарте и инженерной обработке последнего при составлении второй пакетки исходных данных. ЭВМ вычисляет, в первую очередь, объемы земляных работ. На основе рабочей высоты h вычисляют площадь

$$F = a_0 + a_1 h + a_2 h^2 + a_3 h^3$$

и ширину подошвы поперечника

$$B = b_0 + b_1 h + b_2 h^2.$$

Дополнительно вводятся поправки площади поперечника за поперечный наклон поверхности земли

$$\Delta F_1 = 0,25 B^2 (b_1 + 2b_2 |h|) \cot^2 \gamma_p$$

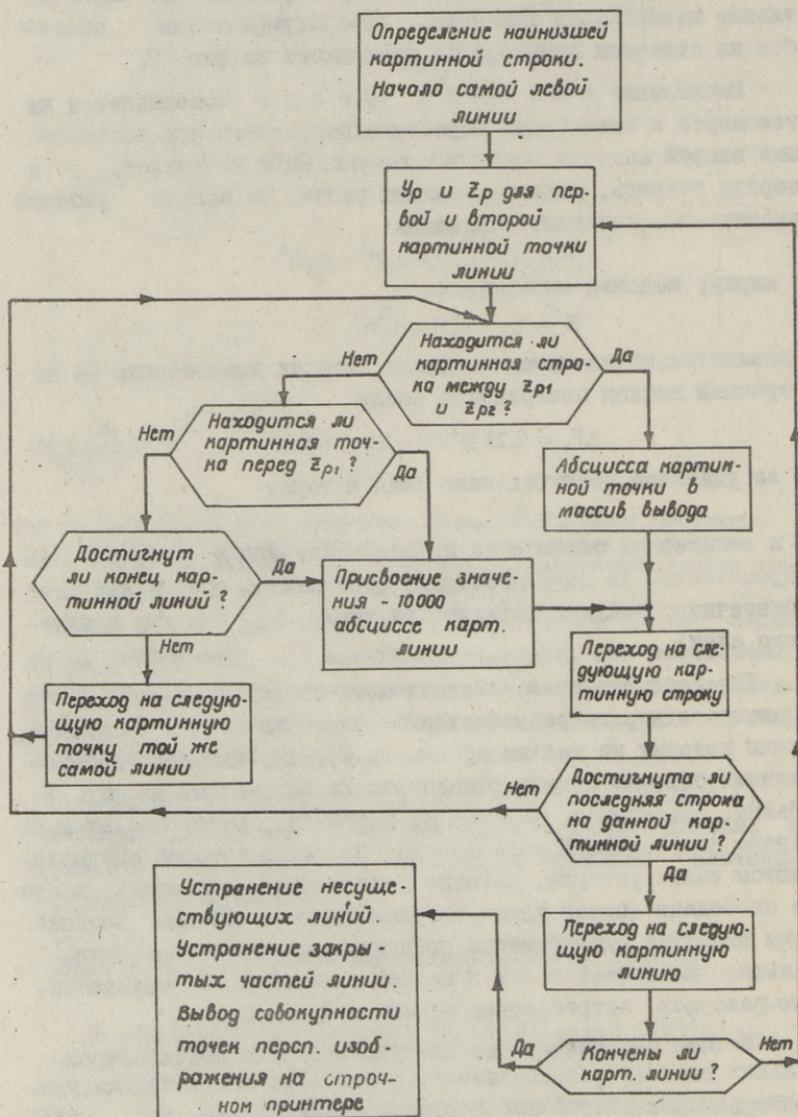
и за удаление растительного слоя и торфа

$$\Delta F_2 = B \delta_m,$$

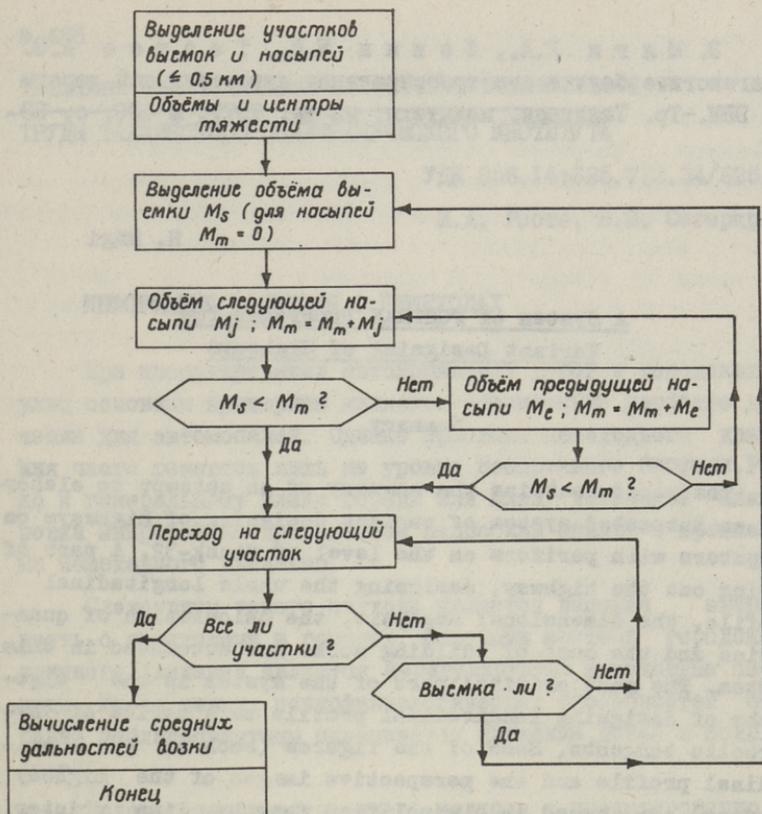
а к поикетным объемам за полосы ускорения и съездов на пересечениях (в двух последних формулах γ_p обозначает угол поперечного наклона поверхности земли, δ_m - толщину удаляемого слоя).

Для распределения земляных масс по видам разработки и транспорта дорога разделяется по участкам выемок и насыпей, длины которых не должны превышать 0,5 км. Принцип распределения объемов выемок выявляется из блок-схемы на фиг. 8. Объемы, намечаемые вывезти из резервов, распределяются на основе возрастающей последовательности, в которой предпочитают такие резервы, которые дают меньшую дальность возки на свободные (после удовлетворения выемок) объемы насыпей. Этим вводятся одновременно принципы предпочтительности меньших дальностей возки и полной вывозки малых придорожных резервов (затребование охраны природы).

Система определяет еще следующие объемы дорожно-строительных работ: уборка камней, рубка леса и кустарника, удаление зданий, устройство дорожной одежды, длины труб, площади горизонтальной проекции мостов и площади опор, поперечные продольной оси моста. Все остальные объемы работ задаются проектантом. Система осмечивает заданные и вычисленные объемы дорожно-строительных работ.



Фиг. 7. Блок-схема вывода перспективного изображения автодороги на строчном принтере.



Фиг. 8. Блок-схема распределения объемов выемок между ближайшими насыпями.

Оптимизацию проектных решений предусмотрено произвести методом сравнения вариантов, для уменьшения трудоемкости проектирования которых система и создана.

Л и т е р а т у р а

1. Д з е н и с П.Я. Проектирование пространственных кривых на автомобильных дорогах с учетом зрительной плавности и ясности. Автореферат канд. дис. Рига, 1976, с. 24-27.

2. М я г и Х.А. Программа ЭЕМ для вычисления координат перспективного изображения автодороги. -Тр. Таллинск. политехн. ин-та, 1976, № 385, с. 13-22.

З. Мяги Х.А., Левин М.И., Теэтсо А.О.
Тангенсгиперболическое трассирование автомобильной дороги
на ЭВМ. -Тр. Таллинск. политехн. ин-та, 1977, № 430, с. 33-
37.

H. Mägi

A System of FORTRAN Programs for
Variant Designing of Highways

Summary

The paper contains the summary of an attempt to elaborate an automated system of variant designing of highways on computers with perifers on the level of Minsk-32. A part of laying out the highway, designing the whole longitudinal profile, the dimensional analysis, the calculation of quantities and the cost of building works are automated in this system. The most original part of the system is the algorithm of designing longitudinal profile as a series of hyperbolic tangents. Some of the figures (such as the longitudinal profile and the perspective images of the highway surface) are issued in a simplified form by line printer. The system is envisaged for motivating the building or reconstruction of highways and for preliminary designing.

ИНФОРМАЦИЯ ВОДИТЕЛЯ О ПЕШЕХОДАХ

При проектировании автомобильных дорог и городских улиц основным критерием является обеспечение удобства движения для автомобилей. Однако проблемы пешеходного движения часто решаются лишь на уровне поперечного профиля. Редко к генеральному плану города или плану детальной планировки микрорайона прилагается подробный анализ с прогнозами пешеходного движения.

Следствием такого подхода является высокая аварийность с пешеходами в городах. Опасными местами городского уличного движения являются нерегулируемые пешеходные переходы. Из-за низких психофизиологических способностей особенно неблагоприятным оказывается движение детей и пожилых людей.

Вследствие одностороннего подхода к проектированию организации движения пешеходы составляют в ЭССР ~40 % из погибших и ~30 % из раненных в ДТП, а на отдельных магистралях 2/3 из количества всех жертв, до настоящего времени не уменьшился и травматизм детей.

В городах пешеходное движение занимает важное место. Проведенные нами исследования подвижности населения в городе Тарту показали, что семьи, живущие в центральных районах города совершают 84 % нужных передвижений пешком. Для периферийных районов этот показатель составляет 63 %. Во многих Западно-Европейских и Скандинавских странах широко развито велосипедное движение. При наличии соответствующих дорожек этот вид легкового транспорта был бы перспективным и в нашей республике.

Одним из методов, позволяющим учитывать пешеходов при проектировании организации движения, является информационный подход.

В Таллинском политехническом институте разработан метод [I], при помощи которого можно определить потоки информации от пешеходов на нерегулируемом переходе. Метод основывается на изменении неопределенности ситуации в зависимости от времени $H_i(t)$. За промежуток Δt водителю поступает информация ΔH , вычисляемая по следующей формуле

$$\Delta H = - \sum_{i=1}^k [H_i(t + \Delta t) - H_i(t)], \quad (I)$$

где k - количество источников информации.

Зная вероятность появления какого-то источника P_{kj} , можно определить объем информации по известной формуле:

$$J = -\log_2 P_{kj}. \quad (II)$$

Вероятности P_{kj} можно вычислить из экспериментальных данных. При определении объема информации от пешеходов необходимо проводить наблюдения на переходах.

По данным шведских исследователей, риск детей попасть в аварию двухкратный по сравнению с остальным населением [2]. Разработанный нами метод позволяет классифицировать пешеходов согласно потенциалу риска: дети до 12-14 лет, пожилые старше 65-70 лет и остальные пешеходы. Пусть вероятность появления на переходе детей и пожилых людей p_1 , остальных пешеходов $1-p_1$. Так как водители, приближаясь к переходу, не определяют действия пешеходов точно, а с некоторым обобщением, целесообразно при группировке пешеходов, одновременно переходящих улицу, применять двоичную основу и в основной формуле - двухальтернативный анализ.

Вероятность появления какой-либо группы из k человек и определенного состава (i детей и пожилых, $k-i$ остальные пешеходы) определяется следующей формулой [I]:

$$P_{kj} = \frac{k!}{i!(k-i)!} p_1^i (1-p_1)^{k-i} p_k. \quad (3)$$

Наблюдения за режимом движения пешеходов проведены на нерегулируемых переходах городов Тарту и Таллина. Наблюдения проводились в обычные часы и в часы пик. На переходе и вокруг него в радиусе до 0,5 метров через определенные интервалы времени было подсчитано количество пешеходов. Интервал учета определялся временем перехода улицы

или полосы одностороннего движения, учитывая время ожидания. В проведенных исследованиях это время составляло около 15 секунд. Вместе с числом пешеходов определялось также число детей и пожилых людей.

При камеральной обработке данных вычислена почасовая интенсивность пешеходных потоков, вероятность появления детей и пожилых пешеходов (p_d) и остальных пешеходов ($1-p_d$). Находящиеся на переходе пешеходы сгруппированы по числу следующим образом: $k = 0, 1 - 2, 3 - 4, 5 - 8, 9 - 16; > 16$. Найдены вероятности этих групп (p_k). Учитывая естественный состав пешеходных групп, по формулам 2 и 3 вычислена информационная емкость каждой группы.

В таблице I приводятся максимальные и минимальные значения информационной емкости, в пределах которой изменяется информативность пешеходных групп данного состава.

Информативность какой-нибудь группы зависит, главным образом, от состава, а не от размера группы. Так, наименьшие значения соответствуют группам, состоящим только из взрослых. Максимальная информационная емкость обусловлена большим количеством детей и пожилых людей в группе. Самая высокая информативность наблюдалась у большинства переходов при маленьких и средних группах, так как некоторые группы были образованы только из детей и пожилых людей.

Увеличение группы за счет взрослых не оказывает особого влияния на ее информативность. При маленьких группах один взрослый человек дает дополнительную информацию 0,3-0,2 бита, при средних группах - 0,1-0,2 бита. Один ребенок или пожилой человек дает дополнительно при малых группах 1-2 бита, при больших - 0,2-0,1 бита.

Выявлена зависимость между наибольшими значениями информативности и интенсивностью пешеходного движения (фиг.1). Зависимость выражена следующей формулой:

$$J_{\max} = 8,15 + 0,311N - 0,0089N^2, \quad (4)$$

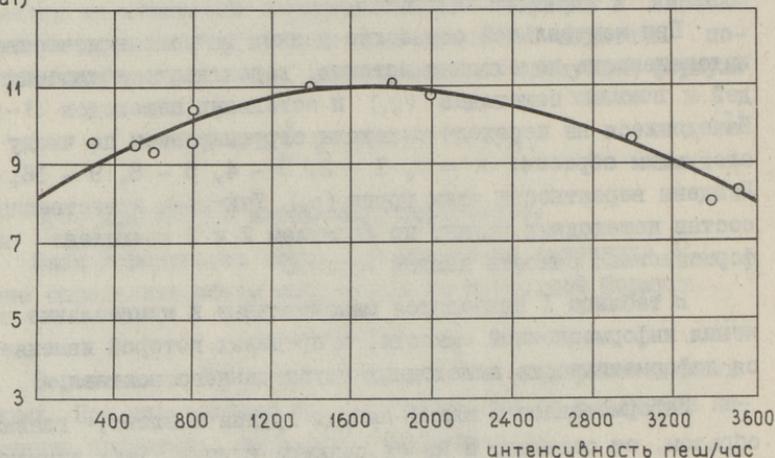
где N - интенсивность 100 пеш./час, $0,01 \leq N \leq 35$.

Отношение корреляции $\eta = 0,94$.

Наибольшие J_{\max} наблюдались при средних интенсивностях пешеходов (1000-2500 чел./час). При малой и боль-

шой нагрузках перехода уменьшается внезапность появления пешеходов редких и сложных комбинаций групп, распределение групп по числу пешеходов и по составу более однородное.

J (бит)



Фиг. 1. Зависимость наибольших информационных потоков на переходе от интенсивности пешеходного движения.

Группы с максимальным содержанием информации появлялись на переходе редко, их вероятность при наблюдении была меньше одного процента. Поэтому найдены значения информационной емкости, которые превышаются лишь в пяти процентах случаев (J_{95}). Как видно из табл. I, J_{95} намного меньше максимальных значений. Так, большинство пешеходных групп имеют близкую к минимальным значениям информативность.

Информация — это объективное качество материальных процессов. Вычисленные нами инфопотоки от пешеходов представляют собой только потенциальную возможность получить нужную и достаточную информацию для безопасного проезда переходных зон улиц. Но восприятие и обработка этой необходимой информации зависят от тезауруса инфополучателя, а также от условий канала передачи. В связи с тем, что до 90 % всей информации, необходимой для выбора оптимального режима движения, водитель получает через зрительные каналы восприятия, необеспеченная видимость создает у большинства водителей неуверенность в действиях и вызывает снижение скорости. Те же водители, которые свое-

временно не реагируют на недостаточную видимость и не снижают соответственно скорость, создают потенциально опасную обстановку, часто приводящую к ДТП [3].

