

Ep. 6.7  
446

TALLINNA  
POLÜTEHNILISE INSTITUUDI  
TOIMETISED  
446

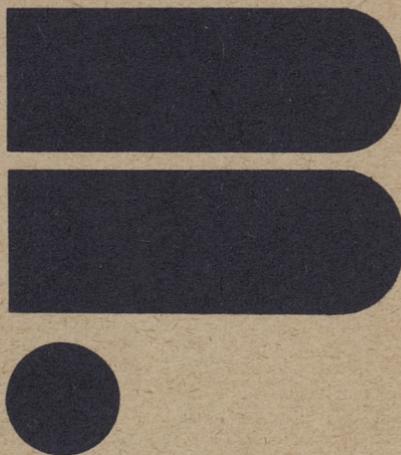
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО  
ИНСТИТУТА

TALLINN

ТРИ  
'78

Автомобильные дороги.  
Автомобильный транспорт 1X

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





446

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

1  
ТРИ  
'78

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 528.48, 624.15, 625.7, 691.31

Автомобильные дороги. Автомобильный транспорт 1X

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

Таллин 1978

78  
79

1978. aastal toimunud üldkoguse protokoll



УДК 625.7

И.А.Росте, В.М.Сегеркранц

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВА ПРОИСШЕСТВИЙ  
НА ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ ГОРОДСКИХ УЛИЦ

Рост общего количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в Эстонской ССР за последние годы возрос в основном за счет городов. За IX пятилетку в городах количество ДТП возросло на 32,2%, на дорогах 4,2%, в городе Таллин 47,0%.

В таблице I приводятся данные о динамике ДТП в Эстонской ССР за период 1974-1976. Как видим, на города республиканского подчинения падает 40,7% от всех учетных ДТП, от количества жертв 35,5% и от количества погибших 27,3%. От количества ДТП, совершенных в республиканских городах, на Таллин падает 76,2%, хотя доля Таллина по численности населения этих городов составляет только 57,1%. На другие города приходится незначительное количество ДТП.

Из приведенного следует, что движение в городах республики и особенно в Таллине является довольно опасным и требуется проведение серьезных мероприятий для повышения безопасности. Следует отметить, что тяжесть ДТП в городах несколько ниже, чем на автомобильных дорогах.

В таблице 2 приводятся данные о тяжести ДТП. Как видим из таблицы 2, только в Таллине доля тяжелых ДТП меньше, чем по республике в среднем. В других городах этот показатель больше, чем по республике в среднем.

Городское движение сложнее, чем загородное на автомобильных дорогах. Интенсивность движения большая, пешеходное движение и пересечения улиц вызывают конфликтные ситуации, которые часто ведут к авариям.

Т а б л и ц а 1

## Расчетные ДТП в ЭССР

Место	Число ДТП			Число пострадавших		
	1974	1975	1976	1974	1975	1976
ЭССР	2341	2558	2508	2120	2370	2135
Районы	1447	1522	1486	1360	1528	1350
Города республиканского подчинения	894	1036	1022	760	842	785
в % от общего числа	38,2	40,5	40,7	35,8	35,5	36,8
в том числе						
Таллин	642	789	786	503	614	558
в % от общего числа	27,4	30,8	31,3	23,7	25,9	26,1
в % от городских ДТП	71,8	76,2	76,9	66,2	72,9	71,1
Кохтла-Ярве	38	44	44	36	45	38
Пярну	60	43	55	63	37	48
Тарту	120	104	90	116	88	90

Т а б л и ц а 2

## Тяжелые ДТП в ЭССР в 1976 г.

Место	Число тяжелых ДТП	В % от общего числа ДТП	Число пострадавших в 100 тяж. ДТП	Число погибших в 100 тяж. ДТП
ЭССР	1773	70,7	120,4	14,9
Районы	1118	75,2	120,8	17,2
Города республиканского подчинения	655	64,1	119,8	11,0
В том числе				
Таллин	465	59,2	120,0	8,6
Кохтла-Ярве	34	77,3	118,8	20,6
Пярну	40	72,7	120,0	17,5
Тарту	76	84,4	118,4	11,8

Проведенные исследования реакции водителя в разных условиях показывают, что продолжительность ее зависит от вида сигнала и его информационной емкости [1, 2].

Из этих исследований следует, что при движении транспорта может случиться ситуация, реакция на которую потребует больше времени, чем принимается при традиционном проектировании.

Нами разработана методика оценки информационной емкости разных дорожных ситуаций [3, 4]. Полученные результаты показали, что при движении транспорта может иметь место ситуация, когда требуемое время реакции больше имеющегося в распоряжении водителя. Вызвано это тем, что информационная емкость ситуации больше возможности приема и обработки этой информации водителем. Именно большая информационная емкость объясняет высокую опасность городского движения.

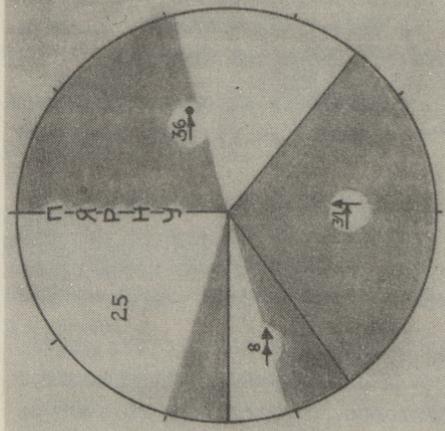
Однако не все районы города одинаково опасны. Как показывает анализ фиг. 1, где приведены данные о ДТП в городах Тарту и Пярну, ~ 60% от ДТП случается на перекрестках. Недостаточно хорошо организовано и пешеходное движение на перекрестках, так как ~ 50% от наездов на пешеходов случается именно здесь.

Например, 40-60% от всех ДТП случается на перекрестках и в Финляндии [5]. Для их условий движения и созданы некоторые модели оценки опасности дорожной ситуации.

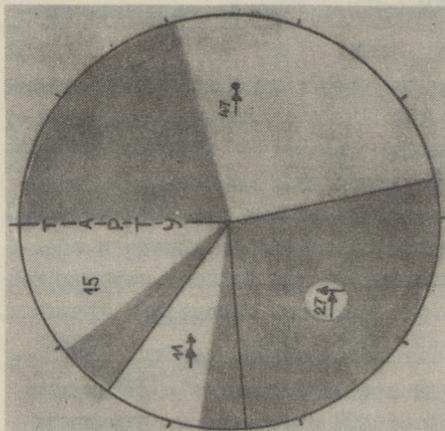
Поэтому для уменьшения аварийности в городах необходимо в первую очередь обратить внимание на условия движения на перекрестках.

Проектируя организацию движения на пересечениях улиц, необходимо прогнозировать влияние новых условий на безопасность движения. Нередки случаи, когда введение новой организации движения может привести к увеличению аварийности.

Нами созданы математические модели для расчета количества ДТП на нерегулируемых и регулируемых перекрестках. На фиг. 2 показан расчет факторов, определяющих количество ДТП. Эти показатели ( $r_1, r_2, r_3$ ) являются функцией от интенсивности пересекающихся потоков движения  $x$  и  $y$ . Учитываются конфликты между следующими потоками: пересекающимися



64% на пересечениях улиц

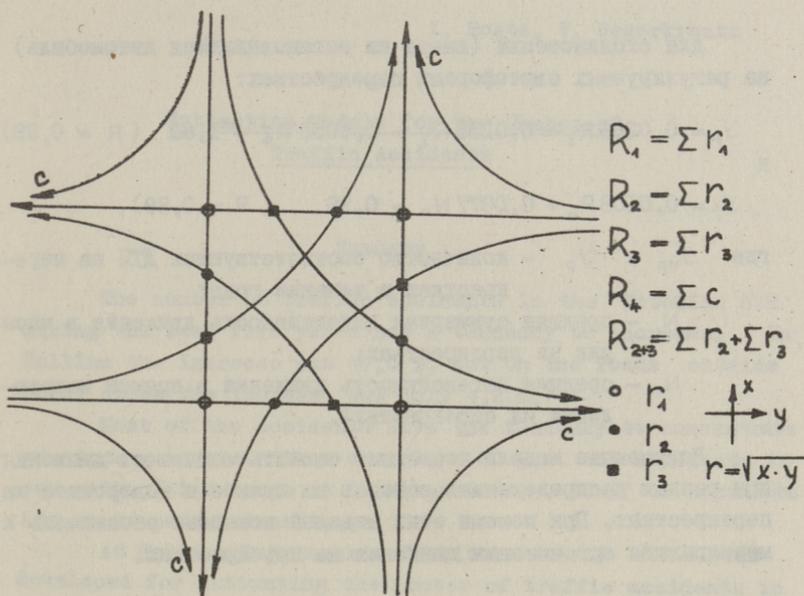


56% на пересечениях улиц

—●— наезда на пешехода  
 —▲— столкновение пешеходов

—▶— наезда на стоящее тр-е  
 ■ ДТП на пересечениях улиц

Фиг. 1. Распределение ДТП по видам столкновения (в %-х).



Фиг. 2. Расчетная схема.

прямыми потоками в 4-х точках ( $r_1$ ), левоповоротными и противоположными прямыми потоками ( $r_2$ ), левоповоротными и пересекающимися прямыми потоками ( $r_3$ ). Определяя для обозначенных на фиг. 2 конфликтных точек соответствующие показатели суммированием определяют показатели для всего пересечения:

$$R_1 = \sum r_1$$

$$R_2 = \sum r_2$$

$$R_3 = \sum r_3$$

$$R_4 = \sum c, \quad R_{2+3} = \sum r_2 + \sum r_3.$$

На основании исследования свойств движения и количества ДТП в основных городах Эстонской ССР получены следующие регрессионные модели:

для количества ДТП на нерегулируемых перекрестках

$$Y_{\text{ДТП}} = 0,00794N + 0,0606R_1 - 0,02410R_{2+3} - 1,929$$

$$(R = 0,90)$$

для столкновений (наезд на остановившийся автомобиль)  
на регулируемых светофорами перекрестках:

$$U_p = 0,0266 R_3 - 0,0133 R_2 - 0,0053 R_4 - 1,62 \quad (R = 0,89)$$

и

$$U_p = 0,0109 R_4 + 0,0077 N_n - 0,96 \quad (R = 0,89),$$

где  $U_{np}$  и  $U_p$  - количество соответствующих ДТП на перекрестках в течение года;

$N$  - средняя суммарная интенсивность движения в часы пик на перекрестках;

$N_n$  - средняя интенсивность движения в прямом направлении на перекрестках.

Полученные модели позволяют оценить опасность движения при разных распределениях потоков на прямое и поворотное на перекрестках. При помощи этих моделей возможно обосновать и мероприятия организации движения на перекрестках.

#### Л и т е р а т у р а

1. Д о б а н о в Е.М. Время реакции водителя. Труды МАДИ. Вып. 95. М., 1975.

2. Б е г м а И.В., Г а в р и л о в Э.В., К а л у ж с к и й Я.А. Учет психофизиологии водителей при проектировании автомобильных дорог. М., "Транспорт", 1976.

3. 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. - Сб. Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции по автомобильным дорогам и геодезии. Таллин, 1976.

4. L e v i n, M., S e g e r k r a n t z, V., S a l u s j ä r v i, M., K u l m a l a, R. The theory of overtaking (Finnish original), Highway Magazine (Tie ja Liikenne), 2, 1976.

5. Kaupunkien liikenneturvallisuuden suunnittelu. Kaupunkiliiton käsikirjoja ja tutkimuksia, C 9 Karkkila (Suomi), 1973.

Estimation Models for the Number of  
Traffic Accidents

Summary

The number of traffic accidents in the Estonian SSR during the last five years has a tendency to increase. In Tallinn the increase was 47.0 %, but on the roads outside rural areas the increase was only 4.2 %.