Необходимую длину видимости на пешеходном переходе можно определить формулой пути торможения [4, с. 277], пользуясь условием полного восприятия и полной обработки водителем информации от пешеходных групп. Только на базе вычисленной нами достаточной информации водитель может сделать правильные выводы и принимать правильные решения для дальнейших действий. Исходя из этого условия можно определить время реакции водителя по следующей формуле:

$$t = \frac{J}{\mu}, \quad (5)$$

где t – время реакции водителя в с;

J – необходимое количество информации, бит;

μ – скорость обработки информации, бит/с.

Скорость обработки информации психологи при моторном действии советуют принимать равной 3 бит/с.

До сих пор время реакции принималось равным 1–1,5 с. Это значение устраивает только в простейших случаях ($J < 3$ бит) и переоценивает возможности водителей в сложных ситуациях, оставляя его с недостаточной информацией. Вопрос безопасности движения – это вопрос решения предельных ситуаций. Так как группы пешеходов с наибольшими инфотоками встречаются очень редко, целесообразно при определении расчетного времени реакции руководствоваться максимальным значением $J_{95} = 7,5$ бит. В этом случае получаем $t = 2,5$ с. В таблице 2 приведены расчетные длины видимости для горизонтальных участков улиц при расчетном коэффициенте сцепления $\varphi = 0,4$.

В ы в о д ы

1. Для уменьшения аварийности в городах необходимо считать пешеходов и велосипедистов равноправными участниками движения. Необходимо в проекты организации движения ввести соответствующий раздел.

2. Информационная емкость водителя от пешеходов зависит, в первую очередь, от состава группы, а затем от количества пешеходов в группе. В статье приведена соответствующая зависимость.

Таблица I

Информативность пешеходных групп (бит)

№ п/п	J _{макс}										Интенсивность пеш/час	p ₁	
	количество пешеходов в группе												
	0	1-2	3-4	5-8	9-16	16	1-1	3-4	5-8	9-16	16		
1.	1,9	3,5	9,4*	6,2	7,8	-	1,5	2,9	4,2	-	-	500	0,13
2.	2,6	9,3*	4,0	7,0	6,5	-	1,6	2,2	3,3	5,8	-	600	0,07
3.	1,5	5,6	5,4	9,5*	-	-	1,6	3,8	7,1	-	-	300	0,25
4.	2,5	4,5	9,5*	7,7	7,7	-	2,1	2,3	3,9	5,9	-	800	0,16
5.	3,6	-	7,5	9,6*	6,6	6,5	-	-	3,9	3,0	3,0	3000	0,12
6.	-	-	-	7,8	8,0*	6,9	-	-	-	3,7	2,3	3500	0,09
7.	-	-	7,6	10,6*	7,2	9,5	-	-	3,1	1,8	6,6	2000	0,11
8.	3,7	7,2	10,3*	3,9	7,4	-	1,7	2,3	3,3	6,5	-	800	0,14
9.	5,9	6,3	9,5*	4,9	-	-	1,5	2,9	4,6	-	-	500	0,17
10.	2,4	8,1	11,0*	9,5	7,1	-	4,1	3,3	2,1	4,9	-	1400	0,22
11.	-	7,6	10,1	11,1*	10,7	-	5,7	3,3	1,9	3,0	-	1800	0,12
Средн.	3,0	6,5	8,4	8,0	7,7	7,6	2,5	2,9	3,7	4,2	4,0		6,2

* максимальные значения J_{макс} на данном переходе.

3. В качестве расчетной величины информационной емкости ситуации рекомендуется принимать поток с 95 %-ной обеспеченностью.

4. Используемые теоретические разработки и экспериментальные данные рекомендуются для проектирования режимов движения на пешеходных переходах.

Т а б л и ц а 2

Расчетные длины видимости (м) на нерегулируемом пешеходном переходе ($i = 0$, $\varphi = 0,4$)

	Время реакции, с	Информация, бит	Скорость потока км/час			
			60	50	40	30
1. Легковые автомобили $k = 1,2$ $l_0 = 5$ м	1	3	64	48	35	24
	2,5	7,5	89	69	52	36
2. Грузовые автомобили и автобусы $k = 2,0$ $l_0 = 10$ м	1	3	98	73	53	36
	2,5	7,5	122	94	69	48

Л и т е р а т у р а

1. Левин М.И., Сегеркранц В.М. Информационный подход к изучению условий движения. — Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции по автомобильным дорогам и геодезии. Таллин, ТПИ, 1976.

2. Människan i trafiken, en handbok i trefiksäkerhet. Stockholm, 1967.

3. Клиновштейн Г.И. Организация дорожного движения. М., Транспорт, 1975.

4. Справочник инженера-дорожника. Исследования и проектирование автомобильных дорог. М., Транспорт, 1969.

5. Инженерная психология в применении к проектированию оборудования (пер. с англ.). М., Машиностроение, 1971.

6. P e r a n i o A. An expanded cybernetic model for analyzing driver behavior. Symposium on psychological aspects of driver behavior. Noordwijkerhout, 1971.

I. Roste, V. Segerkrantz

Die Information des Fahrers über den Fussgänger

Zusammenfassung

Dieser Artikel befasst sich mit den Problemen der Methodik der praktischen Nutzung des Informationsmodells. Dieses Modell ermöglicht bei der Organisierung des Strassenverkehrs, die die Fahrbahn überquerenden Fussgängerströme zu betrachten. Es ist möglich, nach den ausgearbeiteten Formel die Informationsmengen für jede Situation auf den ungeschützten Überwegen zu berechnen. Die Rechnungsangaben sollen durch Beobachtungen gesammelt werden. Die Informationsmenge einer Fussgängergruppe auf der Fahrbahn hängt vor allem von der Zahl der Kinder und älteren Menschen, und erst dann von der Grösse der Gruppe ab.

Die Reaktionszeit des Fahrers wird festgelegt, indem man von der notwendigen Information für sichere Fahrt ausgeht, und die Geschwindigkeit der Informationsbearbeitung in Betracht zieht.

Wie die Berechnungsergebnisse zeigten, ist der bisher genutzte Wert der Reaktionszeit (1...1,5 s) für die Mehrheit der Situationen unzureichend - sie gilt nur für die einfachsten Fälle. Die Reaktionszeit darf nicht kleiner als 2,5 s sein. Von diesen Werten angehend, wird nach der Formel des Bremsweges die freie Sichtweite für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten ausgerechnet.

Die Resultate dieser Arbeit ermöglichen die wissenschaftlich begründete Projektierung des Verkehrsregimes auf den Strassen.

Т.Х. Метсвахи, И.О. Пихлак

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ ТРАНСПОРТНЫХ
МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ГОРОДОВ

В связи с непрерывным развитием городов условия движения необходимо привести в соответствие с новыми требованиями. Таким образом, организация городского движения требует постоянного управления и усовершенствования. До сих пор эти проблемы решаются интуитивно или же исходят из довольно общих и неточных расчетов, которые не позволяют учесть все стороны такой многогранной проблемы.

В настоящее время возникла серьезная потребность в создании систем автоматизированного управления и планирования городского движения. Авторы данной статьи совместно с группой градостроительства Института кибернетики АН ЭССР разработали транспортную модель, которая является первым шагом в создании АСУ городского движения г. Таллина.

Транспортная модель состоит из двух самостоятельных моделей – первая из них создана для центральной части города, а вторая – для всего города. Эти модели позволяют решить следующие оперативные и перспективные задачи:

- проверить влияние отдельных мер по реорганизации движения на движение во всем городе;
- создать оптимальные графики закрытия улиц при проведении ремонтно-строительных работ;
- прогнозировать оптимальные маршруты объездов при закрытии улиц и сравнивать отдельные варианты объездов между собой;
- прогнозировать интенсивность движения на новых улицах;
- проектировать системы организации движения на улучшенной уличной сети и перспективные потоки движения;

— обосновывать выбор дорожно-строительных объектов при создании годовых, пятилетних и перспективных планов, а также устанавливать очередность строительства.

Некоторые из названных перспективных проблем можно решить с помощью моделей, разработанных в ЦНИИ Градостроительства и НИИПИ Генплана г. Москвы [1, 2, 3]. Однако данная модель отличается от названных и других "традиционных" моделей тем, что благодаря учету мер по организации движения (дорожные знаки, цикл светофоров) можно решать также оперативные задачи, которые возникают при ежедневном управлении городским движением.

Модель состоит из пакета исходной информации и программ. В данной статье приводится краткое содержание пакета программ. Он включает:

- программу для составления графика уличной сети;
- программу для расчета времени проезда участка улицы или перекрестка;
- программу для прогнозирования кратчайших маршрутов;
- программу для расчета интенсивности движения на уличной сети;
- программу для расчета интенсивности движения на перекрестках, при этом получаем отдельно данные для каждого маневра (прямо, направо, налево и назад);
- программу для расчета суммарной интенсивности движения в приведенных единицах.

В дальнейшем отдельные элементы пакета исходной информации, а также научно-технические исследования и методики расчета для получения этих элементов рассматриваются подробнее.

В зависимости от характера решаемой задачи в исходной информации необходимо представить теоретический граф или граф, который имитирует реальную уличную сеть. Участки улиц между перекрестками представляют собой дуги графа, а перекрестки — узлы графа. Указываются данные о длине каждой дуги графа в метрах. Узлы графа пронумерованы. Максимальное число узлов ограничено объемом памяти ЭВМ Минск-32.

При составлении графа надо исходить из условия:

$$30n_5 + 20n_4 + 12n_3 + 6n_2 + 2n_1 \leq 3066,$$

где n_i — количество узлов с i -ветвями.

Коэффициенты в формуле обозначают количество элементарных маневров движения в соответствующем узле.

Основной граф центральной части города состоит из 132 узлов, а сумма элементарных маневров составляет 1770. При решении конкретных задач можно значительно увеличить количество узлов. Граф всего города состоит из 187 узлов и 1928 элементарных маневров.

Для каждого узла графа уличной сети составляется схема перекрестка. На этой схеме указывается расположение дорожных знаков с нумерацией их по правилам движения и маркировка дорожного покрытия. В модели учтено фактическое количество полос для каждого маневра.

На перекрестках и пешеходных переходах, где используются светофоры, дана продолжительность рабочих тактов в секундах. Указано расположение дополнительных секций светофоров. Пешеходные переходы описаны в графе двухцветными узлами.

Вся территория города распределена на транспортные районы. Условно принято, что все выходящее или прибывающее в районе движение начинается или заканчивается в одном узле района. Такие узлы называются центральными узлами района. Центральный узел располагается не в геометрическом центре района, а в "центре тяжести" района.

Пакет исходной информации содержит матрицы транспортных потоков. Составление матриц является довольно сложной задачей, так как модель составлена для вечерних часов пик, и поэтому распределение потоков грузовых автомобилей не полностью совпадает с годовыми грузовыми потоками. При составлении матриц транспортных потоков использован синтетический метод, частично экспериментальный и частично теоретический.

Лучшие результаты дали бы натурные исследования - учет и опрос в кордонных пунктах. Этот метод использовался при составлении модели для центральной части города. С внешним контуром центральной части пересекаются десять магистральных улиц. Эти точки пересечения служили кордонными пунктами. Кроме учета интенсивности движения в течение трех вечерних часов (с 15 до 18 часов) одновременно проводился выборочный опрос водителей "откуда-куда".

По полученным данным были составлены три матрицы транспортных потоков:

- матрица движения легковых автомобилей;
- матрица движения легких грузовых автомобилей и ведомственных автобусов;
- матрица движения средних и тяжелых грузовых автомобилей.

Грузовые автомобили были распределены на две матрицы, так как легкие грузовые автомобили и ведомственные автобусы могут пользоваться маршрутами, которые для средних и тяжелых грузовых автомобилей запрещены (особенно в центральной части города).

Центральная часть была разделена на 18 транспортных районов. Помимо транспортных районов в матрице учитывались въезды в центральную часть, т.е. кордонные пункты. Таким образом матрица центральной части города имеет размерность 28×28 и может быть представлена следующей схемой.

	Кордонные пункты I - 10	Транспортные районы II - 28
I - 10	A	B
II - 28	B	Г

Матрицу можно разделить на четыре части. Данные опроса водителей позволили заполнить три части матрицы (A, B и B). Данные о внутренних корреспонденциях центральной части (Г) были определены в результате проведения двух исследований. Путем опроса водителей на больших стоянках приблизительно определялся размер культурно-бытовых корреспонденций внутри центральной части. Трудовые поездки на легковых автомобилях внутри центральной части были определены путем анкетного опроса в 1977 г. [4].

Распределение транспортных потоков внутри центральной части между транспортными районами (часть Г матрицы) было рассчитано, исходя из следующих предпосылок:

- потоки движения внутри центральной части x_{ij} пропорционально зависят от суммы прибывающих из-за пределов центральной части в район j потоков и выходящих из района i

потоков в районы за пределами центральной части.

- вероятность использования легкового автомобиля для поездок внутри центральной части среди тех владельцев, которые прибыли сюда на легковом автомобиле, зависит от длины поездки l (в км) и можно приближенно оценить функцией:

$$f(l) = \begin{cases} 0 & , \quad 0 \leq l \leq 0,5 \\ \frac{\sin(\frac{l-2}{3}\pi) + 1}{2} & , \quad 0,5 < l < 3,5 \\ 1 & , \quad 3,5 \leq l . \end{cases}$$

Найденная, исходя из приведенных выше предположений, матрица довольно близка к матрице, которую можно получить на основе количества автомобилей, находящихся на стоянках в транспортных районах.

Составление матрицы для всего города оказывается более сложной задачей. Проведение опроса водителей является весьма трудоемкой и мало эффективной операцией.

Если составить матрицу, аналогичную матрице центральной части и отличающуюся тем, что кордонные пункты располагаются на границе города, то выясняется, что значения матрицы в части А по сравнению со значениями части Г ничтожные, так как доля транзитного движения через город невелика. Доли частей Б и В тоже незначительны по сравнению с долей части Г.

Матрица грузового движения была составлена на основе межрайонных грузовых корреспонденций комплексной транспортной схемы г. Таллина.

Матрица легкового движения была составлена как сумма двух подматриц. Одна из подматриц охватывает возвратные поездки с работы домой, а вторая - все остальные поездки. Данные для составления первой матрицы получены в результате опроса владельцев легковых автомобилей [4]. При составлении второй подматрицы использована гравитационная модель.

Некоторые транспортные районы являются тупиковыми - в них нет транзитного движения. На въездах в такие районы был проведен учет интенсивности движения, чтобы проверить

и при необходимости скорректировать результаты, полученные другими методами.

Данные об общественном транспорте вводились в модель иначе по сравнению с другими видами транспорта, так как линии общественного транспорта проходят по установленным маршрутам, которые зачастую не являются кратчайшими путями по затратам времени между пунктами отправления и назначения. Описание потоков общественного транспорта было сделано отдельно для каждой линии в виде последовательного перечня расположенных на линии узлов. Кроме описания маршрута дана интенсивность движения на каждой линии.

В первую группу исследования движения включены те, которые дают исходную информацию для модели, а во вторую — те, которые позволяют проверить достоверность получаемых результатов.

Для составления матрицы транспортных потоков проводился учет интенсивности движения на кордонных пунктах, которые располагались на внешнем контуре центральной части или всего города. Выбор пунктов для контрольного учета зависит от конкретных задач.

Учет интенсивности движения проводился в течение не менее двух часов с таким расчетом, чтобы можно было охватить вечерний час пик. Учет проводился только в рабочие дни. Оба направления учитывались отдельно. При учете различались следующие виды транспорта:

- легкие грузовые автомобили (с грузоподъемностью до 2 т);
- средние грузовые автомобили (2-5 т);
- тяжелые грузовые автомобили (свыше 5 т);
- легкие и средние автобусы;
- тяжелые автобусы;
- легковые автомобили;
- мотоциклы.

Если учет интенсивности движения проводился практически каждый год, то опрос водителей был проведен только один раз — в 1974 г. В кордонных пунктах центральной части (всего их было 10) опрашивали как въезжающих, так и выезжающих водителей. Им задавались вопросы о пунктах отправ-

ления и назначения поездки в пределах центральной части. У транзитных по отношению к центральной части водителей спрашивали также магистральные улицы, используемые для въезда и выезда из центральной части. Во время опроса центральная часть была распределена на 89 транспортных районов. Так как центральная часть имела 10 въездов, то матрица потоков движения получилась бы размерностью 99×99 и имела бы много незаполненных клеток. Более целесообразной оказалась матрица размерностью 28×28 .

Так как в центральной части г. Таллина функциональные и структурные сдвиги происходят довольно медленно, результаты опроса водителей (матрица, где потоки указываются не в абсолютном, а в процентном виде) можно использовать в течение длительного периода, корректируя их данными учета интенсивности движения в кордонных пунктах.

Мгновенные скорости движения измерялись радаром на тех участках магистральных улиц, где светофорное регулирование не используется. Среднее значение множества мгновенных скоростей сравнивалось со средней скоростью на данном участке, которая была рассчитана по полученной модели.

Для получения данных о времени проезда длинных отрезков пути и целых маршрутов проводились измерения методом "следования за лидером". Полученные такими измерениями средние значения времени поездки были сравнимы с результатами расчетов по модели. Названный метод довольно трудоемок и малоэффективен.

Для получения исходной информации для модели и для выяснения некоторых зависимостей проведен ряд исследований парковки машин с использованием разных методик. Начиная с 1966 г. в центральной части г. Таллина каждый август проводятся сплошные обследования стоянок машин на улицах и площадях [5]. Целью обследования является установление количества находящихся на стоянках автомобилей в рабочий день. Обследование проводится с 13 до 15 часов методом прохода всех улиц и стоянок с учетом стоящих машин по группам: грузовые автомобили, автобусы, ведомственные легковые автомобили вместе с такси, личные легковые автомобили, легковые автомобили из других республик (туристы) и мотоциклы.

Результаты этих обследований можно использовать для расчета различных показателей, таких как плотность парковки на улицах, плотность парковки на территории транспортного района, доля стоящих машин на стоянках и на улицах, распределение стоящих машин по видам транспорта и по транспортным районам, наполнение существующих стоянок и т.д. Кроме названных показателей по данным обследований можно установить влияние уличного паркования машин на пропускную способность улиц, на скорость сообщения и безопасность движения.

В 1973 г. проводилось обследование ночного паркования и инвентаризация гаражей в центральной части города.

В 1976 г. проводилось исследование продолжительности паркования на крупных внеуличных стоянках. Исследование проводилось с 7 до 21 часов. Регистрировались номерные знаки всех автомобилей, находившихся на стоянке в 7 часов утра, а далее номерной знак и время приезда или отъезда каждого автомобиля.

В мае 1977 г. проводилось обследование ночного паркования (с 5 до 6 часов) в новом жилом районе Вайке-Нийсмяэ. Обследование повторяли в тот же день после 9 часов. Это обследование позволило проверить достоверность результатов анкетного исследования об использовании личных легковых автомобилей на "трудовые поездки" [4].

Для расчета по модели в ЭВМ необходимо включить заказ, который определяет требуемые операции модели и используемые исходные данные. Модель позволяет сохранить на магнитной ленте пять разных вариантов по каждому виду исходных данных (граф уличной сети, дорожные знаки и светофоры, матрицы потоков движения).

Сначала модель вычисляет время проезда отдельных элементов уличной сети (дуг и узлов). При этом учитывается ряд факторов, которые влияют на время проезда: интенсивность движения, цикл работы светофора, интенсивность движения на главной и второстепенной улицах на нерегулируемых перекрестках.

Элементы уличной сети делятся на три вида:

— участки между перекрестками, здесь время проезда

зависит от длины этих участков и интенсивности движения в данном направлении;

- перекрестки со светофорами. Время проезда прямо и направо зависит от режима светофора и интенсивности соответствующего потока, а время левого поворота увеличивается тем больше, чем интенсивнее движение во встречном направлении прямо и направо;

- нерегулируемые и кольцевые перекрестки, где время проезда зависит от интенсивности движения на главной и второстепенной улицах.

На основе времени проезда отдельных участков уличной сети модель рассчитывает маршруты следования всех корреспонденций по минимальным затратам времени, используя для этой цели метод Л.Р. Форда [6].

После суммирования результатов по всем трем матрицам получается интенсивность движения для каждого элемента графа уличной сети в приведенных единицах. Эти данные позволяют составить картограммы интенсивности движения как для всей уличной сети, так и для каждого перекрестка. Выпечатывается также время проезда каждого элемента уличной сети в секундах.

Для каждого центрального узла рассчитывается транспортное количество движения выезжающих автомобилей по следующей формуле:

$$A^k = \frac{1}{60} \sum_{kj} t_{kj} I_{kj}^k,$$

где A^k - транспортное количество движения выезжающего из узла k автомобилей в машино-минутах;

t_{kj} - время проезда из центрального узла k в центральный узел j в секундах;

I_{kj}^k - количество автомобилей, выезжающих за час из центрального узла k в центральный узел j .

Для всей уличной сети транспортное количество движения определяется по формуле

$$A = \sum_k A^k.$$

На каждой итерации для центральных узлов выпечатывается A^k и для всей сети A , отдельно для грузового и легкового транспорта.

Для всех корреспондирующих узлов можно получить данные о маршруте между ними. Маршруты выпечатываются в стандартном виде: номер варианта, начальный узел, конечный узел, время проезда маршрута в секундах, количество автомобилей за час, перечень узлов по ходу проезда по маршруту.

При сравнении разных вариантов организации движения решающими являются изменения маршрутов и зависящие от них затраты времени, которые в данной модели выражены транспортным количеством движения. Транспортное количество движения позволяет выполнять экономическую оценку разных вариантов организации движения.

Л и т е р а т у р а

1. Справочник проектировщика. Градостроительство. М., Стройиздат, 1978.

2. Дынкин А.Г. Пальчиков Н.С., Пир М.А. и др. Модель и алгоритм прогноза потоков транспорта и пассажиров в транспортной системе города. - В сб. Город и пассажир. Ленинград, Стройиздат, 1975.

3. Брайловский Н.О., Коротков Ю.В. Комплекс моделей транспортного планирования. - В сб. Управление транспортными процессами. М., 1977.

4. Metsvahi, T. Sõiduautoga tööle. - Tehnika ja Tootmine, 1979. nr.4.

5. Метсвахи Т.Х., Пихлак И.О. Проблемы движения в общегородском центре г.Таллина. - Тр. Таллинск. политехн. ин-та, 1979, № 470.

6. Форд Л.Р., Фалкерсон Д.Р. Потоки в сетях. М., Мир, 1966.

Methodical Issues of Drawing up Transportation
Models for Cities

Summary

The authors of this paper together with specialists from the Institute of Cybernetics of the Estonian SSR Academy of Sciences have worked out two transportation models for Tallinn. One model has been worked out for the centre of Tallinn and the other for the whole city.

The models make it possible to find solutions for current and future problems concerning urban traffic organization and urban planning.

The main urban transportation problems which can be solved by means of the models are:

- to estimate the effect of the traffic organization changes on the traffic flow redistribution in the street network;
- to prognosticate the optimum redrive routes if a street must be closed for traffic;
- to prognosticate the traffic volume for a new street.

The primary data for the transportation model are: the street network graph; descriptions of intersections and traffic signs locations in intersections; duration of light signal cycles; interzonal trip matrixes; public transport routes and peak-hour volume.

The main results of the transportation models are: peak-hour traffic volume and trip time for every street network element; transportation volume of traffic for routes.

This paper examines the methodical aspects of traffic engineering studies and the drawing up of transportation models for cities.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ НОВОЙ МЕТОДИКИ
ПО ВЫБОРУ ТОЛЩИНЫ УПЛОТНЯЕМОГО СЛОЯ ГРУНТА

Для проверки разработанных нами формул и номограмм по выбору толщины уплотняемого слоя грунта [1, 2, 3], при укатке пневмоколесными катками, было предусмотрено проведение следующих работ:

- лабораторно-стендовые исследования;
- натурные эксперименты в производственных условиях;
- анализ и сопоставление экспериментальных данных других исследователей.

В качестве испытуемых грунтов были взяты связные грунты, как наиболее распространенные в Европейской части Советского Союза.

В состав лабораторно-стендовых исследований, позволяющих определить различные параметры, сократить количество полевых опытов и получить достоверные зависимости, исключая влияние случайных величин, входило:

- а) проведение лабораторного анализа испытуемых грунтов, т.е. определение гранулометрического состава, пластичности, оптимальной влажности и стандартной плотности;
- б) установление зависимости между плотностью грунта и нормальными вертикальными напряжениями;
- в) исследование распределения плотности по глубине уплотняемого слоя.

При лабораторном анализе испытуемых грунтов применяли стандартные приборы и традиционные методы измерения. Результаты соответствующих испытаний приведены в таблице I.

Таблица I

Свойства испытываемых грунтов

№ п/п.	Гранулометрический состав в %				Пластичность в %			Опт. влаж- ность W_0 %	Станд. плот- ность δ_0 10^3 кг/м ³
	гра- вий	песок	пыль	гли- на	вер- х- ний пре- дел	ниж- ний пре- дел	число плас- тич- ности		
I	0,2	27,2	58,7	13,9	29,6	20,2	9,4	17,2	1,76
2	1,0	40,2	46,1	12,7	26,8	18,9	7,9	16,5	1,84
3 ^x	-	16,0	57,5	26,5	40,0	20,0	20,0	-	-
4 ^x	-	2,2	24,8	73,0	75,0	23,0	52,0	-	-

^x по данным В.А. Льюис [4]

При выявлении зависимости между плотностью грунта и нормальными вертикальными напряжениями, грунт уплотняли без возможности бокового расширения в стандартном кольце от прибора предварительного уплотнения образцов грунта (площадь сечения 40 см²). Полученные зависимости представлены на фиг. I, где нумерация кривых соответствует порядковым номерам грунтов в таблице I.

Однако полученные зависимости не учитывают бокового трения образцов грунта по стенкам стандартного кольца в процессе уплотнения. Этот недостаток можно устранить, если учесть коэффициенты бокового давления (для влажного суглинка по Г.К. Клейну $\xi = 0,55$ [5]) и трения грунта о сталь, вычисляемого по формуле Ю.А. Ветрова [5]

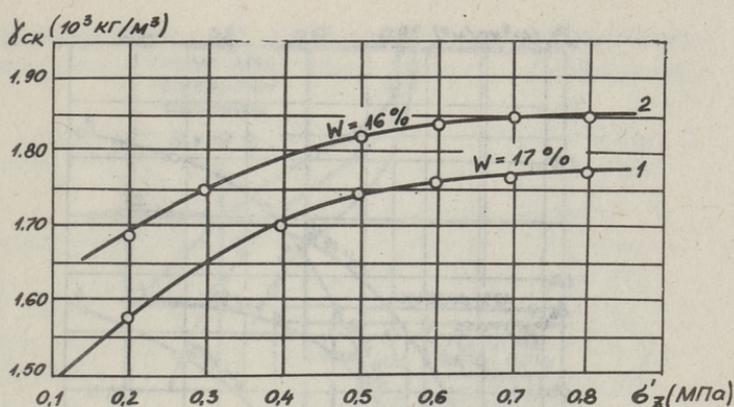
$$\mu_1 = f_0 \frac{\ln W}{A}, \quad (I)$$

где W - влажность грунта в %;

f_0 и A - постоянные параметры: для суглинка $f_0 = 1,01$; $A = 4,08$.

В результате перерасчета получены графики зависимости плотности грунта, при определенной ее влажности, от вертикального нормального напряжения (фиг. 2).

С целью приближения экспериментов к реальным условиям при исследовании распределения плотности по глубине,



Фиг. 1. Результаты уплотнения грунта в стандартном кольце без возможности бокового расширения.

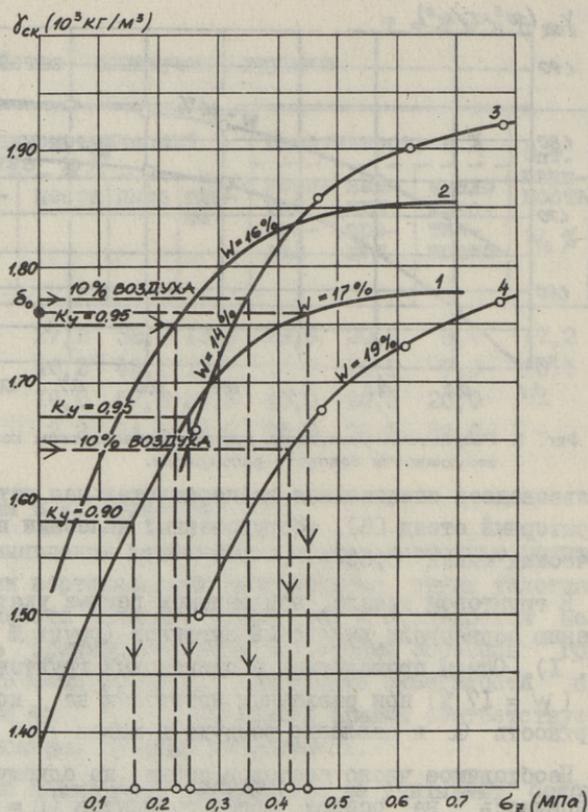
использовалась специальная экспериментальная установка - лабораторный стенд [6], оборудованный колесами на пневматических шинах 3.50 - 5.

В грунтовом канале, при ведомом режиме укатки, уплотнению подвергали пылеватый суглинок (грунт № I, см. табл. I). Опыты проводились в одинаковых грунтовых условиях ($W = 17\%$) при различных нагрузках на контактную поверхность Q и давлении воздуха в шинах P_w .

Необходимое число проходов стенда по одному следу установилось на основе пробных опытов ($n = 10$). Поступательная скорость движения стенда $V = 0,25$ м/с. Пробн брались по методу режущих колец.

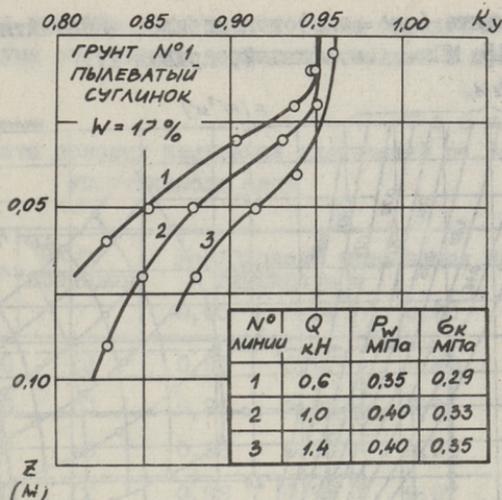
В результате обработки опытных данных были построены графики зависимости коэффициента уплотнения K_y от распределения плотности по глубине z (фиг. 3). Экспериментальные точки на графиках соответствуют арифметическому среднему от девяти измерений при трехкратном повторении опытов.

В целях проверки теоретических положений, для лабораторного стенда была составлена совмещенная номограмма (фиг. 4) [2]. Пользуясь дополнительно графиком зависимости плотности грунта от вертикальных напряжений (фиг. 2), можно найти минимальные величины напряжений σ_z , которые для уплотняемого материала еще обеспечивают желаемую плот-



Фиг. 2. Зависимость плотности грунта от вертикального нормального напряжения.

ность. Например, для грунта № I, при влажности $W = 17\%$, коэффициент уплотнения $K_y = 0,95$ обеспечивается вертикальным напряжением $\sigma_z = 0,25$ МПа. Зная давление воздуха в шинах P_w и нагрузку на контактную поверхность Q , можно по совмещенной номограмме определить величину контактного давления σ_k . Например, при $P_w = 0,40$ МПа и $Q = 1,0$ кН, контактное давление $\sigma_k = 0,33$ МПа. Следовательно, для данного примера относительное вертикальное напряжение $\sigma_z / \sigma_k = 0,25 / 0,33 = 0,76$. Последовательность дальнейшего определения толщины уплотняемого слоя грунта по совмещенной номограмме показана стрелками (см. фиг. 4).



Фиг. 3. Распределение плотностей по глубине при уплотнении лабораторным стендом.