Most of the accidents have the tendency to concentrate at intersections. For example ~ 60 % of the accidents in our main cities occur at intersections. ~ 50 % of accidents happen to pedestrians there.

At Tallinn Polytechnic Institute models have been developed for estimating the number of traffic accidents in relation to the distribution of traffic flow at an intersection, the volume of traffic per rush hour and regulating the traffic.

The following models for estimating the number of accidents have been developed.

For unregulated intersections:

$$Y_{np} = 0.00794 N + 0.0606 R_1 - 0.02410 R_{2+3} - 1.929.$$

For regulated intersections:

$$Y_p = 0.0206 R_3 - 0.0133 R_2 - 0.0053 R_4 - 1.62$$

where

- N - the volume of traffic per rush hour at an intersection,  
 $R_1, R_2, R_{2+3}, R_4$  - indices that characterize the distribution of traffic flow at any intersection.



УДК 625.7

Т.Х.Метсвахи

### ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СООБРАЖЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

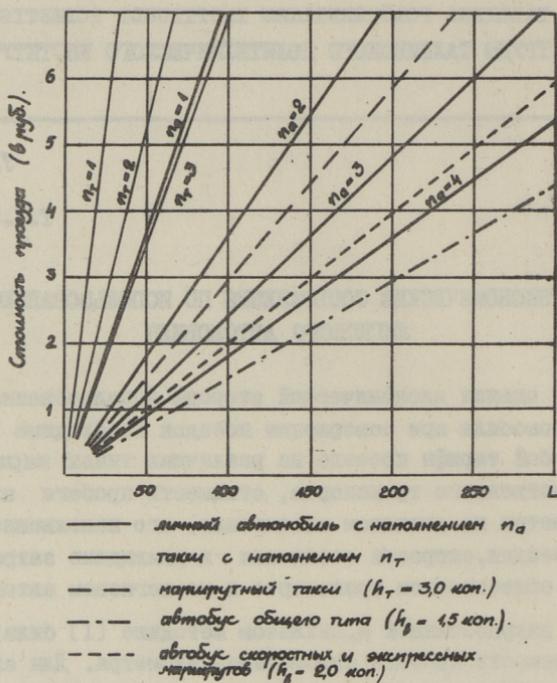
Для оценки экономической стороны использования легкового автомобиля при совершении поездок необходимо увязать между собой тарифы проезда на различных типах маршрутов и вид общественного транспорта, стоимость пробега автомобиле-километра на легковом автомобиле, его наполнение, дальность поездки, скорости сообщения и накладные затраты времени на общественном транспорте и на легковом автомобиле.

По разработанной И.Пихлаком методике [1] была определена стоимость пробега автомобиле-километра. Для автомобилей марки "Жигули" 2101 и 21011 она составила при годовом пробеге 12 тыс. км 7,2 копеек. При увеличении годового пробега стоимость автомобиле-километра уменьшается.

Стоимость пассажироперевозок на различных внегородских автобусных маршрутах [2], маршрутных такси и такси в зависимости от дальности поездки, сопоставлялась со стоимостью проезда одного пассажира при различной наполняемости легкового автомобиля (фиг. 1).

При таком сопоставлении не рассчитана экономия времени при использовании легкового автомобиля. Эта экономия реализуется за счет большей скорости легкового автомобиля и за меньших накладных затрат времени при использовании этого вида транспорта.

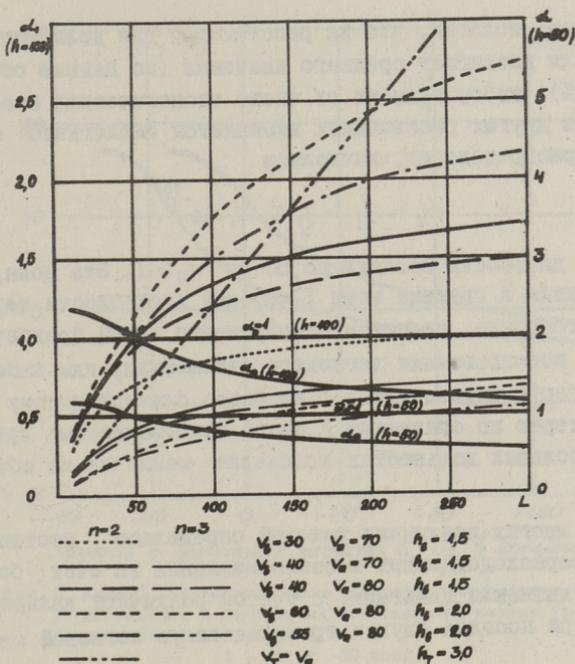
Для того, чтобы учесть все перечисленные факторы, можно выдвинуть ограничительные условия, при которых израсходованные на использование легкового автомобиля деньги не превышали бы цены сэкономленного времени. Выдвинутое условие можно выразить в виде:



Фиг. 1. Стоимость проезда одного пассажира в зависимости от дальности поездки.

$$\alpha = \frac{(h_{ai} - h_b)L}{\left(\frac{L}{V_b} - \frac{L}{V_a} + \beta_b - \beta_a\right)h} < \alpha_0, \quad (I)$$

- где  $h_{ai}$  — стоимость пассажиро-километра на легковом автомобиле при наполнении  $i$ , коп.;
- $h_b$  — цена пассажиро-километра на общественном транспорте, коп. (по тарифам);
- $L$  — дальность поездки, км;
- $V_a$  — скорость сообщения легкового автомобиля, км/ч;
- $V_b$  — скорость сообщения общественного транспорта, км/ч;
- $\beta_a$  — накладные затраты времени при использовании легкового автомобиля, ч;
- $\beta_b$  — накладные затраты времени при использовании общественного транспорта, ч;
- $h$  — цена пассажиро-часа, коп.;
- $\alpha_0$  — критерий оценки.



Фиг. 2. Графическая интерпретация эффективности использования индивидуальных автомобилей в загородных поездках (кривые строились по формуле (1) и (3).

При чисто экономическом критерии  $\alpha_0 = I$  (фиг. 2). Если учесть также удобство езды и другие факторы, влияющие на выбор вида транспорта, то  $\alpha_0 = f(L)$  или  $\alpha_0 = f(t)$ , где  $t$  — время, затраченное на поездку. Можно предположить, что эта функция имеет довольно сложный характер. В данном случае, для примера ее возможный вид найден по показателю распределения числа внегородских поездок между легковыми автомобилями и автобусами. Распределение получено в результате обследования маятниковой миграции города Таллина в 1972 году [3]. Доля поездок легкового автомобиля ( $p$ ) в поездках этих двух видов транспорта в зависимости от дальности поездки изменяется по формуле:

$$p = 72 - 45 e^{-\frac{20}{L}}, \quad (2)$$

где  $L$  — дальность поездки, км;  
 $e$  — основание натурального логарифма.

Далее, полагая, что на расстоянии, где доля легкового автомобиля достигает среднего значения (по данным обследования 61%), выбор зависит от чисто экономического соображения и при других расстояниях изменяется аналогично фактическому распределению, вычисляем

$$\alpha_0 = \frac{P}{61} = 1,18 - 0,74e^{-\frac{70}{L}}. \quad (3)$$

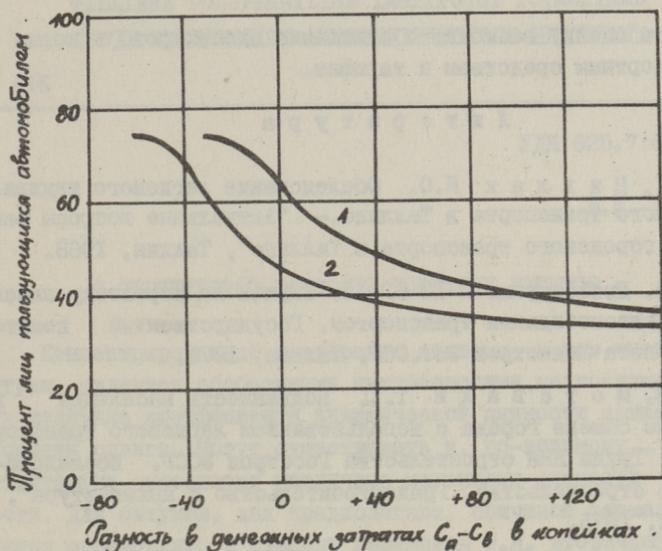
При дальности поездки до 50 км  $\alpha_0 > 1$ . Эта зона, которая близка к границе зоны I-часовой доступности на легковом автомобиле, является одновременно зоной предпочтительного использования легкового автомобиля, где выбор этого транспорта осуществляется по более благоприятному для него критерию по сравнению с чисто экономическим критерием. При больших дальностях положение меняется на обратное (фиг. 2).

Для многих различных условий определено соотношение между перерасходованными и сэкономленными за счет большей скорости движения деньгами, с учетом различной дальности поездок при посадке двух и трех человек в легковой автомобиль.

Для построения конкретных графиков по формуле (1) (фиг. 2) использовались усредненные показатели накладных затрат времени ( $\beta_b = 40$  мин. и  $\beta_a = 10$  мин.). Стоимость пробега автомобиле-километра также средний показатель, а на самом деле зависит от марки и возраста автомобиля, а также от интенсивности использования его и других факторов.

Самой сложной проблемой является оценка стоимости времени пассажира [4]. Так как до сих пор нет единой методики для оценки стоимости пассажира-часа, то расчеты сделаны для двух уровней стоимостей ( $h = 50$  коп. и  $h = 100$  коп.).

Использованные в формулах (1) и (2) факторы позволяют пользоваться методом Института благоустройства и урбанизации Парижского района [5]. Этот метод заключается в объективном анализе действительного поведения пассажиров в целях выявления их субъективных оценок различных условий, определяющих выбор средств транспорта. Метод позволяет построить кривые для доли пассажиров одного из вида транспорта в зависимости от разности времени поездки или в де-



Фиг. 3. Кривые, характеризующие частоту пользования легкового автомобиля в загородных поездках при разных уровнях стоимости пассажиро-часа

1 -  $h = 50$  коп.

2 -  $h = 100$  коп.

(по результатам обследования маятниковой миграции в городе Таллин 1972 г.)

$$C_a = h_{a1} \cdot L + \beta_a \cdot h$$

$$C_b = h_b \cdot L + \left( \frac{L}{V_b} - \frac{L}{V_a} + \beta_b \right) h.$$

#### Нежных затратах между разными видами транспорта.

Усредненные результаты распределения загородных поездок города Таллина в 1972 году приведены на фиг. 3. Характер кривых совпадает с результатами Института благоустройства и урбанизации Парижского района.

Описанные методы оценки экономической стороны использования легкового автомобиля и выбора вида транспорта еще далеки от завершения.

Для использования первого метода нужно установить критерии оценки  $\alpha_0$  для конкретных условий.

Разработка перспективных кривых распределения пассажиров между разными видами транспорта по второй методике (методика Института благоустройства и урбанизации Парижского района) для конкретных групп населения и маршрутов позволя-

ет дать оценку возможного отношения пассажиров к новым транспортным средствам и тарифам.

### Л и т е р а т у р а

1. П и х л а к И.О. Обследование легкового индивидуального транспорта в Таллине.- "Актуальные вопросы развития городского транспорта в Таллине", Таллин, 1968.

2. Прейскурант № 13-02-15. Тарифы на перевозку пассажиров автомобильным транспортом. Государственный комитет цен Совета Министров Эст.ССР, Таллин, 1971.

3. М е т с в а х и Т.Х. Подвижность населения во внешнем обмене города с использованием легкового транспорта. - "Труды НИИ строительства Госстроя ЭССР. Исследования по строительству. Градостроительство и архитектура", Таллин, 1975.

4. В а л м а А.Х. Об оценке стоимости времени пассажира. - "Современное состояние и перспективы развития транспортных систем крупного города", вып. I, Свердловск, 1974.

5. М е р л е н П. Город. Количественные методы изучения (перевод с франц.). М., "Прогресс", 1977.

T. Metsvahi

### Economic Considerations of Passenger Car Use

#### Summary

This paper examines the different levels of the economic sides in the use of passenger cars. The comparison of the travel costs in the different modes of transport takes the lowest level. In the highest level the effect of higher speed and smaller indirect delays of time (journey time minus travel time) and the indicator of comfort in passenger cars have been added.

The paper examines the possibilities of using one method of choosing passenger transport for the prognostication of the flow of passenger distribution between the two modes of transport.

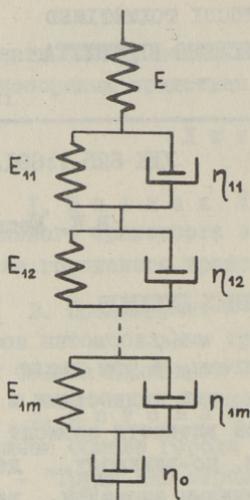
УДК 625.7:691.31

В.К. Меспак

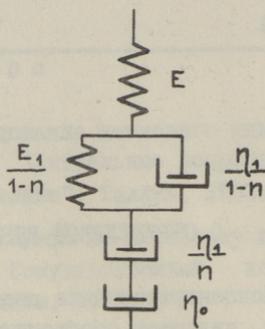
## О СТРУКТУРНОЙ ВЯЗКОСТИ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ

Концентрированные дисперсные системы, в том числе и битумы, являются обобщенными ньютоновскими жидкостями и у них величина коэффициента динамической вязкости зависит от скорости сдвига. Могут существовать и, по-видимому, действительно существуют различные механизмы аномалии вязкости. Для битумов, как предполагают, причиной аномалии является образование и степень нарушения т.н. вторичной структуры, коагуляционных связей между макромолекулами, мицеллами или молекулярными группами [1]. В технологических процессах приготовления и укладки битумо-минеральных смесей и гидроизоляционных материалов мы сталкиваемся с вязкостью частично или полностью нарушенной структуры битумов. Наоборот, эксплуатационные качества вышеупомянутых покрытий зависят в основном от вязкости ненарушенной структуры вяжущих материалов. Поэтому перед исследователями стоят следующие задачи: разработать механические и математические модели битумов, которые как можно точнее описывали бы поведение материала в самых различных положениях нагружения и в то же время допускали бы довести до минимума число реологических параметров, принадлежащих определению испытанием; составить такую систему косвенных показателей вязкости (КПВ), которые описывали бы ту же самую степень нарушения структуры битума. Помимо того, такая система должна иметь максимальную точность, хорошую корреляцию с истинно физическими константами материала и хорошую воспроизводимость.

В настоящий момент не существует единой модели битума, также нет удовлетворяющей всем вышеприведенным требованиям системы КПВ.



Фиг. 1.  
Обобщенная модель для описания поведения структуры дисперсных сред.



Фиг. 2.  
Реологическая модель Бюргера с изменяющимися от степени разрушения вторичной структуры реологическими константами.

Коагуляционные связи, образующие вторичную структуру битума, можно представить как последовательно соединенные кельвиновы элементы в модели Бюргера [2]. Реологическим тождеством является и упрощенная модель, изложенная на фиг. 1. Эти кельвиновы элементы по своим реологическим константам не одинаковы, а образуют целый спектр параметров, в том числе и прочностей. Следует считать, что разброс значений этих параметров подчиняется какому-то закону статистического распределения. Предполагалось, что этим законом является функция статистического распределения Вейбулла [2]. Обозначая долю разрушенных кельвиновых элементов буквой  $n$ , оказывается возможным перейти на более простую модель (фиг. 2), где эффективная вязкость установившегося течения  $\eta_{\text{eff}}$  будет

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{\eta_0 \eta_1}{\eta_1 + n \eta_0}, \quad (I)$$

а доля разрушенных связей согласно уравнению Вейбулла

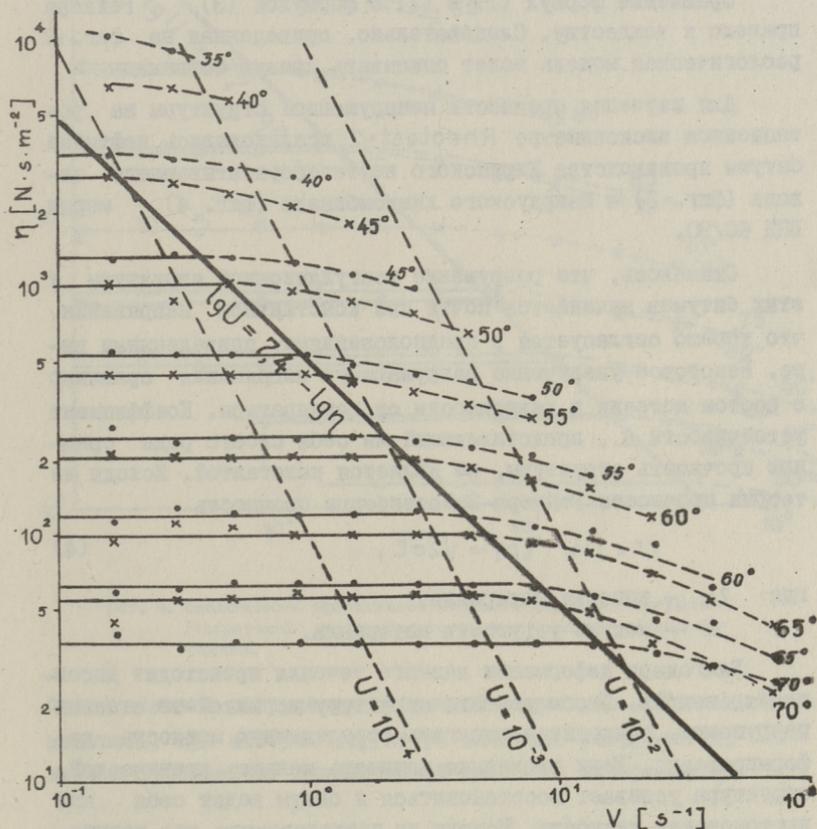
$$n = 1 - \exp[-f(p)], \quad (2)$$

где  $p$  - напряжение, которым нагружается модель.

Рейнер [1] применил для описания кривой Оствальда следующее уравнение (обозначения частично изменены):

$$\varphi_{\text{eff}} = \varphi_{\infty} - (\varphi_{\infty} - \varphi_0) \exp\left(-\frac{p^2}{\chi}\right), \quad (3)$$

где  $\varphi = \eta^{-1}$  - коэффициент текучести;  
 $\chi$  - коэффициент устойчивости.



Фиг. 3. Зависимость эффективной вязкости битумов БНД 60/90 от температуры и скорости сдвига. Разрушение вторичной структуры начинается с достижением значения удельной мощности деформирования  $U$ .

Рейнер и Шенфельд-Рейнер применяли уравнение (3) для описания течения растворов каучука в толуоле в ротационных вискозиметрах. При этом было показано, что экспериментальную кривую нельзя описать простой экспоненциальной функцией, хотя качественное соответствие формулы с опытом ими наблюдалось. Причину следует искать в наличии распределения частиц каучука по размерам.

Сравнение формул (1) и (2) с формулой (3) Рейнера привело к тождеству. Следовательно, приведенная на фиг. 2 реологическая модель может описывать кривую Оствальда.

Для изучения прочности ненарушенной структуры на ротационном вискозиметре Rheotest-2 исследовались нефтяные битумы производства Киришского нефтеперерабатывающего завода (фиг. 3) и Маардуского химкомбината (фиг. 4) марки БНД 60/90.

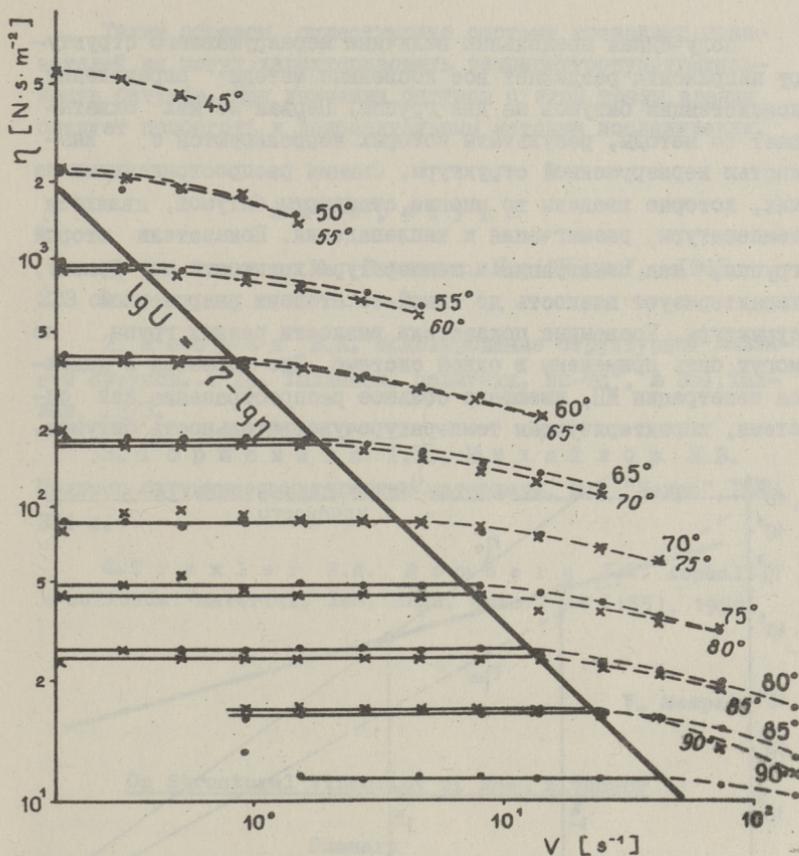
Оказалось, что разрушение коагуляционной структуры у этих битумов начинается почти при константном напряжении, что хорошо согласуется с предположениями, приведенными выше. Некоторое увеличение разрушающего напряжения сравнимо с ростом когезии в зависимости от температуры. Коэффициент устойчивости  $\chi$ , представляющий из себя своего рода среднюю прочность структуры, не является константой. Исходя из теории прочности Рейнера-Вейссенберга прочность

$$[\rho] = \sqrt{2\sigma E}, \quad (4)$$

где  $2\sigma$  - когезия материала;

$E$  - модуль упругости материала.

Благодаря деформации вязкого течения происходит диссипация энергии. Чтобы довести структуру до какой-то степени разрушения, приходится впрягать определенную мощность деформирования. Если введенная мощность меньше критической, структура успевает восстановиться и битум ведет себя как ньютоновская жидкость. Исходя из представления, что испытания необходимо провести при одной и той же степени разрушенности структуры, Тракслер и Ромберг [4] предложили испытывать неньютоновские асфальты при константной величине введенной удельной мощности  $10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-3}$ . Как видно по фиг. 3 и 4, названная мощность действительно не вызывает



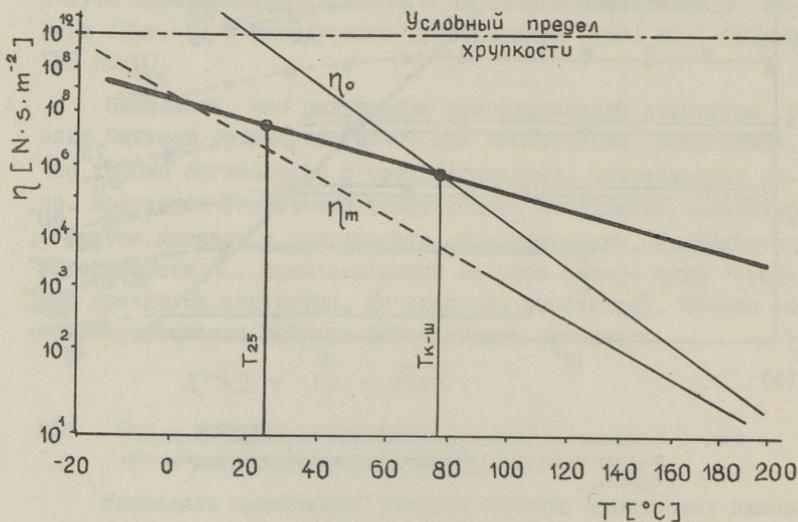
Фиг. 4. Зависимость эффективной вязкости дорожных битумов Маардуского химкомбината от температуры и скорости сдвига.