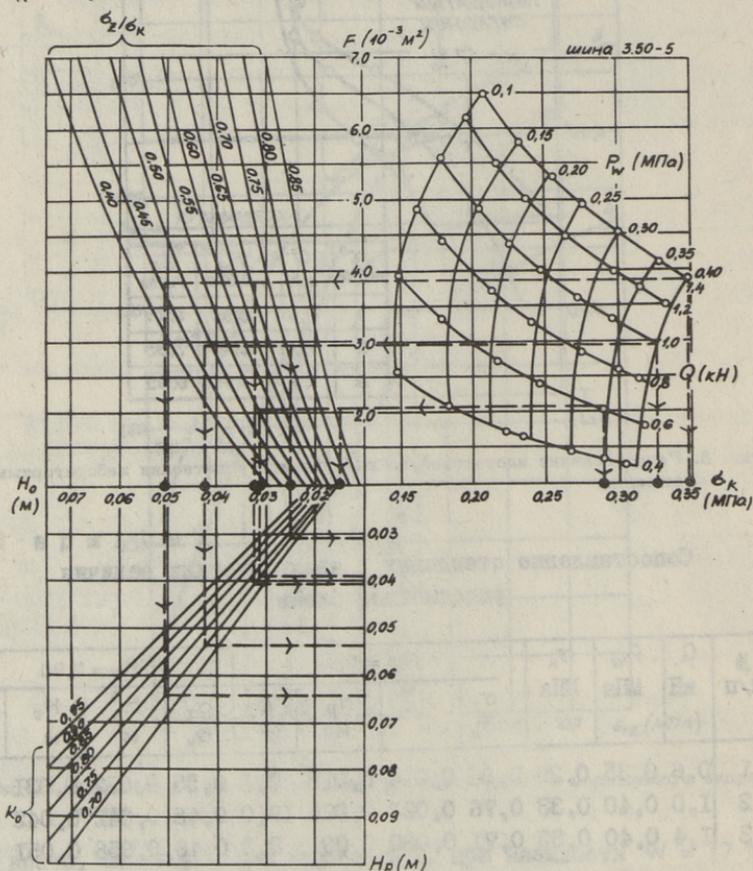
Таблица 2
Сопоставление стендовых и аналитических величин
уплотненных слоев

№ П/П	Q кН	P _w МПа	σ _к МПа	K _y = 0,95				K _y = 0,90			
				$\frac{\sigma_z}{\sigma_k}$	H ₀ ³ м	H ₀ м	Δ %	$\frac{\sigma_z}{\sigma_k}$	H ₀ ³ м	H ₀ м	Δ %
1	0,6	0,35	0,29	0,86	0,014	0,015	7,1	0,55	0,032	0,031	3,1
2	1,0	0,40	0,33	0,76	0,021	0,025	19,0	0,48	0,042	0,042	0
3	1,4	0,40	0,35	0,71	0,030	0,031	3,3	0,46	0,056	0,051	8,9

На основе сопоставления стендовых и аналитических величин уплотненных слоев грунта, соответственно H_0^3 и H_0 (таблица 2), можно констатировать точное совпадение в результатах. Исключениями являются очень маленькие толщины слоев, где причиной относительно больших расхождений могут быть технические возможности применяемой измерительной аппаратуры.

Достижению более высоких степеней уплотнения препятствовали конструктивные ограничения лабораторного стенда — наибольшее контактное давление 0,35 МПа. (см. фиг. 4). Например, для получения коэффициента уплотнения $K_y = 1,0$ при

данном грунте ($w = w_0$) понадобилось контактное давление $\sigma_k = 0,45$ МПа (см. фиг. 2, кривая I).



Фиг. 4. Совмещённая номограмма для определения толщины уплотняемых слоев при уплотнении лабораторным стендом.

Полевые опыты проводились в производственных условиях при строительстве земляного полотна Тульской окружной дороги.

Во время опытов самоходный пневмоколесный каток Д-624 был оборудован экспериментальными шинами 370-508 "P" мод. Ф-10. Характеристики уплотняемого грунта приведены в таблице I (грунт № 2) и на фиг. 2 (кривая 2).

Пробы по толщине уплотняемого слоя определялись параллельно двумя способами: режущими кольцами и прибором Ковалева.

Т а б л и ц а 3

Результаты полевых измерений плотностей по глубине уплотняемого слоя

№ п/п	Q кН	P _w МПа	Число проходов n	Коэффициент уплотнения K _y при глубине в м			
				0,00	0,10	0,20	0,30
1	43,0	0,30	12	0,91	0,91	0,90	0,89
2	43,0	0,40	10	0,96	0,95	0,95	0,94
3	43,0	0,50	8	0,98	0,95	0,95	0,96
4	43,0	0,50	12	0,98	0,97	0,97	0,96

Дополнительные данные:

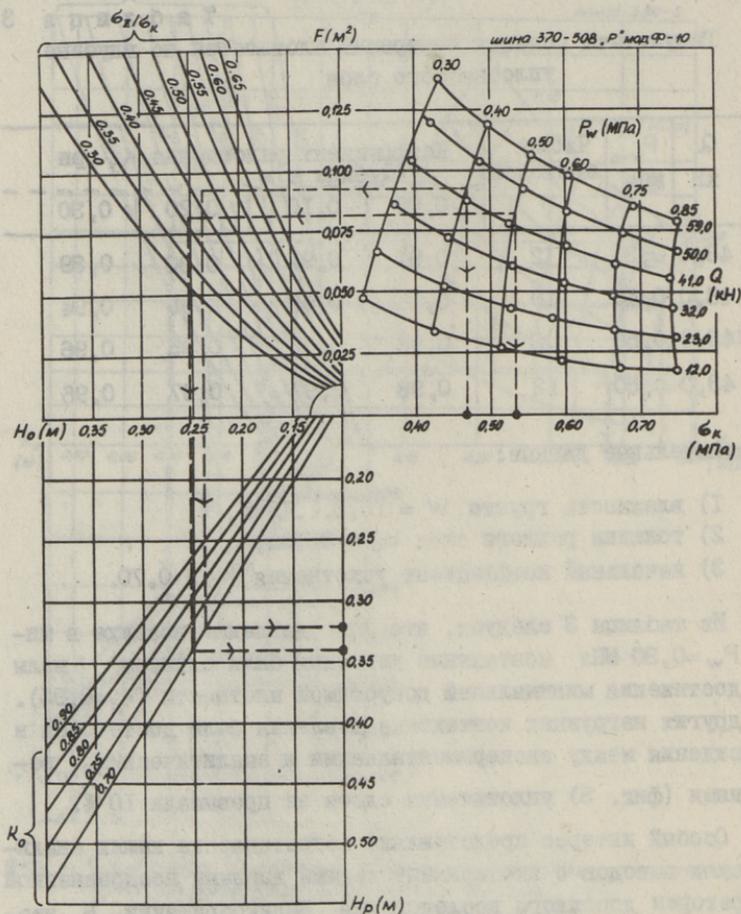
- 1) влажность грунта $W = 15,5...19\%$,
- 2) толщина рыхлого слоя $H_p = 35$ см,
- 3) начальный коэффициент уплотнения $K_0 = 0,70$.

Из таблицы 3 следует, что при давлении воздуха в шинах $P_w = 0,30$ МПа контактные давления были слишком малы для достижения минимальной допустимой плотности ($K_y = 0,95$). При других нагрузках контактные давления были достаточны и расхождения между экспериментальными и аналитическими величинами (фиг. 5) уплотняемых слоев не превышали 10%.

Особый интерес представляло сопоставление наших аналитических выводов с экспериментальными данными всепризнанной Лаборатории дорожного исследования Великобритании. В названном исследовательском центре под руководством В.А. Льюиса выполнены в лабораторных условиях объемные и тщательные опыты натурными пневмоколесными катками [4].

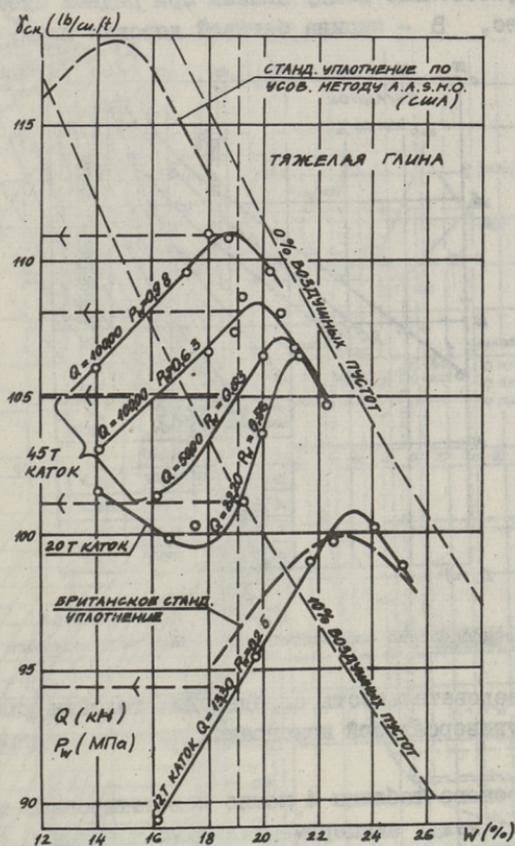
Характеристики испытуемых связных грунтов приведены в табл. I. Поскольку В.А. Льюисом не было проведено специальных исследований по установлению зависимости между плотностями грунтов и сжимающими напряжениями, то в этих целях пришлось использовать графики зависимости между плотностями

и влажностями грунтов (фиг. 6) и результаты статических испытаний шин. Полученные зависимости нанесены на фиг. 2 (кривые 3 и 4).



Фиг. 5. Совмещённая номограмма для определения толщины уплотняемых слоев при уплотнении катком $D - 624$.

Для сравнения экспериментальных (фиг. 7) и аналитических величин уплотняемых слоев была составлена универсальная номограмма (фиг. 8) [3], поскольку эксперименты проводились параллельно тремя разными катками, оборудованными различными типоразмерами шин.



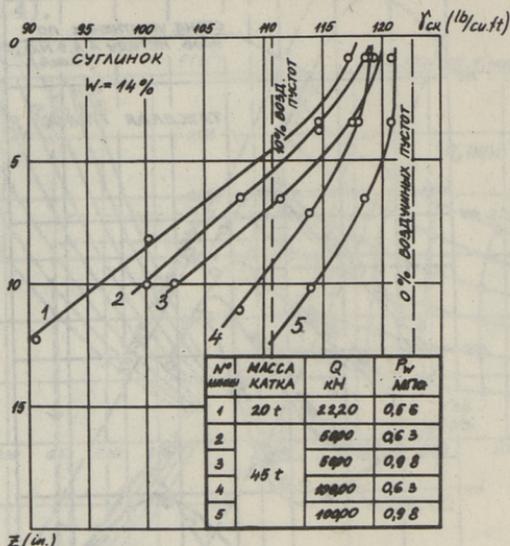
Фиг. 6. Зависимость между плотностями и влажностями грунтов при различных уплотняющих нагрузках /4/.

В правом верхнем углу универсальной номограммы приведена разработанная нами на основе статических испытаний шин [4] номограмма для определения контактных параметров.

В правом нижнем углу приведен график, позволяющий для суглинка (грунт № 3, табл. I) найти величины относительных напряжений σ_z / σ_k , обеспечивающие требуемые плотности уплотняемого слоя.

Относительные расстояния между колесами катков обозначены на универсальной номограмме через e_p / B , где

e_p — расстояние между шинами при рядной схеме расположения колес, B — ширина беговой дорожки шины.



Фиг. 7. Распределение плотностей по глубине уплотняемого слоя /4/.

Последовательность определения толщины уплотняемого слоя по универсальной номограмме показана стрелками (см. фиг. 8).

На основе таблицы 4 можно констатировать хорошую совпадемость между экспериментальными данными В.А. Льюиса и аналитическими величинами, полученными посредством универсальной номограммы. Расхождения в основном в пределах 5 %, что вполне допустимо для практических целей.

Как вытекает из проведенных нами исследований, требуемые плотности в определенной толщине уплотняемого слоя могут достигаться при соблюдении условия

$$\sigma_k > \min \sigma_z, \quad (2)$$

где $\min \sigma_z$ — минимальное вертикальное напряжение, обеспечивающее желаемую плотность уплотняемого грунта (см. фиг. 2).

В это же время заметно, что с увеличением контактного давления σ_k (число проходов катка по одному следу

Сопоставление аналитических величин уплотненных слоев с экспериментальными данными В.А. Льюиса

№ п/п	Q, кН	P _w МПа	Шины	При 10 %-ном содержании воздушных пустот							
				суглинок				глина			
				$\frac{\sigma_z}{\sigma_k}$	H ₀ м	H ₀ м	$\frac{\Delta}{\sigma_k}$	$\frac{\sigma_z}{\sigma_k}$	H ₀ м	H ₀ м	$\frac{\Delta}{\sigma_k}$
1	100,0	0,98		0,45	0,318	0,300	5,6	0,55	0,228	0,240	5,2
2		0,63	16,00x21	0,57	0,254	0,260	2,4	0,70	0,191	0,215	12,5
3	50,0	0,98		0,64	0,180	0,178	1,1				
4		0,63		0,74	0,152	0,160	5,3	0,90	0,127	0,130	2,4
5	22,2	0,56	9,00x20	0,65	0,127	0,130	2,4	0,79	0,099	0,090	9,1

Примечание: Степень уплотнения - 10 % воздушных пустот в грунте, принималась из-за отсутствия результатов стандартного уплотнения по методу СоюзДорНИИ.

Для расчета $P_{кр}$ при уплотнении пневмоколесными катками А.Д. Какимовым предложена специальная формула [7].

Но как нами доказано [8], наилучший эффект уплотнения с точки формирования однородной структуры уплотненного грунта, получается при окончании фазы уплотнения, т.е.

$$\min \sigma_z < (\sigma_{к = \text{нач } P_{кр}}) < P_{кр}, \quad (4)$$

где нач $P_{кр}$ — начальная критическая нагрузка при данных условиях нагружения, соответствующая концу фазы уплотнения.

В заключение можно сделать следующие выводы:

а) аналитические предпосылки подтвердились во время экспериментальных исследований и тем самым разработанную нами методику можно рекомендовать для использования в практических целях;

б) желательно, чтобы заводы-изготовители пневмоколесных катков включили в техническую документацию машин совмещенную номограмму по выбору толщины уплотняемого слоя;

в) применение предложенной методики позволит со временем отказаться от трудоемкого пробного уплотнения. По предварительным расчетам, стоимость одного определения толщины уплотняемого слоя при этом понизится на 31 рубль.

Л и т е р а т у р а

1. П у т к А.И., С ю р ь е П.Л. Выбор толщины уплотняемого слоя при строительстве дорог. — Тезисы докладов II Республиканской научно-технической конференции по автомобильным дорогам и геодезии, Таллин, 1972.

2. П у т к А.И., С ю р ь е П.Л. Совмещенная номограмма для определения толщины уплотняемого слоя грунта. — Тр. Таллинск. политехн. ин-та, 1976, № 385.

3. С ю р ь е П.Л. Универсальная номограмма для определения толщины уплотняемого слоя грунта. — Тр. Таллинск. политехн. ин-та, 1978, № 446.

4. L e v i s, W.A. Investigation of the performance of pneumatic tired rollers in the compaction of soil. Depart-

ment of Scientific and Industrial Research. Road Research Technical Paper. London, 1959, N 45.

5. А л е к с е е в а Т.В. и др. Машины для земляных работ, теория и расчет. М., Машиностроение, 1964.

6. Антипов Л.А. и др. Стенд для исследования рабочих органов катков и движителей дорожно-строительных машины. - Тр. Таллинск. политехн. ин-та, 1973, № 351.

7. К а в м о в А.Д. Исследование оптимальных условий уплотнения связанных грунтов при сооружении насыпей автомобильных дорог. Дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук, МАДИ, 1978.

8. С в р ь е П.Л. О критических нагрузках на грунт при уплотнении катками статического действия. - Тр. Таллинск. политехн. ин-та, 1979, № 470.

P. Sürje

Experimental Control of a New Method for
Determining the Thickness of the Layers
to be Thickened

Summary

For experimental control of the formulae and nomograms for determining the thickness of the layers to be thickened with pneumatic tyred rollers full-scale compaction tests were carried out in the laboratory and field conditions. In addition the results of the earlier experimental investigations by W.A. Lewis (Great Britain) were used. The collation results of experimental and theoretical investigations showed coincidence in results within the range of 10 %, which is sufficient for practical purposes.