существенного разрушения вторичной структуры. Предельная мощность, при которой структура начинает разрушаться, является функцией от динамической вязкости материала  $\eta$ :

$$\lg U = A - B \lg \eta, \quad \text{где} \quad A = 7 \div 7,5 \quad (5) \\ B = 0,97 \div 0,998.$$

Данная мощность достигается при постоянном напряжении сдвига  $(3,0 \div 3,5) \cdot 10^2 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$ , что хорошо согласуется с теорией.

Полученная предельная величина неразрушающего структурного напряжения разделяет все косвенные методы определения консистенции битумов на две группы. Первая из них охватывает те методы, результаты которых коррелируются с вязкостью неразрушенной структуры. Самыми распространенными из них, которые введены во многие стандарты битумов, являются температуры размягчения и каплепадения. Показатели второй группы, как пенетрация и температура хрупкости по Фраасу, характеризуют вязкость до какой-то степени разрушенной структуры. Косвенные показатели вязкости разных групп не могут быть применены в одной системе. Это касается и индекса пенетрации ИП, имеющего большое распространение как система, характеризующая температурочувствительность битумов.



Фиг. 5. Зависимости вязкостей ненарушенной структуры  $\eta_0$  и предельно разрушенной структуры  $\eta_m$  от температуры битума БН 70/30.

Толстая линия на фиг. 5 получена при помощи перевода значений пенетрации и температуры размягчения по методу "кольцо и шар", она не совпадает с графиками вязкостей  $\eta_0$  и  $\eta_m$  и не существует прямой корреляции между этими линиями.

Таким образом, существующие системы косвенных показателей не могут характеризовать температурочувствительность битумов. При изучении битумов с этой точки зрения следует прибегать к дополнительным методам исследования.

### Л и т е р а т у р а

1. Рейнер М. Реология. М., "Наука", 1965, 223 с.
2. Меспак В.К. Моделирование структурной вязкости битумов. — "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", № 351, Таллин, 1973.
3. Горшенина Г.И., Михайлов Н.В. Полимер-битумные изоляционные материалы. М., "Недра", 1967, 231 с.
4. Трахлер R.N., Romberg J.W. Asphalt, a colloidal material. Ind. Engr. Chem., 44 (155), 1952.

V. Mespak

### On Structural Viscosity of Road Bitumens

#### Summary

The author has studied some road bitumens in the rotary viscometer 'Rheotest 2' and reached the conclusion that the destruction of secondary structure takes place when the applied power exceeds a certain value. The experimental data show that the rheological behaviour of bitumens can be described by the generalized mechanical model of Burgers.

As a conclusion the maximum nondestructing strain for planning the indirect viscosity determining methods is offered.



УДК 624.15.044+528.48

А.А. Рандлепп

ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ БЕРЕГОВЫХ  
ОПОР МОСТА ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

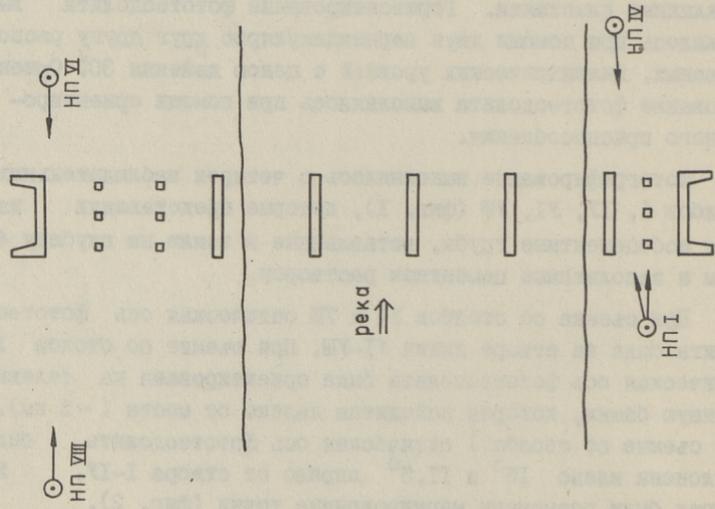
Наряду с геодезическими методами в настоящее время для измерения смещений применяют фотограмметрический метод. Полученные снимки являются достоверным документом, они дают возможность в любой момент проверить измерения.

Измерение смещений фотограмметрическим методом заключается в определении координат точек опор моста по измерениям снимков и в сравнении их с исходными.

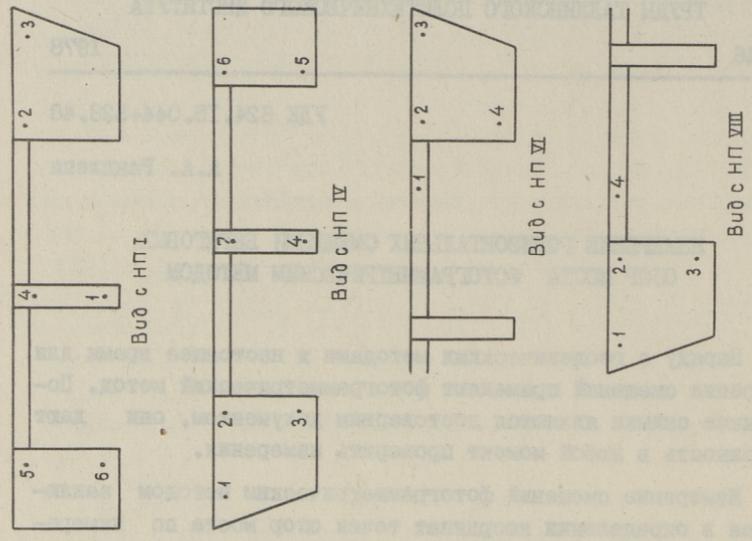
Съемка выполнялась фототеодолитом "Фотео I9/I3I8" фирмы "Цейсс", который имеет фокусное расстояние 193,94 мм и размер снимка 13x18 см. Фотографирование выполнялось на стеклянные пластинки. Горизонтирование фототеодолита выполнялось при помощи двух перпендикулярно друг другу расположенных, цилиндрических уровней с ценой деления 30". Ориентирование фототеодолита выполнялось при помощи ориентировочного приспособления.

Фотографирование выполнялось с четырех наблюдательных столбов I, IV, VI, VIII (фиг. 1), которые представляли из себя асбоцементные трубы, вставленные в землю на глубину 4-6 м и заполненные цементным раствором.

При съемке со столбов VI и VIII оптическая ось фототеодолита была на створе линии VI-VIII. При съемке со столба IV оптическая ось фототеодолита была ориентирована на телевизионную башню, которая находится далеко от моста (~2 км). При съемке со столба I оптическая ось фототеодолита была отклонена влево  $15^{\circ}$  и  $11,5^{\circ}$  вправо от створа I-IV. На опорах были размечены маркированные точки (фиг. 2).



Фиг. 1. Схема опор моста и наблюдательных пунктов.



Фиг. 2. Расположение маркированных точек на опорах.

Фотографирования были выполнены в августе 1975 г., окт. 1975 г., дек. 1975 г., мае 1976 г., сент. 1976 г., дек. 1976 г. Снимки, выполненные в августе 1975 года, использовались в качестве исходных.

Координаты точек снимков и продольный параллакс измерялись на стереокомпараторе IB18 фирмы "Цейсс".

Если фотографировать объект до и после смещений, то соответствующие координаты точек будут:

$$X = Y \frac{x}{f} = x \cdot M \quad (1)$$

$$X' = Y \frac{x'}{f} = x' \cdot M,$$

где  $X$  и  $X'$  — координаты точки до и после смещения соответственно;

$x$  и  $x'$  — координаты точки на снимке до и после смещения соответственно;

$f$  — фокусное расстояние фототеодолита;

$Y$  — расстояние от теодолита до точки;

$M$  — знаменатель масштаба снимка.

Величина смещения точки равна

$$\Delta X = X' - X = Y \frac{x'}{f} - Y \frac{x}{f} = Y \frac{x' - x}{f} = \Delta x \cdot M. \quad (2)$$

Смещение  $\Delta x$  было измерено на стереокомпараторе непосредственно винтом продольных параллаксов. Точность измерения по маркированным точкам составляет  $0,004 \pm 0,006$  мм, в среднем принимаем  $0,005$  мм. Учитывая ошибки ориентирования снимков на стереокомпараторе, точность измерения смещения  $\Delta x$  принимаем

$$m_{\Delta x} = \sqrt{2} \cdot m_p = \sqrt{2} \cdot 0,005 = 0,007 \text{ мм.}$$

Теоретическая точность измерения смещений опор моста тогда равна:

$$M_{\Delta x} = \pm 0,007 \cdot M. \quad (3)$$

Точность фотограмметрического метода измерений в решающей степени определяется возможностью устранения разных ошибок. Основными источниками ошибок являются

- физические факторы,
- погрешности внутреннего ориентирования,

- погрешности внешнего ориентирования.

I. Физическими факторами ошибок являются:

- а) деформация эмульсионного слоя фотопластинок,
- б) кривизна фотопластинок,
- в) неприжим фотопластинок к прикладной рамке камеры,
- г) дисторсия объектива камеры.

Из анализа деформации эмульсионного слоя фотопластинок можно сделать вывод, что эту деформацию можно не учитывать, если фотопластинки сушатся в горизонтальном положении и измерения проводятся с точностью 0,005 мм.

Кривизна фотопластинок ведет к погрешности фокусного расстояния и вызывает искажение координат и параллаксов снимка. Но при измерении непосредственно смещения  $\Delta x$ , кривизна фотопластинок оказывает на результаты измерений меньшее влияние, чем при измерении координат точек снимка. Практически кривизна фотопластинок в допустимых пределах и позволяет производить измерения снимков с необходимой точностью [1].

При съемке иногда встречается случай неприжима фотопластинок к прикладной рамке камеры. Это вызывает изменение фокусного расстояния на величину  $\Delta f$ , которая равна:

$$\Delta f = \frac{m_p \cdot f}{x}, \quad (4)$$

где  $m_p$  - точность измерения параллакса;

$x$  - абсцисса измеряемой точки на снимке.

Для данного случая  $m_p = 0,005$  мм,  $x = 70$  мм и  $\Delta f = 0,014$  мм.

При измерении смещений непосредственно винтом продольных параллаксов значение имеет разница в неприжимах снимков разных фаз смещений. На стереокомпараторе измерялись расстояния между координатными метками на снимке, что дало возможность определить величину неприжима или отбраковать неплоскостные фотопластинки.

Каждый объектив имеет дисторсию. Эффективной составной частью дисторсии в данном случае является только компонент в направлении смещения. При измерении смещений  $\Delta x$

непосредственно дисторсия не снижает точности измерений [2].

2. Погрешности элементов внутреннего ориентирования — это ошибка фокусного расстояния и ошибка установки координатных меток.

Фокусное расстояние фототеодолита известно с точностью 0,01 мм, что вполне достаточно. Ошибки могут возникнуть только ввиду неприжима фотопластинок.

Формулы математической зависимости между координатами точек объекта и снимка выведены для случая, когда начало координат на снимке совпадает с главной точкой снимка. Проверка этого условия выполнялась перед съемками. Кроме того, если контрольная точка на снимке расположена вблизи от главной точки, то влияние ошибки установки координатных меток можно исключить, приняв за начало координат контрольную точку.

3. Погрешности элементов внешнего ориентирования — это погрешности в угловых элементах:

$\varphi$  — угол отклонения,

$\omega$  — угол наклона,

$\kappa$  — угол крена.

При непосредственном измерении смещений  $\Delta x$  допустимые погрешности этих элементов следующие:

$$\Delta \varphi_{\text{доп}} = \frac{m_p \cdot f \cdot \rho}{2 \cdot x_{\text{ср}} \cdot \Delta x}; \quad (5)$$

$$\Delta \omega_{\text{доп}} = \frac{m_p \cdot f \cdot \rho}{z \cdot \Delta x}; \quad (6)$$

$$\Delta \kappa_{\text{доп}} = \frac{m_p \cdot \rho}{z}, \quad (7)$$

где  $\Delta x$  — расстояние между контрольной и определяемой точками на снимке;

$x_{\text{ср}}$  — среднее значение абсцисс измеряемых точек;

$z$  — расстояние на снимке по оси  $z$  между контрольной и определяемой точками.

Для данного случая  $x_{\text{ср}} = 70$  мм,  $\Delta x = 50$  мм,  $z = 20$  мм и

$$\Delta\varphi \text{ доп} = 29''_5$$

$$\Delta\omega \text{ доп} = 3'_4$$

$$\Delta\kappa \text{ доп} = 51''_5$$

Такая точность ориентирования вполне обеспечивается ориентирующим приспособлением и уровнями фототеодолита.

В таблице I приведены результаты измерения горизонтальных смещений береговых опор строящегося моста. По этим данным можно сделать заключение, что во время постройки опор и возведения насыпи имели место небольшие горизонтальные смещения береговых опор. К концу постройки моста смещения прекратились.

Т а б л и ц а I

Станция съемки	Номер точки на опорах	M	Величина смещений, мм					Теоретическая точность, мм
			авг. 75 окт. 75	авг. 75 дек. 75	авг. 75 май 76	авг. 75 сент. 76	авг. 75 дек. 76	
I	2	3	4	5	6	7	8	9
НП-I	1	I57	+3,7	+9,1	+6,2	+6,0	+11,8	±I
	2	I63	-	+10,5	+8,0	+10,0	+13,0	
	3	I75	-	+11,0	+8,2	+6,3	+13,4	
	4	I57	+5,1	+10,5	+6,7	+2,4	+10,2	
	5	I63	-1,0	+2,8	+1,0	+5,4	+7,9	
	6	I63	-2,0	+3,1	+1,4	+5,0	+7,8	
НП-IV	1	4I5	+4,6	+7,2	+7,0	+10,0	-	±3
	2	4I3	+5,8	+5,8	+8,0	+15,2	-	
	3	4I3	+5,4	+8,0	+11,1	+15,6	+12,0	
	4	430	0	0	+4,3	+10,8	-	
	5	405	+5,0	-2,0	+2,0	+15,3	-	
	6	405	+3,6	-6,4	-6,4	+8,1	+3,0	
	7	430	0	-6,0	0	+5,6	+3,0	
НП-VI	1	I56	-6,0	-5,0	+5,0	+6,1	+4,4	±I
	2	I56	+1,6	+1,4	+6,0	+9,7	+12,6	
	3	I56	+6,4	+6,8	+3,4	+11,9	-	
	4	I56	+2,5	+2,6	+7,0	-	-	

Продолжение таблицы I

I	2	3	4	5	6	7	8	9
I	200			+1,0	+2,0	+8,0	+8,0	$\pm 2$
НП-УШ	2	200		-1,0	+2,0	+8,0	+8,4	
	3	200		-2,0	+5,6	+13,4	+11,2	
	4	200		-3,0	0	+7,0	+7,8	

Примечание: смещение в сторону реки - "+"  
 смещение в сторону от реки - "-"

Л и т е р а т у р а

1. Р ан д л е п п А.А. О влиянии кривизны фото-пластинок на точность фотограмметрических измерений. "Геодезия и аэрофотосъемка" № 5, 1971, с. 115-118.

2. Р ан д л е п п А.А. Измерение деформации моделей строительных конструкций стереофотограмметрическим методом. Автореферат кандидатской диссертации, 1972, с.12-15.

A. Randlepp

Messung der horizontalen Deformationen des Brückenpfeilers nach photogrammetrischer Methode

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird der Vorschlag gemacht, die horizontalen Deformationen nach dem photogrammetrischen Verfahren zu vermessen. Die Genauigkeit des Verfahrens hängt vom Maßstab des Maßbildes ab. Die theoretischen Untersuchungen werden durch praktische Maßresultate illustriert.



УДК 625.7.084

П.Л. Сирье

УНИВЕРСАЛЬНАЯ НОМОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТОЛЩИНЫ УПЛОТНЯЕМОГО СЛОЯ ГРУНТА

Важнейшим технологическим процессом при строительстве автомобильных дорог является уплотнение дорожно-строительных материалов, так как от качества уплотнения зависит прочность и долговечность дороги. С точки зрения организации работ при уплотнении земполотна наиболее важным параметром уплотняемого материала является толщина уплотняемого слоя. При излишне больших толщинах слоев требуемые плотности в нижней части слоя не достигаются, а при слишком малых толщинах слоев снижается производительность, поскольку не используются потенциальные возможности уплотняющей машины.

Проведенными исследованиями установлено [1], что оптимальная толщина уплотненного  $H_0$  и рыхлого (засыпаемого) слоя  $H_p$ , при уплотнении наиболее универсальными машинами — пневмоколесными катками, могут быть определены следующими формулами

$$H_0 = 0,57 K_p \frac{W}{W_0} \sqrt{F_k}, \quad (1)$$

$$H_p = 0,57 K_p \frac{K_y}{K_0} \frac{W}{W_0} \sqrt{F_k}, \quad (2)$$

где  $F_k$  — площадь контакта шины по контуру отпечатка с опорной поверхностью при необходимых контактных давлениях для достижения требуемого коэффициента уплотнения  $K_y$ ;

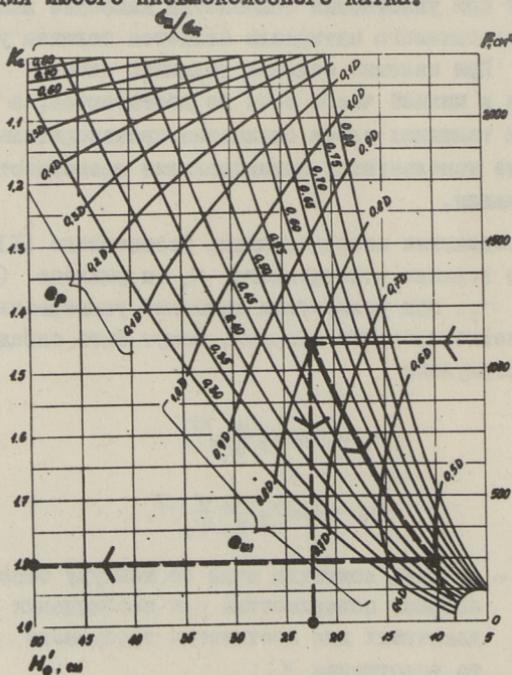
$W_0$  — оптимальная влажность уплотняемого грунта, %;

$W$  — действительная влажность уплотняемого грунта, %;

$K_0$  — начальный коэффициент уплотнения;  
 $K_y$  — конечный коэффициент уплотнения;  
 $K_p$  — коэффициент, зависящий от величины относительного напряжения  $\sigma_z/\sigma_k$  и схемы нагружения ( $K_p = K_\sigma \cdot K_c$ , где  $K_\sigma$  — коэффициент, зависящий от сжимающих напряжений;  $K_c$  — коэффициент суммарного действия рядом расположенных колес катка).

Для определения  $H_0$  и  $H_p$  была разработана и совмещенная номограмма [2], которая позволяет в производственных условиях, при известных параметрах грунта, определить толщину уплотняемого слоя для конкретного типа пневмоколесного катка.

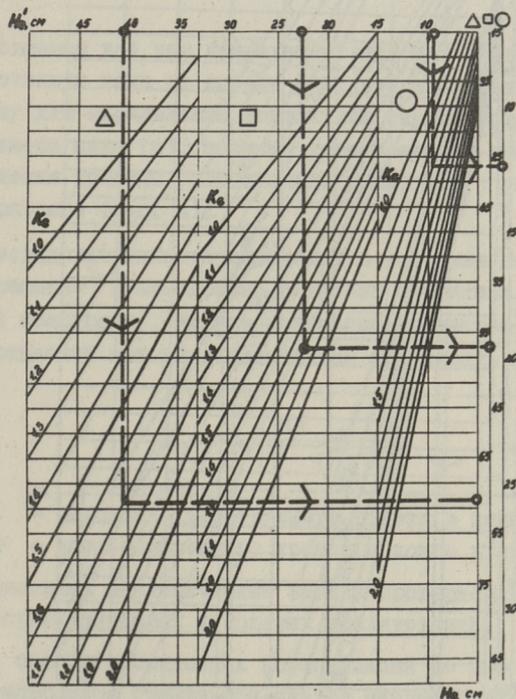
В целях обобщенного изучения данного вопроса также была разработана универсальная номограмма, которая позволяет определить толщину уплотняемого слоя (уплотненного и рыхлого) для любого пневмоколесного катка.



Фиг. 1. Номограмма для определения оптимальной толщины уплотненного слоя грунта  $H'_0$  (одно колесо) и коэффициента суммарного действия  $K_c$ .

Основной частью универсальной номограммы является график зависимости оптимальной толщины уплотненного слоя  $H'_0$  от величины площади контакта шины  $H'_0 = f(F_k)$ , без учета суммарного действия рядом расположенных колес катка (как одно колесо). Данным графиком совмещены диаграммы для определения коэффициента суммарного действия рядом расположенных колес катка  $K_c$  [3] (фиг. 1), где через  $e_p$  и  $e_{ш}$  обозначены соответственно расстояния между беговыми дорожками шин при рядном и шахматном расположении колес.

Определив предварительно величину  $\sigma_z / \sigma_k$  [1], при которой может быть достигнут для данного грунта желаемый коэффициент уплотнения  $K_y$ , и площадь контакта  $F_k$  [4], нетрудно по графику (см. фиг. 1) найти величины  $H'_0$  и  $K_c$  для данной схемы нагружения – схемы расположения колес катка.



Фиг. 2. График зависимости оптимальной толщины уплотненного слоя  $H'_0$  от  $H'_0$  при реальной схеме нагружения (множество колес).