ОБОБЩАЮЩИЙ ПАРАМЕТР РАБОЧИХ ОРГАНОВ КУЛАЧКОВЫХ
КАТКОВ

В настоящее время среди различных типов дорожных катков определенное распространение получили кулачковые катки, которые применяются для уплотнения гравийных, суглинистых, глинистых и тяжелых комковатых грунтов, а также для уплотнения бытового мусора и пакетирования тонкого металлолома.

Однако рабочие органы современных катков довольно разнообразны, что объясняется отсутствием достаточно обоснованных методов выбора их параметров.

По современным представлениям рабочие органы кулачковых катков можно характеризовать следующими параметрами: диаметр и ширина вальца; длина, геометрическая форма и угол наклона боковых поверхностей кулачка; число кулачков по окружности и на вальце; размеры и форма опорной поверхности кулачков, шаг кулачков в ряду по окружности и по образующей вальца.

Рабочие органы и, в особенности кулачки, должны соответствовать определенным требованиям [1]:

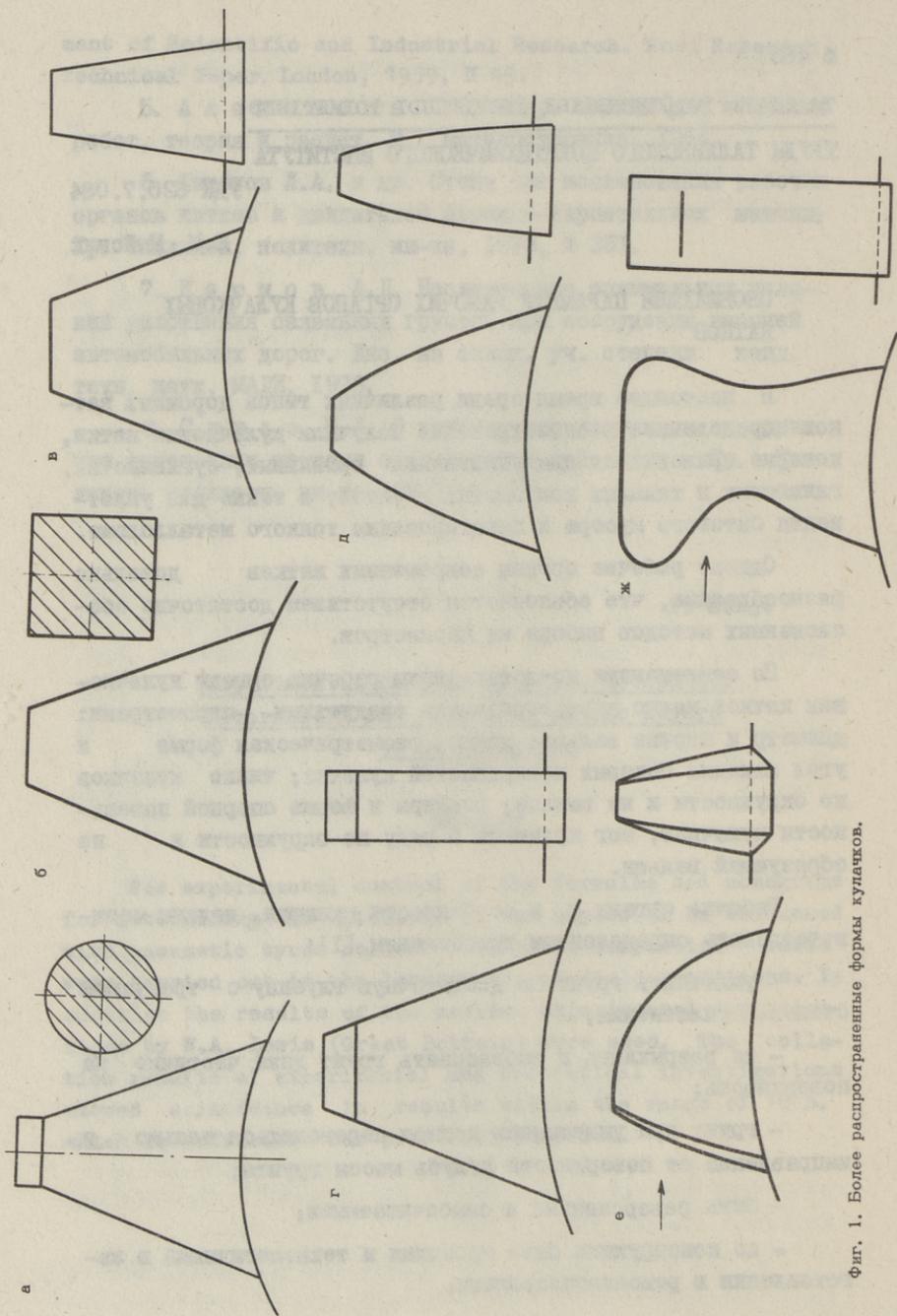
- уплотнять грунт на достаточную глубину с требуемой степенью уплотнения;

- не разрыхлять и выбрасывать грунт даже частично на поверхность;

- грунт при уплотнении должен перемещаться только в направлении от поверхности вглубь массы грунта;

- быть реверсивными и самоочищаемыми;

- по конструкции быть простыми и технологичными в изготовлении и ремонтоспособными.



фиг. 1. Более распространенные формы кулачков.

Выполнение всех этих требований может быть осуществлено только при наличии обоснованной методики выбора параметров кулачковых рабочих органов.

Проведенный автором анализ литературных данных показал, что существующие рекомендации по выбору параметров не дают единых результатов и не позволяют учесть всех факторов и требований кулачковых рабочих органов дорожных катков.

Так, например, некоторые исследователи [2] рекомендуют выбирать отношение диаметра вальца к длине кулачка в пределах 5,5...7,0. Нетрудно представить, что при одном и том же диаметре могут быть выбраны кулачки с разной длиной, не нарушая при этом пределов рекомендуемого отношения; и, наоборот, при одной длине кулачка — разные диаметры вальца. Какое сочетание диаметра вальца и длины кулачков является оптимальным, остается неопределенным.

Для определения шага кулачков в ряду по окружности известна следующая эмпирическая формула [2]:

$$t_k = (60 \dots 100 \text{ мм}) + b, \quad (I)$$

где b — диаметр или сторона квадрата соответственно круглой или квадратной опорной поверхности.

При этом не указывается, по какой окружности t_k измеряется (ведь длина дуги окружности при определенном значении центрального угла зависит от радиуса окружности). Например, если шаг определяется по окружности опорных поверхностей кулачков, то при определенном сочетании значений параметров (диаметра вальца; длины и углов наклона боковых поверхностей кулачков, числа кулачков в ряду по окружности) может наступить положение, когда боковые поверхности соседних кулачков на поверхности вальца соприкасаются или даже пересекаются.

Особый интерес представляет геометрическая форма кулачка, наиболее распространенными из которых являются: усеченный конус (фиг. I, а), усеченная пирамида (фиг. I, б, в) и трапециевидальная форма (фиг. I, г). В настоящее время определенное распространение нашли кулачки с боковыми поверхностями, образованными по кривым второго порядка (эвольвенты, спирали, циклоиды) (фиг. I, д, е) или со сложными

кривыми с изменяющимся радиусом кривизны (фиг. 1, ж). При этом формы а, б, в, г и д являются реверсивными и более предпочтительными, чем формы е и ж, как нереверсивные.

Некоторыми исследователями [2] экспериментально доказано, что форма кулачка с эвольвентными боковыми поверхностями является более эффективной как по достигаемой плотности грунта, так и по показателям очищаемости и разрыхляемости.

В зависимости от свойств уплотняемого грунта углы наклона боковых поверхностей рекомендуется выбирать в пределах $7...12^\circ$. При этом не отмечается, какие свойства грунта следует учитывать, что-то подобное наблюдается и при определении других параметров.

Следует отметить, что главным недостатком известных методов является отсутствие обобщающего параметра, объединяющего и взаимосвязывающего все вышеназванные параметры кулачкового рабочего органа.

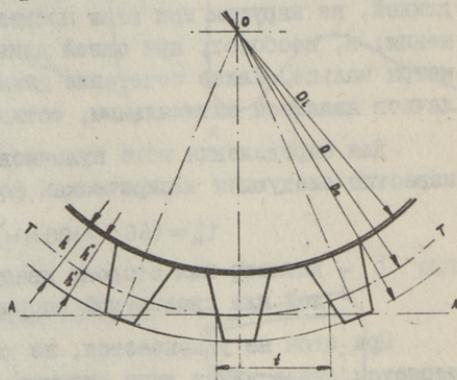
Проведенные автором исследования позволили выявить, что таким обобщающим параметром может служить (подобно зубчато-му зацеплению [3]) модуль кулачкового рабочего органа, который может быть определен следующим образом:

Кулачки расположены на поверхности вальца с определенным шагом t (фиг. 2) и в ряду по окружности их размещается определенное число z_p . Тогда длина окружности с диаметром D , с одной стороны, будет $z_p \cdot t$, а с другой — πD . Поскольку окружность одна, то

$$z_p t = \pi D \quad (2)$$

и отсюда

$$D = \frac{t}{\pi} z_p, \quad (3)$$



Фиг. 2. Расчетная схема.

где D — диаметр окружности;

z_p — число кулачков в ряду по окружности;

t — шаг кулачков по окружности с диаметром D .

Отношение t/π в (2) и является модулем кулачкового рабочего органа,

$$m = \frac{t}{\pi}. \quad (4)$$

Окружность с диаметром D , для которой значение модуля рекомендуем принимать из ряда предпочтительных чисел по ГОСТ 8032-56, будем называть делительной и она является основным неизменным геометрическим элементом для каждого кулачкового рабочего органа. Все остальные размеры как кулачка, так и вальца, за исключением длины последнего, можно определить через модуль. Из фиг. 2 видно, что делительная окружность разделяет длину кулачка h на две части с определенным отношением. Называя выступающую от делительной окружности часть кулачка *г о л о в к о й*, а оставшуюся внутри ее — *н о ж к о й*, можно написать, что

$$h = h' + h'', \quad (5)$$

где h' — длина головки;

h'' — длина ножки.

Взаимодействие кулачкового катка с грунтом можно определенным образом рассмотреть как зеркальное отражение процесса резания зубьев зубчатого колеса с рейкой, из которого известно [3], что при малом числе и большой высоте зубьев происходит подрезание у ножек и заострение головок. По аналогии с этим нетрудно представить, что при неправильном соотношении модуля с числом, длиной и формой кулачков происходит подрезание грунта головками и выбрасывание его на поверхность.

Следует отметить, что подрезание происходит только при первых проходах катка, когда кулачки полностью внедряются в грунт. Как показали проведенные автором графо-аналитические исследования, при таком режиме работы мгновенный центр скоростей относительного движения рабочего органа расположен в точке сопряжения делительной окружности $T-T$ с мысленной прямой $A-A$ в грунте, по которому тогда происходит качение. Также известно [2], что все точки кулачка движутся по удлинненной циклоиде и чем больше длина головки, тем длин-

нее и шире будет петля удлинненной циклоиды. Следовательно, тем больше будет и подрезание и выбрасывание грунта на поверхность.

Кроме того, графо-аналитические исследования позволяли выявить, что длину головок и ножек кулачков целесообразно выразить как кратные модуля:

$$h' = k' m \quad (6)$$

и

$$h'' = k'' m, \quad (7)$$

где h' и h'' — соответственно длина головок и ножек,
 k' и k'' — безразмерные коэффициенты длины головок и ножек.

С учетом формул (3)...(7) можно показать, что модуль взаимосвязывает и позволяет определить все остальные параметры кулачкового рабочего органа:

- шаг по делительной окружности
 $t = m\pi$;
- диаметр делительной окружности
 $D = m z_p$;
- длина кулачка
 $h = m(k' + k'')$;
- диаметр вальца или окружности ножек
 $D_i = D - 2h'' = m(z_p - 2k'')$;
- габаритный диаметр рабочего органа или диаметр головок
 $D_e = D + 2h' = m(z_p + 2k')$.

На основе проведенных исследований рекомендуем выбирать модули из ряда R20 (ГОСТ 8032-56) в диапазоне 70 ... 120 мм, коэффициенты длины головок $k' = 0,8 \dots 1,0$ и ножек $k'' = 1,0 \dots 1,2$. При этом при больших значениях модулей рекомендуется использовать меньшие значения k' и большие значения k'' , что обеспечивает минимальное подрезание и максимальную эффективность работы.

Таким образом модуль кулачкового рабочего органа является единственным и обобщающим показателем, взаимосвязывающим все остальные параметры.

Л и т е р а т у р а

1. Л а п и н Н.А. Выбор рациональной формы кулачка прицепного кулачкового катка Д-130. — Механизация строительства, 1950, № 1, с. 17-19.

2. К о б з е в А.П. Выбор и расстановка кулачков вибраторных и статических кулачковых катков. — Строительство и архитектура. Саратов, 1973, № 4, с. 141-144 (Известия вузов).

3. А р т о б о л е в с к и й И.И. Теория механизмов машин. М., Госиздат технико-теоретической литературы, 1953.

K. M6isnik

The Generalizing Parameter for the Working Members of the Sheepsfoot Rollers

Summary

The chief parameters of the working members of sheepsfoot rollers as well as the requirements made to them are determined in this paper. It is noted that at the present time lack of standard, scientifically well-founded methods for selecting the parameters explains the great versatility of these rollers. The main deficiency is the lack of a generalizing parameter that would interconnect all the other parameters and simplify the finding of the most rational solutions.

As a result of the analytical and experimental research work done, it is recommended to take into use the modulus of the sheepsfoot drum, which may be defined by equation

$$m = \frac{t}{\pi}$$

in which m is the modulus and t the longitude of the pace of feet on the circumference. The values of the modulus are

recommended to be chosen from the sequence of preferred numbers. Equations are given for determining the main geometrical parameters of the sheepfoot drum depending upon the modulus, and some recommendations for choosing the numerical values of the constants.

МЕТОД СТАНДАРТНОГО УПЛОТНЕНИЯ КРУПНОЗЕРНИСТЫХ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время применяемый в Советском Союзе метод стандартного уплотнения, как и в ряде зарубежных стран аналогичный метод Проктора, позволяет определить лишь объемную массу скелета или т.н. "плотность" мелкозернистых дорожно-строительных материалов, а для крупнозернистых материалов этот метод неприменим. Поэтому весьма важным и актуальным является попытка создания нового метода стандартного уплотнения для крупнозернистых материалов.

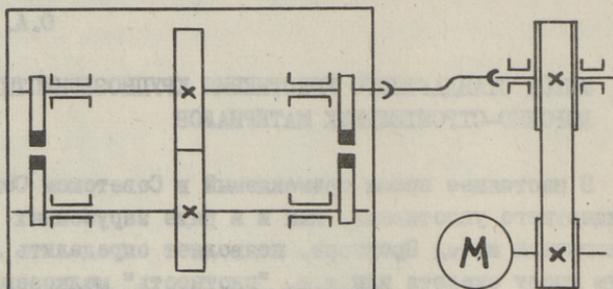
В качестве такого метода автором предлагается вибрационный метод, который соответствует широко применяемому полевому методу уплотнения, в первую очередь, несвязных дорожно-строительных материалов. Для реализации поставленной задачи был спроектирован и изготовлен лабораторный вибростол с направленными колебаниями, позволяющий изменить параметры вибраций в следующих пределах: $A = 0,25 \dots 1,50$ мм и $n = 1000 \dots 4500$ об/мин или $\omega = 105 \dots 471$ рад/с.

Кинематическая схема вибростола приведена на фиг. 1.

Такой вибростол позволяет изучить уплотняемость различных материалов в зависимости от их зернового состава, амплитуды и частоты колебаний, длительности вибрирования, величины сосуда для уплотняемого материала и статического удельного давления.