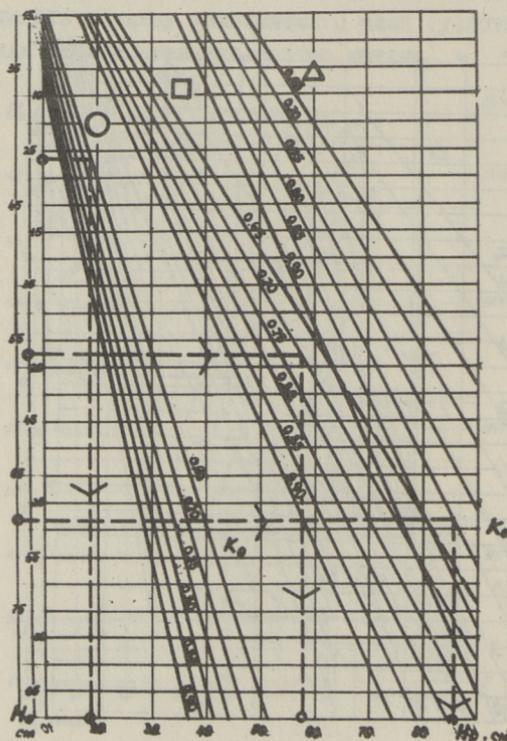
Величину уплотненного слоя грунта  $H_0$ , с учетом суммарного действия рядом расположенных колес катка, можно определить по формуле

$$H_0 = K_c H'_0, \quad (3)$$

где  $H_0$  и  $H'_0$  — соответственно толщина уплотненного слоя грунта с учетом и без учета суммарного действия рядом расположенных колес;

$K_c$  — коэффициент суммарного действия.

На основе результатов расчета, произведенного по формуле (3), построен график зависимости толщины уплотненного слоя  $H_0$  от  $H'_0$  (фиг. 2). В целях повышения точности, при графическом определении  $H_0$ , график разбит на три час-



Фиг. 3. График зависимости толщины рыхлого слоя грунта  $H_p$  от  $H'_0$ .

ти. Отдельные части графика и соответствующие шкалы  $H_0$  обозначены условными знаками (треугольник, круг и квадрат). Через найденные по графику  $H'_0 = f(F_k)$  (см. фиг. I) величины  $H'_0$  и  $K_c$  нетрудно определить величину  $H_0$ .

Учитывая формулу [5]

$$H_p = \frac{H_0 K_y}{K_0}, \quad (4)$$

где  $H_p$  и  $H_0$  — соответственно оптимальная толщина рыхлого и уплотненного слоя грунта;

$K_0$  и  $K_y$  — соответственно начальный и конечный коэффициент уплотнения,

построен график зависимости оптимальной толщины рыхлого слоя от толщины плотного слоя (фиг. 3). Этот график также разбит на три части, вместе с соответствующими обозначениями.

Совмещая все три приведенных графика и добавляя им разработанную нами на основе статических испытаний или номограмму для определения контактных параметров конкретного типоразмера шины [4], получим универсальную номограмму для определения толщины уплотняемого слоя, как уплотненного так и рыхлого (фиг. 4).

Последовательность определения желаемых параметров по всем графикам и номограмме показана стрелками. На универсальной номограмме, нужное контактное давление  $\sigma_k$  от шины на уплотняемый материал желательно определить по формуле [6]

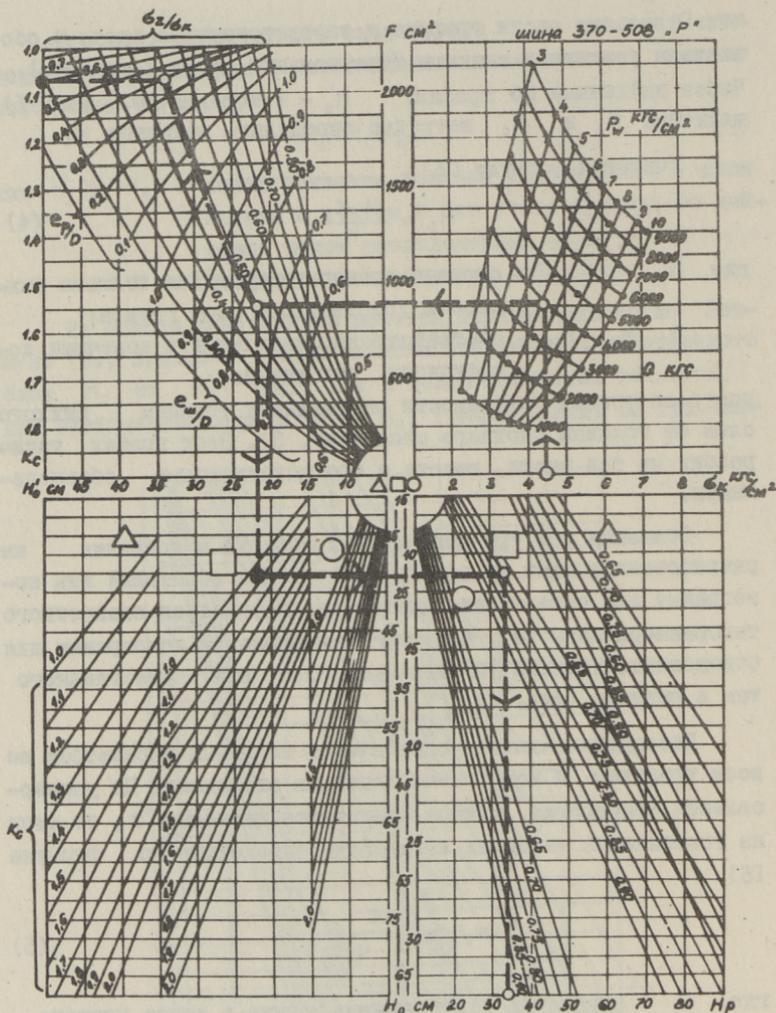
$$\sigma_k = \frac{\pi C}{1 - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) \operatorname{tg} \varphi}, \quad (5)$$

где  $C$  — сцепление уплотняемого грунта в конце укатки;

$\varphi$  — угол внутреннего трения в конце укатки.

Сделанные аналитические выводы проверялись во время лабораторно-стендовых и полевых исследований.

На основе проведенных исследований по выбору толщины уплотняемого слоя грунта при укатке пневмоколесными катками можно сделать следующие выводы:



Фиг. 4. Универсальная номограмма для определения толщины уплотняемого слоя грунта.

I. Разработанные номограммы позволяют не только определить толщину уплотняемого слоя исходя из параметров грунта и контактных параметров рабочих органов катка, но и решать обратную задачу, т.е. по заданной толщине уплотняемого слоя подобрать подходящие уплотняющие машины для достижения требуемой плотности.

2. Универсальная номограмма позволяет произвести и сравнительный анализ эффективности существующих катков, а также уточнить колесные схемы и их параметры при разработке новых пневмоколесных катков.

### Л и т е р а т у р а

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

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

3. С в р ь е П.Л. О распределении напряжений в уплотняемом грунте.—"Тр. Таллинск. политехн. ин-та", № 430, 1977.

4. С в р ь е П.Л., П у т к А.И. Исследование контактных параметров пневматических шин с твердой опорной поверхностью.—"Тр. Таллинск. политехн. ин-та", № 351, 1973.

5. К о р о т и н О.Ю. и др. Самоходные катки на пневматических шинах. М., ЦНИИТЭ строймаш, 1968, 42 с.

6. С в р ь е П.Л., П у т к А.И. Выбор контактных давлений для катков на пневматических шинах. Тезисы докладов III Республиканской научно-технической конференции по автомобильным дорогам и геодезии, Таллин, 1976.

A Universal Nomogram for Determining  
the Thickness of the Layers to be Compacted

Summary

The paper presents a universal nomogram for determining the optimal thickness of the layers of soil to be compacted with pneumatic-tyred rollers and gives a short instruction for its application.

In addition to determining the thickness of the layers to be compacted the elaborated nomogram helps to solve a number of problems arising in practice and design.

### МАНЕВРЕННОСТЬ ПНЕВМОКОЛЕСНЫХ КАТКОВ

В практике дорожного строительства широкое распространение получили пневмоколесные катки, как наиболее универсальные и производительные машины. Однако способность этих машин работать и передвигаться в стесненных условиях, т.е. их маневренность, в настоящее время еще не изучена.

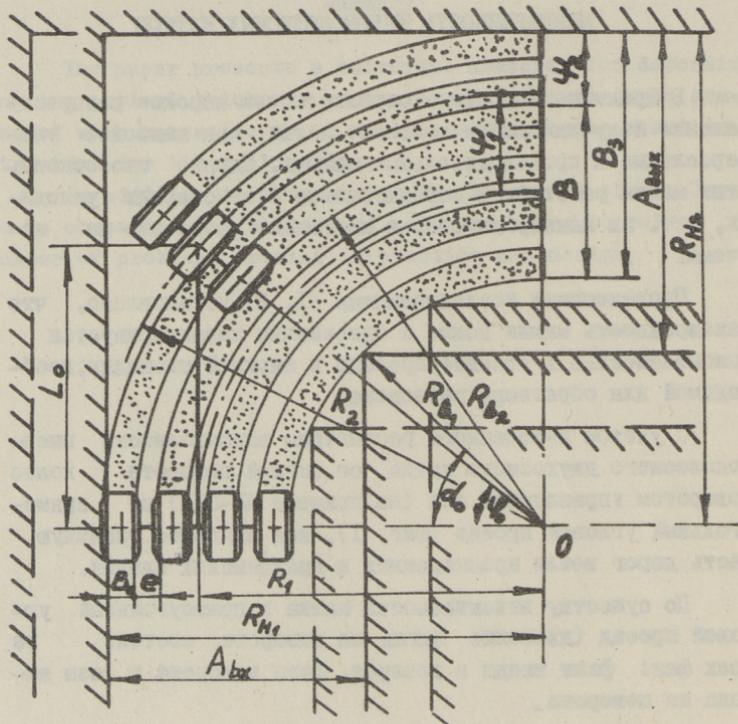
Проведенными исследованиями [1, 2] установлено, что маневренность машин полно и однозначно характеризуется вписываемостью в угловые проезды и шириной площадки, необходимой для обратного разворота.

С учетом изложенного рассмотрим вписываемость пневмоколесного двухосного катка, со схемой поворота колес поворотом управляемой оси (на примере ДУ-31А) в прямоугольный угловой проезд (фиг. 1), как наиболее типичную часть дорог возле промышленных и гражданских зданий.

По существу вписываемость катка в прямоугольный угловой проезд (движение катка на повороте) состоит из трех фаз: фазы входа в поворот, фазы поворота и фазы выхода из поворота.

В фазе входа в поворот, во время поворота управляемых колес из нейтрального положения до определенного угла  $\varphi_0$ , каток, двинувшийся в начале прямолинейно, движется по кривой уменьшающегося радиуса. В фазе поворота управляемые колеса повернуты на определенный угол  $\varphi_0$  и каток движется по дуге окружности. В фазе выхода из поворота, во время поворота управляемых колес в нейтральное положение, каток движется по дуге увеличивающегося радиуса, и в конце этой фазы каток снова движется прямолинейно.

Для упрощения выкладок примем, что поворот управляемых колес при входе в поворот и при выходе из него осуществляется мгновенно, а угол поворота колес  $\varphi_0$  в процессе криволинейного движения машины остается постоянным. При этом, с учетом отсутствия увода и скольжения, мгновенный центр поворота катка  $O$  находится на продолжении задней оси, как это показано на фиг. I.



Фиг. 1. Схема вписываемости катка ДУ-31А в угловой проезд при  $\varphi_0 = \text{const}$

Такое допущение, при оценке вписываемости машин в угловые проезды, было принято ранее и другими исследователями [1, 2].

В процессе поворота внутреннее колесо задней оси описывает дугу радиусом  $R_{b1}$ , которая определяет внутренние границы углового проезда (фиг. I), а наружное колесо зад-

ней оси — дугу радиусом  $R_{n_1}$ , определяющую внешнюю границу входного проезда. Внешняя граница выходного проезда определяется дугой с радиусом  $R_{n_2}$ . Следовательно, размеры углового проезда, в который возможно вписывание катка, могут быть установлены посредством габаритной полосы движения, которая определяется радиусами поворота колес  $R_{b_1}$  и  $R_{n_2}$ .

Из фиг. I, при  $\varphi_0 > 0$  и  $\varphi_0 \neq \alpha_0$ , ширина входного проезда  $A_{bx}$  будет

$$A_{bx} = R_{n_1} - R_{b_1} \cdot \cos \alpha_0, \quad (I)$$

где

$$R_{n_1} = B + R_{b_1}, \quad R_{b_1} = R_1 - 0,5B \quad \text{и} \quad R_1 = \frac{L_0}{\operatorname{tg} \varphi_0}. \quad (2)$$

С учетом выражений (2), уравнение (I) может быть представлено в виде

$$A_{bx} = \frac{L_0}{\operatorname{tg} \varphi_0} (1 - \cos \alpha_0) + 0,5B (1 + \cos \alpha_0). \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что ширина входного проезда  $A_{bx}$ , в который возможно вписывание катка, зависит как от параметров катка  $L_0$  и  $B$ , так и от углов  $\varphi_0$  и  $\alpha_0$ . Причем, при  $\varphi_0 = \text{const}$ , основное влияние на величину  $A_{bx}$  оказывает угол  $\alpha_0$ . Как видно, при минимальном значении  $\alpha_0$ , минимальным будет и  $A_{bx}$ , а с увеличением угла  $\alpha_0$  увеличивается также  $A_{bx}$  и соответственно уменьшается ширина выходного проезда  $A_{b_{вых}}$ . Угол поворота управляемых колес  $\varphi_0$  влияет на величину  $A_{bx}$  наоборот, т.е. с увеличением  $\varphi_0$  уменьшается  $A_{bx}$ .

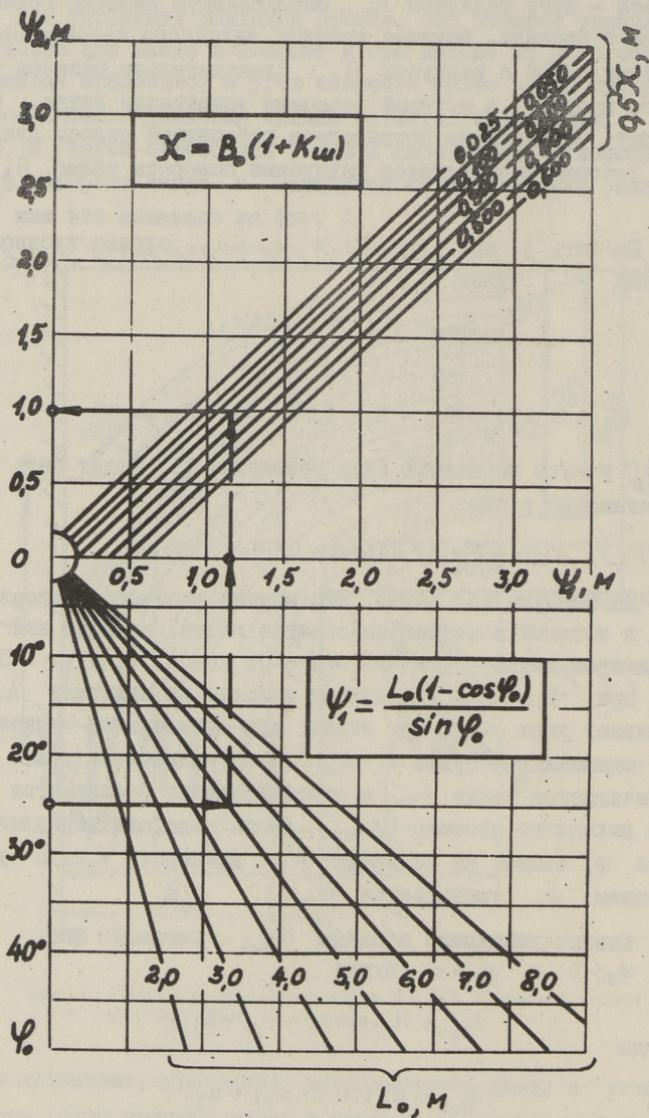
Ширина выходного проезда  $A_{b_{вых}}$ , согласно фиг. I, при  $\varphi_0 > 0$  и  $\varphi_0 \neq \alpha_0$ , будет

откуда

$$A_{b_{вых}} + R_{b_1} \cdot \sin \alpha_0 = R_{b_1} + B_3,$$

$$A_{b_{вых}} = R_{b_1} (1 - \sin \alpha_0) + B_3. \quad (4)$$

Подставляя в (4) значение  $R_{b_1}$  из (2) и учитывая, что при повороте ширина захвата катка  $B_3 = B + \psi_2$  (см. фиг. I), то после соответствующего преобразования выражения (4), получим



Фиг. 2. Номограмма для определения  $\Psi_2$ .



деляется, как это показано, из фиг. 3.

Как видно из формул (3) и (5) при различных значениях углов  $\varphi_0$  и  $\alpha_0$ , каток может вписаться во множество прямоугольных проездов, каждый из которых характеризуется шириной входного  $A_{\text{вх}}$  и выходного  $A_{\text{вых}}$  проездов, определяемых в общем случае формулами (3) и (5).

После некоторых преобразований формул (3) и (5), получим соответственно:

$$B = \frac{A_{\text{вх}} \operatorname{tg} \varphi_0 - L_0(1 - \cos \alpha_0)}{0,5 \operatorname{tg} \varphi_0(1 + \cos \alpha_0)}, \quad (7)$$

$$B = \frac{A_{\text{вых}} \operatorname{tg} \varphi_0 - L_0(1 - \sin \alpha_0) - \psi_2 \operatorname{tg} \varphi_0}{0,5 \operatorname{tg} \varphi_0(1 + \sin \alpha_0)} \quad (8)$$

Формулы (7) и (8) могут служить для анализа ширины уплотняемой полосы  $B$  проектируемых катков, а также для выбора катков по ширине уплотняемой полосы при заданных размерах входного и выходного проездов.

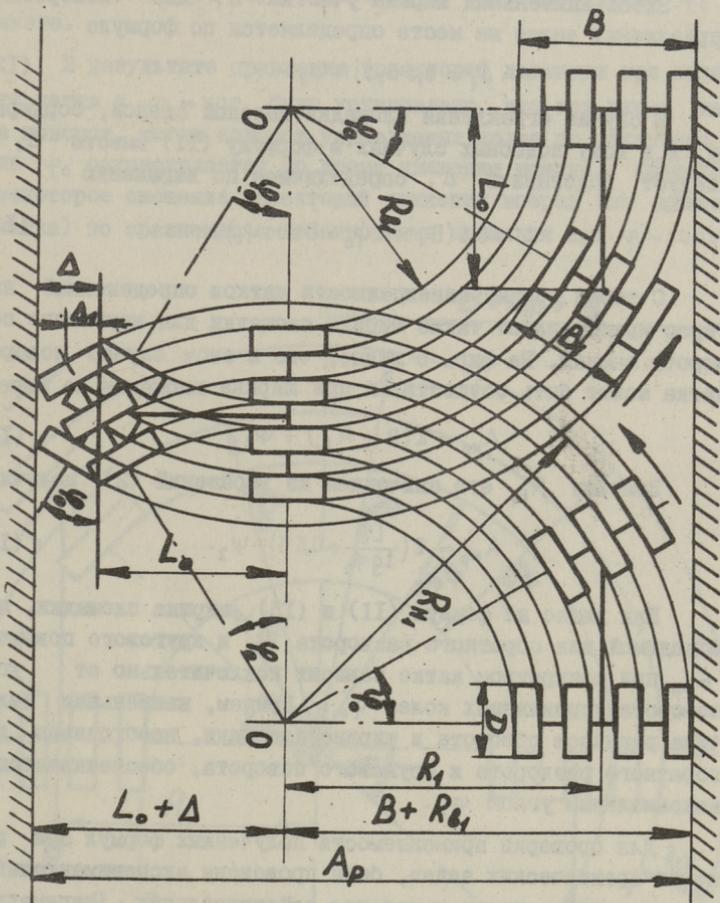
Как правило, угловые прямоугольные проезды возле промышленных и гражданских зданий построены так, что ширина входного и выходного проездов равны. Поскольку в этом случае  $\alpha_0 = 45^\circ$ , то формула (5) принимает более простой вид.

$$A_{\text{вх}} = A_{\text{вых}} = 0,3 \frac{L_0}{\operatorname{tg} \varphi_0} + 0,85 B + \psi_2. \quad (9)$$

Формула (9) позволяет определить величину минимально-го равноширокого прямоугольного углового проезда, в который возможно вписывание катка.

Таким образом, полученные формулы (3), (5) и (9) позволяют вести расчеты размеров прямоугольного проезда в зависимости от геометрических параметров катка, или же решить обратную задачу — по известным параметрам машины установить вписываемость катка в заданный прямоугольный угловой проезд. Эти формулы позволяют также построить графики  $A_{\text{вых}} = f(A_{\text{вх}})$  — графики вписываемости конкретных катков в прямоугольный угловой проезд. Такие графики дают наглядное представление о вписываемости катка в угловые

проезды и могут оказать определенную помощь в решении ряда практических вопросов, связанных с маневренностью пневмоколесных двухосных катков.



Фиг. 4. Схема обратного разворота катка  $\varphi_0 = \text{const}$ .

Минимальная ширина площадки, необходимой для обратного разворота катка, согласно расчетной схеме (фиг. 4) будет

$$A_p = B + R_{b1} + L_0 + \Delta_1. \quad (10)$$

Подставляя в уравнение (10) значение  $R_{b1}$  из (2) и вы-

полняя необходимые преобразования, получим

$$A_p = L_0 \left(1 + \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_0}\right) + 0,5B + \Delta_1. \quad (\text{II})$$

Здесь наименьшая ширина участка  $\Delta_1$  для поворота управляемых колес на месте определяется по формуле

$$\Delta_1 = 0,5B_1 \sin \varphi_0. \quad (\text{I2})$$

В случае ограждения площадки высокой стеной, бордюрами, и в тому подобных случаях в формулу (II) вместо  $\Delta_1$  следует подставить  $\Delta$ , определяемое по выражению

$$\Delta = 0,5(B_1 \sin \varphi_0 + D \cos \varphi_0), \quad (\text{I3})$$

С точки зрения маневренности катков определенный интерес представляет также ширина площадки для кругового поворота машины. На фиг. 5 видно, что в этом случае поворот катка может быть осуществлен при ширине площадки не менее:

$$A_{кр} = 2(B + R_{b_1}) + \psi_2. \quad (\text{I4})$$

Заменяя  $R_{b_1}$  его значением из выражений (2), получим

$$A_{кр} = 2\left(\frac{L_0}{\operatorname{tg} \varphi_0} + 0,5B\right) + \psi_2. \quad (\text{I5})$$

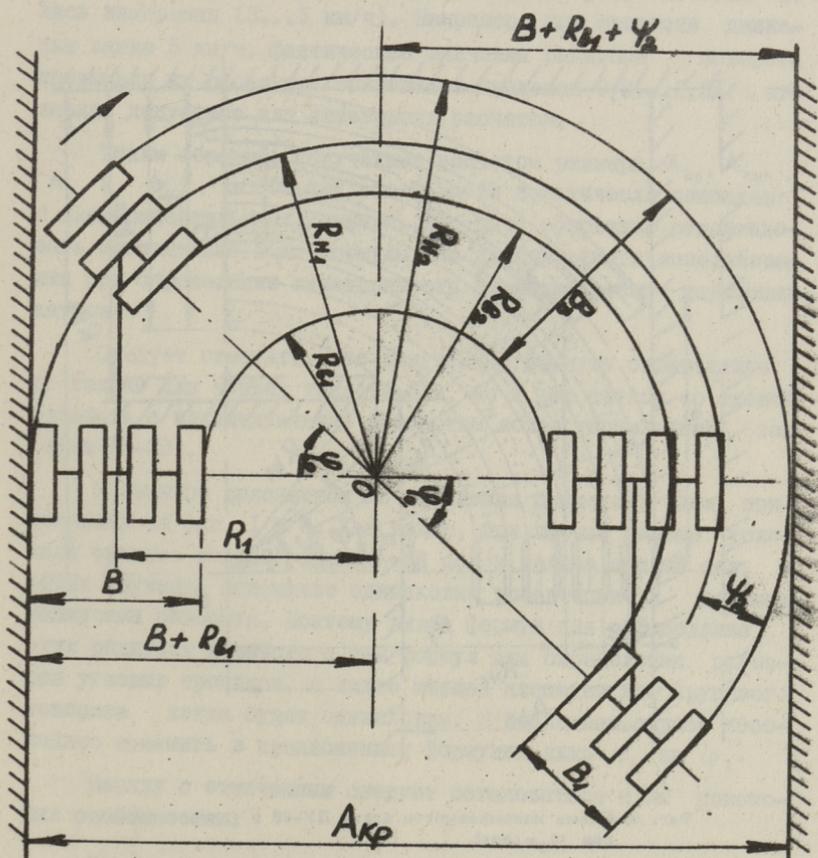
Как видно из формул (II) и (I5), ширина площадки, необходимой для обратного разворота  $A_p$  и кругового поворота  $A_{кр}$  при конкретном катке зависит исключительно от угла поворота управляемых колес  $\varphi_0$ . Причем, наименьшая величина радиусов поворота и ширина площадки, необходимая для обратного разворота и кругового поворота, обеспечивается максимальным углом  $\varphi_0$ .