Все опыты проводились с известняковым щебнем, который широко применяется в качестве местного дорожно-строительного материала при сооружении оснований автомобильных дорог в Эстонской ССР. Чтобы уменьшить влияние зернового состава фракций 5-20 мм на результаты опытов, она была рас-

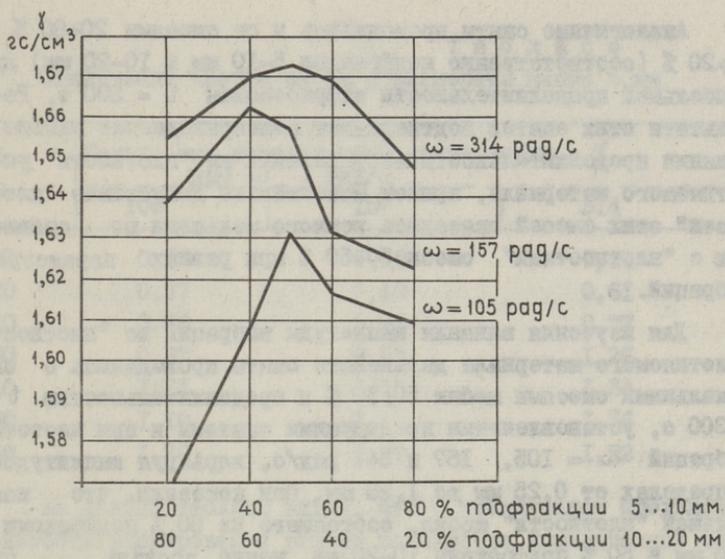
пределены на подфракции 5-10 и 10-20 мм и определен их оптимальный состав. Для этого были составлены смеси с содержанием подфракций 20+80, 40+60, 50+50, 60+40 и 80+20 процентов и проведены с ними опыты при продолжительности вибрирования t и амплитуде A , которые по предварительным опытам были установлены в размерах: $t = 60$ с и $A = 0.75$ мм.



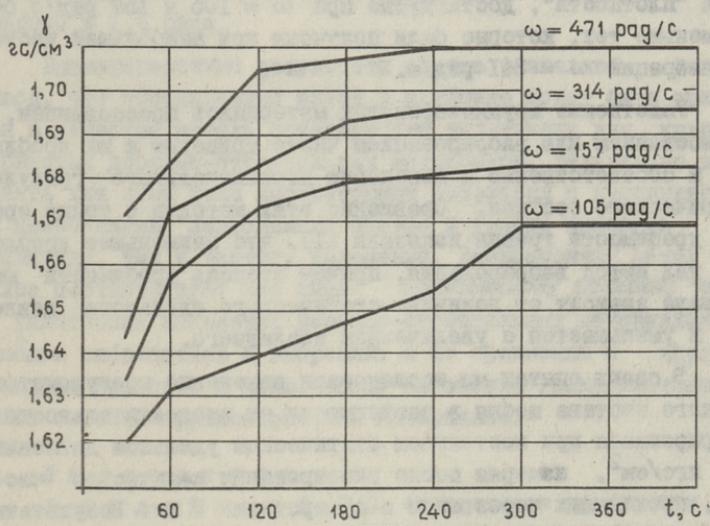
Фиг. 1. Кинематическая схема лабораторного вибростола с направленными колебаниями.

Результаты опытов с различными смесями изображены в виде графика на фиг. 2, где видно, что наибольшие "плотности" были получены при смесях, состоящих из подфракций соответственно 50+50 %. С увеличением частоты колебаний при прочих равных условиях "плотность" всех смесей увеличивается.

Для выяснения влияния продолжительности вибрирования на "плотность" уплотняемого материала следующие опыты проводились со смесями 50+50 % при разных продолжительностях вибрирования в пределах $t = 30 \dots 420$ с и постоянной амплитудой колебаний $A = 0,75$ мм, которая была установлена в результате пробных опытов. Результаты этих опытов приведены в виде графика на фиг. 3, где видно, что продолжительность вибрации до 300 с увеличивает "плотность" уплотняемого материала, причем самое интенсивное уплотнение щебня происходит в течение первых 30 секунд. За это время "плотность" щебня увеличивается по сравнению с "плотностью" неуплотненного материала в зависимости от частоты колебаний на 16,0...19,6 %, причем меньшие значения соответствуют меньшим частотам колебаний. При дальнейшем увеличении продолжительности вибрирования до 300 с рост "плотности" щебня происходит значительно медленнее, причем по сравнению с "плотностью" неуплотненного материала максимально достигнутая "плотность" составляет 119,5...122,0 % в зависимости от частоты колебаний в пределах 105...471 рад/с.



Фиг. 2. Зависимость плотности щебня от процентного содержания подфракций в смеси и частоты вибраций.



Фиг. 3. Зависимость плотности щебня от продолжительности вибрирования и частоты вибраций.

Аналогичные опыты проводились и со смесями 20+80 % и 80+20 % (соответственно подфракции 5-10 мм и 10-20 мм) до наибольшей продолжительности вибрирования $t = 300$ с. Результаты этих опытов подтверждают вышеприведенные выводы о влиянии продолжительности вибрирования на "плотность" уплотняемого материала, причем максимально допустимые "плотности" этих смесей оказались немного меньшими по сравнению с "плотностями" смеси 50+50 % при равных параметрах вибраций.

Для изучения влияния амплитуды вибраций на "плотность" уплотняемого материала дальнейшие опыты проводились с оптимальными смесями щебня 50+50 % и продолжительностью $t = 300$ с, установленными предыдущими опытами и при частотах вибраций $\omega = 105, 157$ и 341 рад/с, варьируя амплитудой в пределах от 0,25 мм до 1,25 мм. Они показали, что наибольшей "плотности" щебня, состоящего из 50 % подфракции 5-10 мм и 50 % подфракции 10-20 мм, можно достичь при амплитуде $A = 0,75$ мм и частоте вибраций $\omega = 341$ рад/с. Аналогичная закономерность зависимости "плотности" щебня от амплитуды сохранялась и при других частотах вибраций, хотя "плотности", достигнутые при $\omega = 105$ и 157 рад/с, были меньше тех, которые были получены при наибольшей частоте вибраций $\omega = 341$ рад/с.

Уплотнение крупнозернистых материалов прессованием, трамбованием или вибрированием часто приводит к их дроблению и соответственно к изменению первоначального гранулометрического состава. Сравнение этих методов с точки зрения дробимости гравия показали [1], что наименьшее дробление дал метод вибрирования, причем степень дробимости материала зависит от величины статического удельного давления и уменьшается с увеличением последнего.

В своих опытах мы исследовали изменение гранулометрического состава щебня в зависимости от продолжительности вибрирования при постоянном статическом удельном давлении $0,1$ кгс/см², измеряя после вибрирования количество частиц, проходящих через сито с отверстиями 5 мм. Результаты опытов приведены в таблице.

Т а б л и ц а
Увеличение частиц щебня с размерами менее 5 мм

t, с	Количество измельченной части щебня в %		
	при ω	рад/с	
	105	157	314
30	0,15	0,18	0,21
60	0,37	0,40	0,61
120	0,66	0,73	0,77
180	0,87	0,97	1,26
240	1,11	1,24	1,34
300	1,19	1,44	1,56
360	1,29	1,77	1,92

Из данных таблицы видно, что с увеличением продолжительности вибрирования растет количество измельченной части щебня, прошедшей через сито с отверстиями 5 мм, примерно линейно, а при одной и той же продолжительности вибрирования увеличение частоты вибраций в три раза влечет за собой увеличение количества измельченной части щебня в среднем в 1,4 раза.

Вышеприведенные результаты опытов позволяют делать вывод, что вибрационный метод в принципе может быть применен в качестве метода стандартного уплотнения для крупнозернистых дорожно-строительных материалов. Желательно применять для этой цели лабораторный вибростол с направленными колебаниями, позволяющий быстро и удобно изменять как амплитуду, так и частоту колебаний. Вибрационный метод наиболее соответствует все шире применяемому полевому методу уплотнения несвязных дорожно-строительных материалов с помощью виброкатков и виброцилит и по сравнению с другими методами приводит к наименьшему изменению гранулометрического состава крупнозернистых материалов.

Л и т е р а т у р а

И. Орловский и В.С. Определение дробности гравия при уплотнении его различными методами в лабораторных условиях. — Экспрессинформация. Строительство и эксплуатация автомобильных дорог. 1971, № 25, с. 8-11.

The Standard Compaction Method for Coarse-Grained
Road-Building Materials

Summary

The article includes the results of the vibratory compaction experiments with limestone chips on the laboratory vibrating table with a directed vibrating force. The regularity of the action of some factors upon the density of compactible materials is set forth, the factors being duration, amplitude, and frequency of vibration.

The established (determined) regularities make it possible to propose the vibratory method as the standard compaction method for coarse-grained materials, for there is no such method for them in the present time.

В. В. Денисов, А. И. Пучк

ВЫБОР НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГЛАДКОВАЛЬЦОВЫХ ДОРОЖНЫХ КАТКОВ

К параметрам гладких вальцов как рабочих органов дорожных катков следует отнести их диаметр, ширину, контактное давление и площадь соприкосновения вальца с уплотняемым материалом. При вибрационном режиме работы вальца кроме этих параметров определяющими являются следующие параметры — вынуждающая сила, амплитуда и частота колебаний.

Среди вышеуказанных параметров основными являются диаметр вальца и удельное контактное давление, так как эффективность работы катка и вместе с тем достигаемая степень уплотнения определяются, главным образом, этими параметрами.

К сожалению, существующие рекомендации по выбору различных параметров гладкого вальца и, в том числе диаметра и удельного контактного давления, весьма разнообразные и часто противоречивые. Причем, по многим вопросам среди исследователей не существует единого мнения. В результате этого вопрос о выборе диаметра вальца и удельного контактного давления, а также других параметров гладковальцовых рабочих органов является в настоящее время еще нерешенным.

Поэтому для выявления оптимального значения диаметра вальца и линейного удельного давления авторами проводились с 1977—1978 годі на лабораторном стенде [1] обширные экспериментальные исследования. Опыты проводились на песках и суглинке ведомыми и ведущими вальцами в диапазоне диаметров 0,32...1,6 м, а на горячих асфальтобетонных смесях ведомыми вальцами в диапазоне диаметров 1,0...1,6 м. Удельное линейное давление, в зависимости от диаметра вальца,

находилось в пределах 2...60 кгс/см, а необходимое число проходов вальцев по одному следу n устанавливалось на основе пробных опытов. Результаты этих опытов представлены графиками на фиг. 1...6.

В результате анализа этих данных можно сделать ряд важных выводов:

- для каждого материала и каждому диаметру вальца соответствует определенное значение удельного линейного давления, при котором достигается наибольшая плотность уплотняемого материала;

- отклонения от оптимального значения удельного линейного давления особенно вредно влияет на степень уплотнения при малых диаметрах вальца;

- чем больше диаметр вальца, тем меньшее влияние на степень уплотнения оказывает изменение линейного удельного давления;

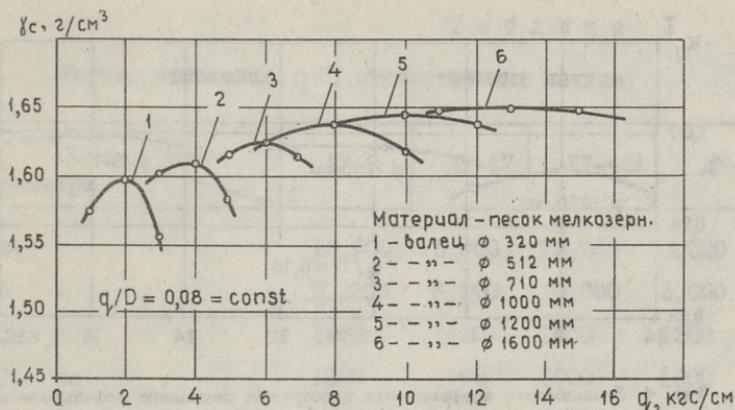
- максимум уплотнения соответствует не произвольному значению линейного удельного давления, а некоторому оптимальному его значению; причем и диаметр вальца оказывает существенное влияние на качество уплотнения;

- с уменьшением диаметра вальца и с нарушением оптимального значения удельного линейного давления по-видимому горизонтальные усилия увеличиваются, что приводит к сдвигу уплотняемого материала и снижает качество укатки;

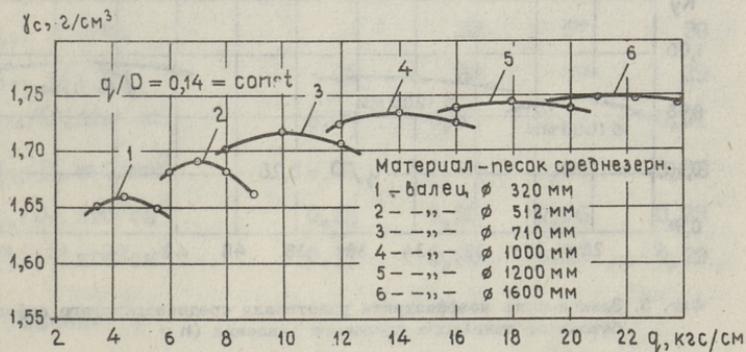
- между удельным линейным давлением и диаметром вальца существует оптимальное соотношение, при котором достигается наибольшая плотность и сдвиг уплотняемого материала будет минимальным;

- для каждого вида материала существует свое, приблизительно постоянное соотношение q/D , которое увеличивается лишь с увеличением прочностных свойств уплотняемых материалов, и, следовательно, для данного материала контактное давление на квадратную контактную площадь при всех диаметрах вальцев будет одинаковым;

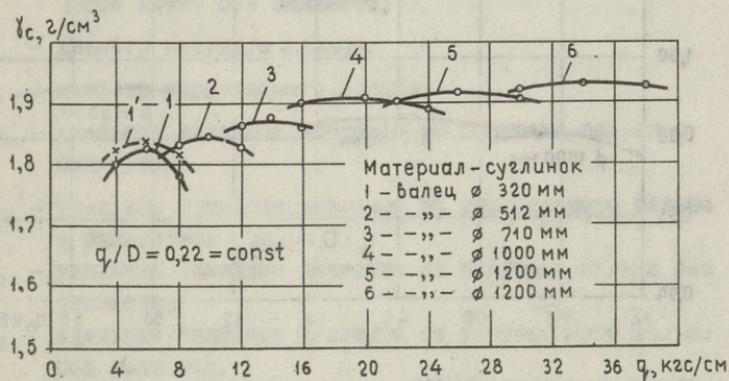
- для различных дорожно-строительных материалов отношение удельного линейного давления к диаметру вальца (q/D) находится в пределах 0,10...0,36;



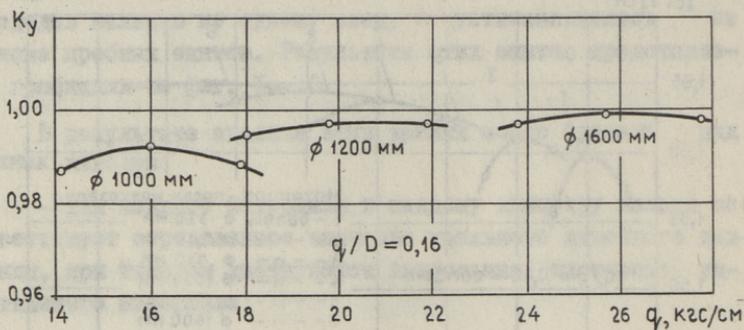
Фиг. 1. Зависимость объемной массы скелета мелкозернистого песка от линейного удельного давления ($n = 10$).



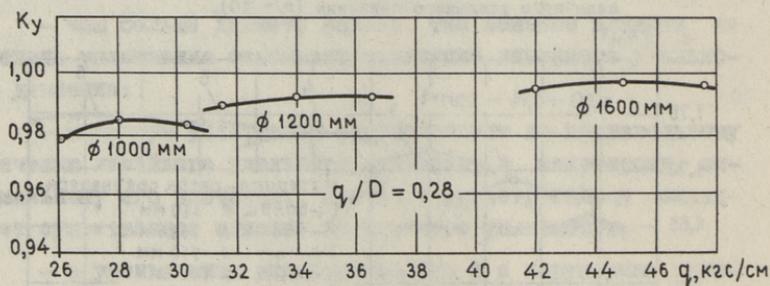
Фиг. 2. Зависимость объемной массы скелета среднезернистого песка от линейного удельного давления ($n = 12$).