Для проверки применимости полученных формул при решении практических задач, были проведены экспериментальные исследования с целью выявления действительных параметров маневренности катков с учетом всех фаз поворота. Опыты проводились катком ДУ-31А на специально размеченной и слабоуплотненной грунтовой площадке при повороте катка на  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  и более. Замер траекторий движения катка производился как при  $\varphi_0 = \text{const}$ , так и при  $\varphi_0 = \text{var}$ .

Сравнение экспериментальных данных с расчетными, полученными по формулам (3), (5), (9), (II) и (I5) показало

удовлетворительную сходимость результатов при  $\varphi_0 = \text{const}$ , т.е. когда в процессе опытов перед движением катка, поворот управляемых колес осуществляется до заданного угла  $\varphi_0$  на месте.

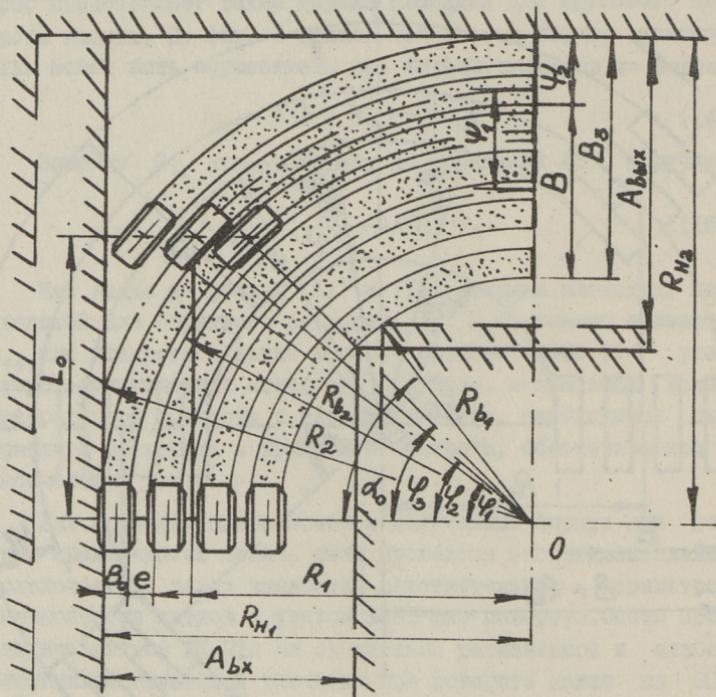
В результате сравнения траекторий движения при повороте катка с  $\varphi_0 = \text{var}$  было установлено, что при входе катка в поворот, когда поворот управляемых колес до заданного угла  $\varphi_0$  осуществляется во время движения машины, происходит некоторое смещение траекторий движения вперед (по движению катка) по сравнению с траекториями движения при  $\varphi_0 = \text{const}$ .



Фиг. 5. Схема поворота катка на  $180^\circ$  и более при  $\varphi_0 = \text{const}$ .

В самом деле это смещение не большое, так как повороты катка осуществляются на малых скоростях движения и весьма быстрым поворотом управляемых колес. Но с другой стороны, указанное смещение траекторий движения оказывает некоторое влияние на величину выходного и входного проездов, так как при  $\varphi_0 = \text{var}$  поворот может быть начат с положения, как это показано на фиг. 1, 4 и 5, или же раньше.

В первом случае смещение траекторий увеличивает размер выходного проезда по сравнению с данными, полученными расчетным путем, в пределах 0,05...0,2 м (меньшие значения для малых углов  $\varphi_0$ , а большие — для максимальных  $\varphi_0$ ) и не оказывает влияния на величину входного проезда.



Фиг. 6. Схема вписываемости катка ДУ-29 в угловой проезд при  $\varphi_2 = \text{const}$ .

Во втором случае, когда поворот начинается раньше, чем это показано на фиг. 1, 4 и 5, наблюдается обратная картина. Смещение траекторий увеличивает размер входного проезда и не оказывает влияния на выходной. Этот случай для угловых проездов практически встречается редко, так как обычно  $A_{bx} = A_{вых}$ , однако подлежит обязательному учету при расчете ширины обратного разворота  $A_p$  и кругового поворота  $A_{кр}$  катков.

Кроме того в результате поставленных опытов выяснилось, что боковой увод и скольжение колес практически отсутствует, во всяком случае в диапазоне тех скоростей, при которых велись измерения (3...5 км/ч). Например, при скорости движения катка 5 км/ч, фактические значения радиусов поворота превышали их расчетные значения в пределах 0,8...1,3%, что вполне допустимо для инженерных расчетов.

Таким образом, полученные расчетом размеры  $A_{bx}$ ,  $A_{вых}$ ,  $A_p$  и  $A_{кр}$ , в большей своей части практически совпадают с экспериментальными данными, что дает основание рекомендовать приведенные выше формулы для практического использования при определении маневренности пневмоколесных двухосных катков.

Следует отметить, что полученные формулы справедливы не только для катков типа ДУ-31А, но и для катков со схемой поворота с индивидуальным поворотом колес управляемой оси (типа ДУ-29).

Сказанное выясняется из сравнения расчетных схем, приведенных на фиг. 1 и 6. Как видно, при прочих равных условиях среднее колесо управляемой оси и колеса задней оси, в обоих случаях, описывают одинаковые траектории с равными радиусами поворота. Поэтому вывод формул для определения этих радиусов и вместе с тем формул для определения размеров угловых проездов, а также ширины площадки для кругового поворота катка будет одинаковым. В последнем случае необходимо заменить в предложенных формулах лишь  $\varphi_0$  на  $\varphi_2$ .

Наряду с отмеченным следует остановиться и на некоторых особенностях.

Во-первых, при катках с индивидуальным поворотом колес

управляемой оси, по сравнению с катками типа ДУ-31А,  $\psi_2$  всегда меньше за счет уменьшения расстояния между беговыми дорожками управляемых колес. Причем величина этого расстояния зависит от углов поворота и, в частности, от  $\varphi_2$ . Поэтому при более точных расчетах рекомендуется определить  $\psi_2$  по формуле

$$\psi_2 = \frac{L_0(1 - \cos \varphi_2)}{\sin \varphi_2} - (1,5 - \cos \varphi_2) B_0 (1 + K_w). \quad (16)$$

Однако как показало сопоставление расчетных данных по формулам (6) и (16), при малых углах ( $\varphi_0$  и  $\varphi_2$ ) поворота полученные результаты практически совпадают между собой. Например, при прочих равных условиях, даже при углах поворота  $\varphi_0 = \varphi_2 = 25^\circ$ ,  $\psi_2$  получается по формуле (16) лишь на 40 мм меньше, чем по формуле (6). Следовательно, в диапазоне тех углов поворота, в которых обычно работают катки формула (6) и разработанная номограмма (фиг. 2) дают удовлетворительные результаты и для катков типа ДУ-29.

Во-вторых, при катках ДУ-29 ширина площадки, необходимой для обратного разворота, отличается от получаемых по формуле (II) значений. Объясняется это тем, что ширина участка для поворота управляемых колес на месте у катков ДУ-29 меньше, чем у катков ДУ-31А. Поэтому при точном расчете  $A_p$  для катков ДУ-29 рекомендуется в формулу (II) вместо  $\Delta$  подставить  $0,5D$ , а вместо  $\Delta_1$  —  $0,5a$ , где  $a$  — длина большой оси площади контакта шины с твердой опорной поверхностью. Между тем, как показали расчеты, определение  $A_p$  по формуле (II) без этих уточнений не ведет к большим погрешностям.

Таким образом, учитывая приведенные аналитические исследования и некоторое смещение траекторий движения при входе катка в поворот, можно сделать вывод, что полученные формулы справедливы не только для катков типа ДУ-31А, но и с допустимой практической точностью для катков с индивидуальным поворотом управляемых колес.

Приведенный метод оценки маневренности может быть применен и для других типов самоходных дорожных катков при решении ряда практических задач: выезд катков на дорогу и перекрестки; маневрирование на местах стоянки и в

гаражах; уплотнение материалов S - и кольцеобразных участков дорог, угловых проездов и др.

#### Л и т е р а т у р а

1. Закин Я.Х., Дюнской В.М. Анализ маневренности строительных машин. "Механизация строительства", 1968, № 3, с. 4-8.

2. Сигал Я.Е. О вписываемости в прямоугольные повороты мобильных башенных кранов при транспортировке. "Строительные и дорожные машины", 1973, № 6, с. 5-7.

A. Putk

#### Manoeuvrability of Rubber-tyred Rollers

##### Summary

Analytical calculation formulae for evaluating the manoeuvrability of rubber-tyred biaxial rollers are given in the article.

The comparison of experimental data with those obtained by the calculation formulae shows a satisfactory concurrence of the results. Therefore the formulae can be recommended for practical use.

## С о д е р ж а н и е

1. Росте И.А., Сегеркранц В.М. Модель для оценки количества происшествий на пересечениях городских улиц. . . . .	3
2. Метсвахи Т.Х. Экономические соображения по использованию легкового автомобиля . . . . .	II
3. Меспак В.К. О структурной вязкости дорожных битумов. . . . .	17
4. Рандлеп А.А. Измерение горизонтальных смещений береговых опор моста фотограмметрическим методом. . . . .	25
5. Сирье П.Л. Универсальная номограмма для определения толщины уплотняемого слоя грунта . . . .	33
6. Пукк А.И. Маневренность пневмоколесных катков. . . . .	41



ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
Труды ТПИ № 446

Теоретическое и экспериментальное исследование автомобильных дорог и автомобильного транспорта Эстонской ССР в условиях интенсивной автомобилизации  
(Автомобильные дороги. Автомобильный транспорт. Сборник статей IX)

Редактор С. Нургес. Техн. редактор В. Ранник

Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 18 января 1978 г.

Подписано к печати 18 апр. 1978 г. Бумага 60x90/16

Печ. л. 3,5+0,25 приложение. Уч.-изд. л. 2,8

Тираж 300. МВ-02697

Репризинт ТПИ, Таллин, ул. Коскла, 2/8. Зак. № 526

Ц е н а 42 коп.

© ТПИ, Таллин, 1978







Цена 42 коп.