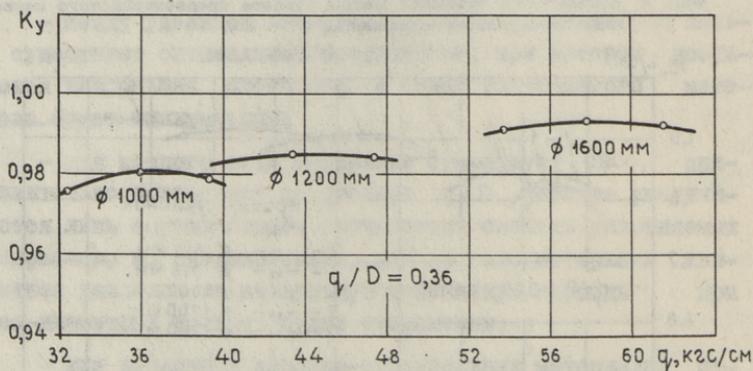
Фиг. 3. Зависимость объемной массы скелета грунта от линейного удельного давления ($n = 15$).



Фиг. 4. Зависимость коэффициента уплотнения песчаного асфальтобетона от линейного удельного давления ($n = 15$).



Фиг. 5. Зависимость коэффициента уплотнения среднезернистого асфальтобетона от линейного удельного давления ($n = 20$).



Фиг. 6. Зависимость коэффициента уплотнения крупнозернистого асфальтобетона от линейного удельного давления ($n = 25$).

Т а б л и ц а I

Расчет отношения q/D отечественных катков

Тип Параметры	ДУ-9	ДУ-47	ДУ-48А	ДУ-50
G_b , т	18,000	8,000	13,000	8,000
G , т	10,290	6,000	10,000	6,000
D_b , мм	1600	1200	1600	1300
D_y , мм	1300	1000	1000	1000
q_{bb} , кгс/см	60	40	75	40
q_{by} , кгс/см	40	27	50	38
q_b , кгс/см	34	30	57	30
q_y , кгс/см	23	20	39	29
q_{bb}/D_b , кгс/см ²	0,37	0,33	0,47	0,31
q_{by}/D_y , кгс/см ²	0,31	0,27	0,50	0,38
q_b/D_b , кгс/см ²	0,21	0,25	0,36	0,23
q_y/D_y , кгс/см ²	0,17	0,20	0,39	0,29

Обозначения:

 G_b - масса катка с балластом; G - масса катка без балласта; D_b - диаметр ведущего вальца; D_y - диаметр управляемого вальца; q_{bb} - удельное линейное давление от ведущего вальца с балластом; q_{by} - удельное линейное давление от управляемого вальца с балластом; q_b - удельное линейное давление от ведущего вальца без балласта; q_y - удельное линейное давление от управляемого вальца без балласта.

- диаметры валцов 320, 512 и 710 мм не годятся ни для прицепных, ни для самоходных катков, а валец диаметром 1000 мм может быть использован лишь на самоходных катках в качестве ведущих рабочих органов;

- наиболее эффективным диаметром вальца для всех типов катков является $D = 1600$ мм и, не только с точки зрения качества уплотнения, но и с точки зрения минимального времени реверсирования катка [2].

Опыты, проведенные по уплотнению связного грунта ведущими вальцами, показали (фиг. 3), что кривые уплотнения (см. кривая I') не имеют такого ярко выраженного характера, как кривые уплотнения ведомыми вальцами. Однако и в случае ведущих валцов существует также эффективный диапазон линейных удельных давлений для различных диаметров валцов, при которых достигается наибольшее уплотнение.

Интерес представляет сопоставление полученных нами результатов с реальными катками, выпускаемыми отечественной промышленностью. Для анализа и сопоставления исследуемых параметров отечественных гладковальцовых катков с вышеприведенными результатами составлена таблица I. Как видно, диаметры ведущих валцов, в основном, соответствуют результатам исследований, что, однако, нельзя сказать по отношению ведомых, т.е. управляемых валцов.

Из фиг. I...6 имеем для различных материалов следующие оптимальные значения q/D :

песок мелкозернистый	- 0,08
песок среднезернистый	- 0,14
асфальтобетон песчаный	- 0,16
суглинок	- 0,22
асфальтобетон среднезернистый	- 0,28
асфальтобетон крупнозернистый	- 0,36

Сравнение этих данных с данными, приведенными в таблице I, показывает, что отечественные катки не могут быть с успехом использованы для уплотнения песков и песчаных асфальтобетонных смесей из-за больших значений линейных удельных давлений. Как видно, отечественные гладковальцовые катки по показателю q/D пригодны, в основном, для уплотнения средне- и крупнозернистых асфальтобетонных сме-

сей, что, однако, нельзя сказать по отношению катка ДУ-48А. Это объясняется тем, что величина удельных давлений катка ДУ-48А, и особенно от ведомого вальца, явно завышена.

Об этом свидетельствуют не только результаты наших исследований, но и обследования катков ДУ-48А в эксплуатационных условиях [3]. Вследствие высоких удельных давлений эксплуатационники вынуждены производить укатку даже крупнозернистых асфальтобетонных смесей без догрузки катка балластом, так как все уплотняемые материалы подвергаются дроблению [3].

Таким образом, вышеприведенные результаты исследований по выбору диаметра вальца и линейного удельного давления позволяют оценить уплотняющую способность существующих гладковальцовых катков, выбрать подходящую машину в эксплуатационных условиях и обосновать указанные параметры для создаваемых новых дорожных катков. Следовательно, приведенные в данной статье результаты исследований должны представить определенный интерес как для создателей, так и для эксплуатационников дорожных катков.

Л и т е р а т у р а

1. Антипов Л.А., Лувинчук Ю.А., Путьк А.И. Стенд для исследования рабочих органов катков и двигателей дорожно-строительных машин. - Тр.Таллинск. политехн. ин-та, № 351, 1973, с. 89-97.

2. Бромберг Ю.А., Гольдштейн В.М. Исследование процесса реверсирования моторного катка. - Тр. ВНИИСТРОЙДОРМАШ. Сер. I. "Строительные и дорожные машины", М., 1965, с. 60-77.

3. Иванников В.В. и др. Исследование катков ДУ-47А и ДУ-48А в эксплуатационных условиях. Отчет по теме № 4176, ЦНИИОМТЦ, М., 1978, 193 с.

V. Denissov, A. Putk

The Choice of Some Parameters for the Working Members
of the Smooth-Wheel Rollers

Summary

The paper includes the results of experimental investigations into choosing the diameter and the specific linear pressure of the working members of the smooth-wheel roller. As a result of the research a definite regularity between the linear pressure and the diameter of the roller has been found out. Depending on the compactible materials the relationship between the pressure and the roller is within the limits of 0.10...0.36.

The results obtained make it possible to estimate the compacting properties of the road rollers with the existing metal rollers, to choose them in the compacting process, and to substantiate the parameters in designing new road rollers.

А. И. Путьк

КРИВОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПНЕВМОКОЛЕСНЫХ КАТКОВ
С ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ РАМОЙ

Основным направлением в развитии самоходных катков на ближайшие годы является создание семейств унифицированных комбинированных и пневмоколесных катков [1]. Все эти машины, за исключением одного пневмоколесного катка, имеют шарнирно-сочлененную раму.

В настоящее время в СССР изготовлены уже первые два опытно-промышленных образца комбинированных катков, а в стадии проектирования находятся пневмоколесные катки. Однако способность этих машин работать и передвигаться на криволинейных участках дорог, а также в стесненных условиях еще не изучена.

Поэтому в данной статье приводятся результаты исследований по кинематике поворота и маневренности одного типа вышеуказанных машин — пневмоколесных катков с шарнирно-сочлененной рамой. Поскольку скорость движения катка при подходе к повороту и на повороте мала, то переходные кривые с изменяющимися радиусами поворота имеют малую длину. Это обстоятельство дает право пренебречь входной и выходной переходными кривыми и считать, что поворот осуществляется по круговой траектории, как это принято многими исследователями [2, 3, 4, 5].

Радиусы поворота центров рабочих органов (фиг. 1) определяем по следующим формулам [6]:

$$R_1 = \frac{l_1 \cos \varphi + l_2}{\sin \varphi}, \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{l_2 \cos \varphi + l_1}{\sin \varphi}. \quad (2)$$

При движении катка по круговой кривой происходит смещение центра пневматических колес одного рабочего органа по отношению к центру другого рабочего органа ψ_1 , если $l_1 \neq l_2$.

В случае $l_1 > l_2$ смещение центров рабочих органов ψ_1 определяется по формуле

$$\psi_1 = R_2 - R_1. \quad (3)$$

Подставляя значения R_1 и R_2 из (1) и (2) в (3), получим

$$\psi_1 = \frac{l_2 \cos \varphi + l_1}{\sin \varphi} - \frac{l_1 \cos \varphi + l_2}{\sin \varphi},$$

или

$$\psi_1 = \frac{(l_1 - l_2)(1 - \cos \varphi)}{\sin \varphi} = (l_1 - l_2) \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}. \quad (4)$$

Если $l_1 < l_2$ то $\psi_1 = R_1 - R_2$, или

$$\psi_1 = (l_2 - l_1) \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}. \quad (5)$$

Общая формула для обоих случаев ($l_1 > l_2$ или $l_1 < l_2$) примет вид

$$\psi_1 = |l_1 - l_2| \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}, \quad (6)$$

причем при $l_1 > l_2$ центр второго рабочего органа перемещается от центра поворота O на величину ψ_1 , а при $l_1 < l_2$ он перемещается в сторону центра поворота O на величину ψ_1 . Если $l_1 = l_2$, то $\psi_1 = 0$.

В общем случае может происходить увеличение ширины уплотняемой полосы ψ_2 , если при $l_1 > l_2$ наружный радиус поворота второго рабочего органа больше наружного радиуса первого рабочего органа, т.е. $R_{n2} > R_{n1}$, или при $l_1 < l_2$ внутренний радиус первого рабочего органа больше внутреннего радиуса второго рабочего органа, т.е. $R_{b1} > R_{b2}$ (см. фиг. I). Следовательно, увеличение ширины уплотняемой полосы определяется по формулам

при $l_1 > l_2$
$$\psi_2 = R_{n2} - R_{n1}, \quad (7)$$

при $l_1 < l_2$
$$\psi_2 = R_{b1} - R_{b2}. \quad (8)$$

Из фиг. I видно, что $R_{n2} = R_2 + 0,5 B_2$, $R_{n1} = R_1 + 0,5 B_1$,

$$R_{b1} = R_1 - 0,5 B_1 \text{ и } R_{b2} = R_2 - 0,5 B_2.$$

Подставляя эти значения в формулы (7) и (8), и учитывая (3) получим общую формулу для определения увеличения ширины уплотняемой полос.

$$\psi_2 = |\psi_1| - 0,5(B_1 - B_2). \quad (9)$$

Если ширина беговой дорожки шины B_0 равна расстоянию между шинами e , и обозначив число пневмоколес первого рабочего органа через n , а второго — m , то

$$B_1 = nB_0 + (n-1)e \quad \text{и} \quad B_2 = mB_0 + (m-1)e, \quad (10)$$

тогда $0,5(B_1 - B_2) = 0,5(n-m)(B_0 + e)$.

Подставляя полученное значение в (9), получим

$$\psi_2 = |\psi_1| - 0,5(n-m)(B_0 + e). \quad (11)$$

Обычно $n-m=1$ и если $B_0=e$, то формула (11) примет вид

$$\psi_2 = |\psi_1| - B_0. \quad (12)$$

Если $\psi_2 < 0$, то это означает, что наружная граница следа второго рабочего органа не выступает за пределы следа первого рабочего органа, а смещена на величину ψ_2 от наружной границы следа первого рабочего органа к центру второго рабочего органа.

Целесообразно исследовать, при каких же условиях $\psi_2 > 0$?

С учетом формулы (6), напишем условие, при котором $\psi_2 > 0$:

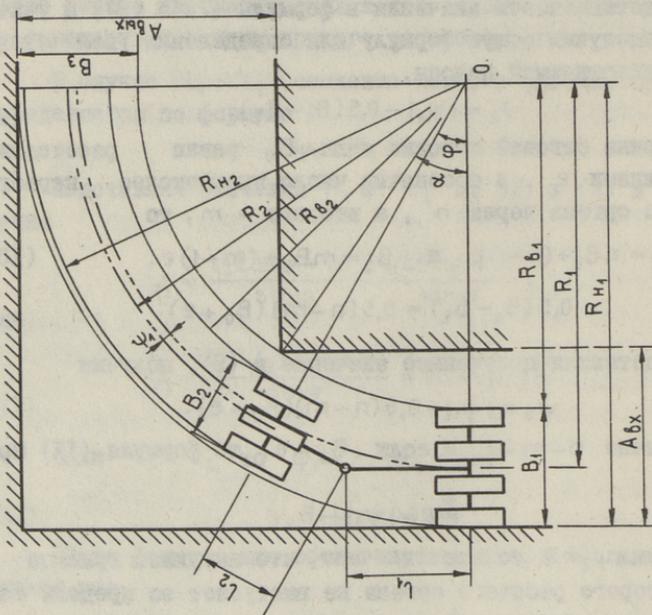
$$\psi_2 = |\psi_1| - B_0 = |l_1 - l_2| \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} - B_0 > 0$$

откуда

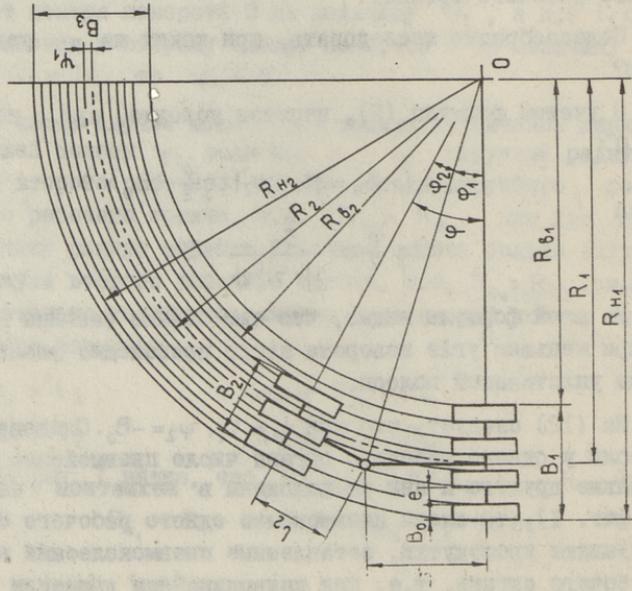
$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} > \frac{B_0}{|l_1 - l_2|}. \quad (13)$$

Из этой формулы видно, что чем больше разница $(l_1 - l_2)$, тем при меньшем угле поворота катка происходит увеличение ширины уплотняемой полос.

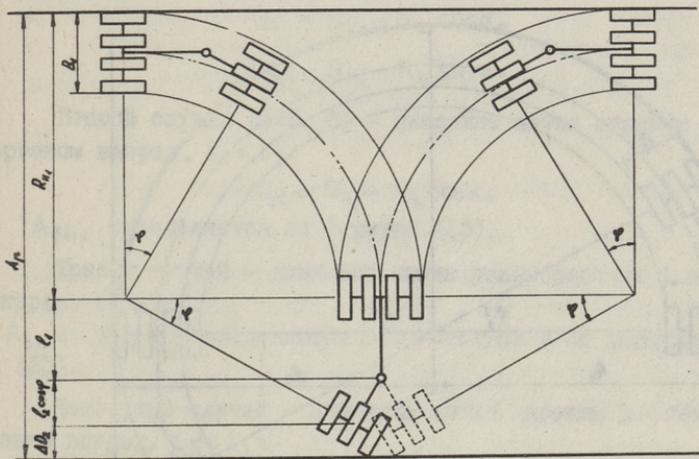
Из (12) следует, что при $l_1 = l_2$, $\psi_2 = -B_0$. Следовательно, если у одного рабочего органа число пневмоколес на одно больше другого и они расположены в шахматном порядке (см. фиг. I), то следы пневмоколес одного рабочего органа перекрывают промежутки, оставленные пневмоколесами второго рабочего органа, т.е. при криволинейном движении тако-



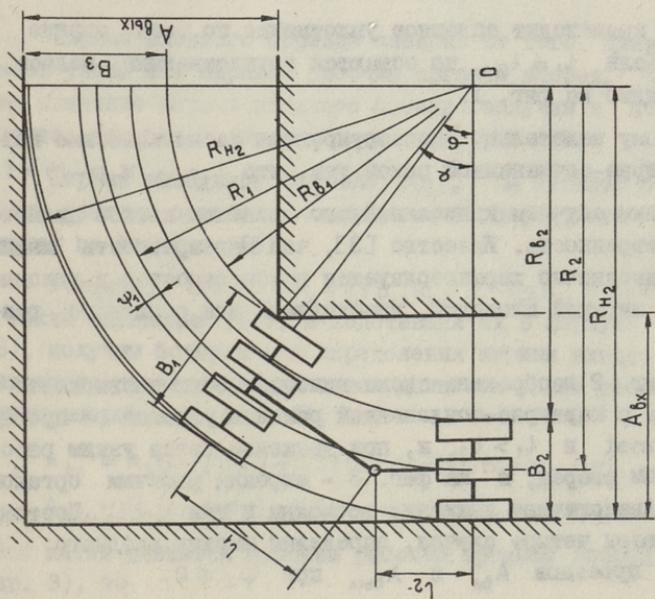
Фиг. 2. Схема вынуждаемости катка в угловой проезд узким рабочим органом вперед ($l_1 - l_2$).



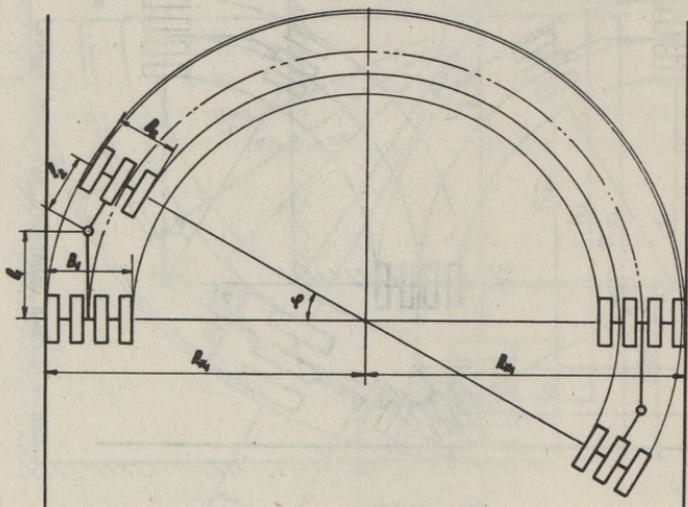
Фиг. 1. Расчетная схема катка ($l_1 - l_2$).



Фиг. 4. Схема обратного разворота катка.



Фиг. 3. Схема вписываемости катка в угловой проезд широким рабочим органом вперед ($l_1 - l_2$)



Фиг. 5. Схема поворота катка на 180° и более.

го катка происходит сплошное уплотнение по всей ширине захвата. Если $l_1 \neq l_2$, то остаются неуплотненные полосы, как это видно на фиг. 1.

Поэтому желательно сконструировать пневмоколесные катки с шарнирно-сочлененной рамой так, что $l_1 = l_2$ и $n - m = 1$.

Частным случаем криволинейного движения катков является их маневренность. Известно [3], что маневренность машин полно и однозначно характеризуется вписываемостью в угловые проезды и шириной площадки, необходимой для обратного разворота.

На фиг. 2 изображена схема вписываемости пневмоколесного катка с шарнирно-сочлененной рамой в угловой проезд при $\varphi = \text{const}$ и $l_1 > l_2$ и, при движении катка узким рабочим органом вперед, а на фиг. 3 - широким рабочим органом вперед. Аналогичные движения возможны и при $l_1 < l_2$. Поэтому рассматриваем четыре случая, определяя ширину входного и выходного проездов $A_{вх}$ и $A_{вых}$ при $\varphi_2 \leq 0$.

Первый случай (фиг. 2) - движение катка узким рабочим органом вперед, $l_1 > l_2$:

$$A_{вх} = R_{н1} - R_{б1} \cos \alpha, \quad (I4)$$

$$A_{вых} = R_{н1} - R_{б1} \sin \alpha. \quad (I5)$$

Второй случай (фиг. 3) - движение катка широким рабочим органом вперед, $l_1 > l_2$:

$$A_{вх} = R_{н2} - R_{б1} \cos \alpha, \quad (I6)$$

а $A_{вых}$ определяется по формуле (I5).

Третий случай - движение катка узким рабочим органом вперед, $l_1 < l_2$:

$A_{вх}$ и $A_{вых}$ определяются соответственно по формулам (I4) и (I5).

Четвертый случай - движение катка широким рабочим органом вперед, $l_1 < l_2$:

$A_{вх}$ и $A_{вых}$ определяются соответственно по формулам (I6) и (I5).

Поскольку в нашем случае $R_{н1} > R_{н2}$, то максимальное значение ширины входного и выходного проездов $A_{вх}$ и $A_{вых}$ определяется по формулам (I4) и (I5).

Ширина входного проезда зависит от того, движется ли каток узким или широким рабочим органом вперед. Наименьшее значение ширины входного проезда получим в последнем случае; которое определяется по формуле (I6).

Ширина выходного проезда $A_{вых}$ не зависит от того, каким рабочим органом движется каток вперед, она определяется по формуле (I5).

Учитывая, что $R_{н1} = R_1 + 0,5 B_1$, $R_{б1} = R_1 - 0,5 B_1$, $R_{н2} = R_2 + 0,5 B_2$, а также выражение (I0), и подставляя их в формулы (I4 ... I6), получим формулы для определения ширины входного и выходного проездов: если каток движется узким рабочим органом вперед (см. фиг. 2), то

$$A_{вх} = R_1(1 - \cos \alpha) + 0,5(1 + \cos \alpha)[n B_0 + (n-1)e], \quad (I7)$$

$$A_{вых} = R_1(1 - \sin \alpha) + 0,5(1 + \sin \alpha)[n B_0 + (n-1)e], \quad (I8)$$

если каток движется широким рабочим органом вперед (см. фиг. 3), то

$$A_{\text{вх}} = R_2 - R_1 \cos \alpha + 0,5 [(B_0 + e)(m + n \cos \alpha) - e(1 + \cos \alpha)], \quad (19)$$

а $A_{\text{вых}}$ определяется по формуле (18).

В случае $B_0 = e$ и $m = n - 1$ вышеприведенные формулы примут более простой вид

$$A_{\text{вх}} = R_1(1 - \cos \alpha) + B_0(n - 0,5)(1 + \cos \alpha), \quad (20)$$

$$A_{\text{вых}} = R_1(1 - \sin \alpha) + B_0(n - 0,5)(1 + \sin \alpha) \quad (21)$$

и при движении катка широким рабочим органом вперед

$$A_{\text{вх}} = R_2 - R_1 \cos \alpha + B_0 [(n - 0,5)(1 + \cos \alpha) - 1]. \quad (22)$$

Обычно угловые прямоугольные проезды возле промышленных и гражданских зданий бывает равноширокые. В этом случае $\alpha = 45^\circ$ и $\cos \alpha = \sin \alpha \approx 0,7$ и, вместо формул (20... 22) получим одну общую, независимо от того, каким рабочим органом движется каток вперед:

$$A_{\text{вх}} = A_{\text{вых}} = 0,3 R_1 + 0,85 B_0(2n - 1). \quad (23)$$

Минимальная ширина площадки, необходимой для обратного разворота пневмоколесного катка с шарнирно-сочлененной рамой, согласно расчетной схеме, изображенной на фиг. 4, в случае $l_1 > l_2$ и при движении катка узким рабочим органом вперед, определяется по формуле

$$A_{\text{пу}} = R_{H_1} + l_1 + l_2 \cos \varphi + \Delta D_2, \quad (24)$$

а в случае движения широким рабочим органом вперед

$$A_{\text{р,ш}} = R_{H_2} + l_2 + l_1 \cos \varphi + \Delta D_1. \quad (25)$$

В этих формулах:

$$\Delta D_1 = 0,5 B_1 \sin \varphi + 0,5 D_1 \cos \varphi, \quad (26)$$

$$\Delta D_2 = 0,5 B_2 \sin \varphi + 0,5 D_2 \cos \varphi, \quad (27)$$

где D_1 и D_2 - диаметры пневмоколес первого и второго рабочих органов.

В случае $D_1 = D_2 = D$, $n = m + 1$ и $B = e$ [см. (10)], вышеприведенные формулы для определения ΔD_1 и ΔD_2 примут вид

$$\Delta D_1 = 0,5 [B_0(2n - 1) \sin \varphi + D \cos \varphi], \quad (28)$$

$$\Delta D_2 = 0,5 [B_0(2n - 3) \sin \varphi + D \cos \varphi], \quad (29)$$

откуда следует, что $\Delta D_1 > \Delta D_2$.

Определяем, когда ширина A_p имеет минимальное значение: либо при движении катка узким или широким рабочим органом вперед, либо при $l_1 > l_2$ или $l_1 < l_2$.

Выражая разность $A_{p,y} - A_{p,w}$ через ΔA_p , т.е. $\Delta A_p = A_{p,y} - A_{p,w}$ и учитывая (5), (10), (28) и (29), получим

$$\Delta A_p = R_{H_1} + l_1 + l_2 \cos \varphi + \Delta D_2 - R_{H_2} - l_2 - l_1 \cos \varphi - \Delta D_1 = \\ = (l_2 - l_1) \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + (l_1 - l_2)(1 - \cos \varphi) + B_0(1 - \sin \varphi). \quad (30)$$

На основании этой формулы нельзя однозначно утверждать, что при таком движении A_p будет минимальной, так как это зависит от соотношения l_1/l_2 и угла поворота φ .

Поскольку $\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} > 1 - \cos \varphi$, то при $l_1 > l_2$ сумма двух первых членов формулы (30) будет отрицательной, а при $l_1 < l_2$ — положительной. Следовательно, при $l_1 < l_2$ меньшее значение A_p получается при движении катка широким рабочим органом вперед ($\Delta A_p > 0$), а при $l_1 > l_2$ только в том случае, если $(l_1 - l_2)(1 - \cos \varphi) + B_0(1 - \sin \varphi) > |l_2 - l_1| \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$.

Но эта разница в ширине площадки для обратного разворота не является существенной и в конкретных условиях не превышает 0,2 м.

Если $l_1 = l_2$, то $\Delta A_p = B_0(1 - \sin \varphi)$ и она уменьшается с увеличением угла поворота катка.

Маневренность катков оценивается также шириной площадки для кругового поворота. Из фиг. 5 видно, что при движении катка узким рабочим органом вперед ширина площадки для осуществления кругового поворота будет

$$A_{кр,y} = 2R_{H_1}, \quad (31)$$

а при движении широким рабочим органом вперед она будет несколько меньше

$$A_{кр,w} = R_{H_2} + R_{H_1}. \quad (32)$$

С учетом $R_{H_1} = R_1 + 0,5B_1$ и $R_{H_2} = R_2 + 0,5B_2$, а также выражений (1), (2) и (10), вышеприведенные формулы примут вид

$$A_{кр,y} = 2 \frac{l_1 \cos \varphi + l_2}{\sin \varphi} + nB_0 + (n-1)e, \quad (33)$$

$$A_{кр,w} = (l_1 + l_2) \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} + 0,5 [B_0(n+m) + e(n+m-2)]. \quad (34)$$

Если $B_0 = e$ и $n-m=1$, тогда

$$A_{кр,y} = 2 \frac{l_1 \cos \varphi + l_2}{\sin \varphi} + B_0(2n-1), \quad (35)$$

$$A_{кр,ш} = (l_1 + l_2) \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} + 2B_0(n-1). \quad (36)$$

Разница в ширине площадки для кругового поворота

$$\Delta A_{кр} = A_{кр,y} - A_{кр,ш} = R_{н_1} - R_{н_2},$$

и с учетом (5) и (10)

$$\Delta A_{кр} = (l_2 - l_1) \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + B_0. \quad (37)$$

При $l_1 > l_2$ первый член формулы (37) имеет отрицательное значение, при $l_1 < l_2$ — положительное. Следовательно, разница $\Delta A_{кр}$ будет больше при $l_1 < l_2$, а в случае $l_1 = l_2$, $\Delta A_{кр} = B_0$.

Приведенный здесь метод оценки криволинейного движения и маневренности может быть применен и для других типов самоходных дорожных катков с шарнирно-сочлененной рамой при решении ряда практических задач: въезд катка на дорогу и перекрестки; маневрирование на местах стоянки и в гаражах; уплотнение материалов S-образных и кольцеобразных участков дорог, угловых проездов и др.

Л и т е р а т у р а

1. В а р г а н о в С.А., О к у н е в В.И. Состояние и перспективы развития самоходных катков для уплотнения грунтов и дорожных покрытий. — Строительные и дорожные машины, 1977, № 3, с. 27-30.

2. М а р г о л и н И.И. Криволинейное движение автопоезда. — Автомобильная промышленность, 1972, № 2, с. 21-23.

3. З а к и н Я.Х., Д о н с к о й В.М. Анализ маневренности строительных машин. — Механизация строительства, 1968, № 3, с. 4-8.

4. С и г а л Я.Е. О вписываемости в прямоугольные повороты мобильных башенных кранов при транспортировке. — Строительные и дорожные машины, 1973, № 6, с. 5-7.

5. С и г а л Я.Е. Расчет ширины проездов при транспортировке мобильных башенных кранов. - Строительные и дорожные машины, 1976, № 1, с. 15-17.

6. Б р я н с к и й Ю.А., и др. Кинематика поворота колесных машин с шарнирно-сочлененной рамой. - Строительные и дорожные машины, 1970, № 2, с. 15-17.

A. Putk

Schieflineare Bewegung der Gummiradwalzen mit
scharnierverbundenem Rahmen

Zusammenfassung

In vorliegenden Artikel werden Berechnungsformeln zum Bestimmen der Parameter der schieflinearen Bewegung und zur Schätzung der Manövrierfähigkeit der selbstfahrenden Gummiradwalzen mit scharnierverbundenem Rahmen angeführt.

Die rekommandierten Formeln sind von grosser praktischer Bedeutung, weil sie mit gutem Erfolg auch zur Bestimmung der Bewegungsparameter von anderen Typen der selbstfahrenden Strassenwalzen und zur Schätzung ihrer Manövrierfähigkeit angewendet werden können.

С о д е р ж а н и е

1.	Сегеркранц В.М. Усовершенствование методов проектирования организации движения на автомобильных дорогах.	3
2.	Мяги Х.А. Система программ на языке ФОРТРАН для вариантного проектирования автомобильных дорог на ЭВМ.	15
3.	Росте И.А., Сегеркранц В.М. Информация водителя о пешеходах.	27
4.	Метсвахи Т.Х., Пихлак И.О. Методические вопросы разработки транспортных моделей для городов.	35
5.	Сюрье П.Л. Экспериментальный контроль новой методики по выбору толщины уплотняемого слоя грунта.	47
6.	Мыйсник К.М. Обобщающий параметр рабочих органов кулачковых катков.	61
7.	Вахелайд О.А. Метод стандартного уплотнения крупнозернистых дорожно-строительных материалов.	69
8.	Денисов В.В., Цутк А.И. Выбор некоторых параметров рабочих органов гладковальцовых дорожных катков.	75
9.	Цутк А.И. Криволинейное движение пневмоколесных катков с шарнирно-сочлененной рамой. . .	83



ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Труды ТПИ № 486
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА
ЭСТОНСКОЙ ССР В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ АВТОМОБИЛИЗАЦИИ
Автомобильные дороги . Автомобильный транспорт XI

Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 7 февраля 1980 г.
Редактор П. Тико. Техн. ред. М. Тамме

Подписано к печати 4 ноября 1980 г.
Бумага 80x90/16. Печ. л. 8,0 + 0,25 приложение. Уч.-изд. л. 4,83.
Тираж 300. МВ-09023. Ротапринт ТПИ, Таллин, ул. Коскла, 2/9.
Зак. № 573. Цена 75 коп.



Цена 75 коп.