

292

TALLINNA POLÜTEHNILISE
INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

СЕРИЯ А

№ 292

**АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ
АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ**

СБОРНИК СТАТЕЙ

IV

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

СЕРИЯ А

№ 292

1970

УДК 625.7/8

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

СБОРНИК СТАТЕЙ

IV

ТАЛЛИН 1970

С о д е р ж а н и е

С т р.

1. А.Ю. Ваймель, И.О. Пихлак. Об определении среднегодовой суточной интенсивности движения на местных дорогах Эстонской ССР..	3
2. С.А. Ваксман, И.О. Пихлак. Некоторые вопросы исследования загрузки сети магистральных улиц городов.....	II
3. К.Т.К. Гринбаум. Об исследованиях сезонного промерзания и оттаивания грунтов под улицами Таллина	23
4. Р.Р. Левет, Х.Х. Хедреярв. Об изменении физико-химических показателей масла при эксплуатации автомобилей.....	4I
5. Р.Р. Силлат. О возможностях использования существующих эмпирических формул для скоростных характеристик двухтактных быстроходных двигателей	55
6. О.П. Х а л ь я к. Изучение упругих деформаций нежестких дорожных одежд	65
7. Х.А. М я г и. О влиянии ползучести бетона на моменты омоноличивания шарниров в железобетонных арочных мостах.....	79
8. Х.А. Мяги. О совместной работе арок и надарочной части железобетонных мостов при влиянии ползучести бетона.....	9I



Er. 9995

УДК 656.1.021:625.711.2

А.Ю. Ваймель, И.О. Пихлак

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ СРЕДНЕГОДОВОЙ СУТОЧНОЙ
ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА МЕСТНЫХ ДОРОГАХ
ЭСТОНСКОЙ ССР

Для плана развития сети местных дорог общего пользования Эстонской ССР, в составлении которого участвовали авторы настоящей статьи, следовало определить суточные интенсивности движения на местных дорогах.

Так как на местных дорогах Эстонской ССР учета движения не производится, а без этого невозможно решить никаких проблем развития дорожной сети, пришлось определить в первом приближении интенсивность движения косвенным путем.

Основой определения среднегодовой суточной интенсивности движения на местных дорогах был выборочный учет движения на 165 дорогах местной сети, причем общее количество титулов дорог составляет около 1200. Выборочный учет движения производился опросом водителей о месте регистрации и принадлежности транспортного средства в течение 14 часов (с 7.00 по 21.00) в каждом пункте, причем в течение первой половины каждого часа обследовали одно направление, а в течение второй половины — противоположное направление. Всего с 23 октября по 14 ноября 1968 г. в 165 пунктах было опрошено несколько тысяч водителей.

Средняя структура интенсивности движения на сети местных дорог ЭССР во время обследования была такова: грузовые ав-

томобили 65,5%, автобусы 7,6%, легковые автомобили 14,7% и мотоциклы 12,2%. Средняя интенсивность движения на 165 пунктах равнялась 150 единицам за 14 часов. Из всех опрошенных 89,5% оказались водителями того же района, в котором проводилось обследование и опрос, 10,0% были из других районов ЭССР и только 0,5% из других республик.

Из всех обследованных легковых автомобилей индивидуальным владельцам принадлежало 42,0%, а из мотоциклов - 84,7%.

Определение среднегодовой суточной интенсивности движения производилось отдельно для учтенных и неучтенных дорог.

I. Определение среднегодовой суточной интенсивности движения

В учтенных 165 пунктах определение велось в следующей последовательности:

а) На основе данных учета интенсивности движения на республиканских и общегосударственных дорогах рассчитывался коэффициент для перехода от 14-часовой интенсивности к суточной интенсивности движения во всех районах $K_{\text{ночь}}$ для октября месяца

$$K_{\text{ночь}} = \frac{\sum_{i=1}^4 H_i^{24 \text{ час}}}{\sum_{i=1}^4 H_i^{24 \text{ час}} - \sum_{i=1}^4 H_i^{8 \text{ час}_{\text{ночь}}}} 1,03,$$

где i - индекс вида транспорта: 1 - грузовые автомобили, 2 - индивидуальные легковые автомобили, 3 - государственные легковые автомобили, 4 - автобусы, 5 - мотоциклы.

Величина 1,03 учитывает то обстоятельство, что данные постоянного учета в упрдорах получены за 16 и 24 часа, а опросным методом - за 14 часов. Далее, по районам рассчитывались средневзвешенные коэффициенты $K_{\text{ночь}}$ для 9 интервалов суточной интенсивности движения (см. таблицу I).

Коэффициенты для перехода от обследованной 14-часовой
интенсивности движения к среднегодовой суточной интенсивности движения

№	Наименование района	100 К ночь						100 К год									
		H = 100-200	H = 200-400	H = 400-600	H = 600-800	H = 800-1000	H = 1000-1500	H = 1500-2500	H = 100-200	H = 200-400	H = 400-600	H = 600-800	T = 800-1000	H = 1000-1500	H = 1500-2500		
1.	Харьвский	114	118	110	114	109	111	110	111	135	114	100	109	116	094	081	095
2.	Таргуский	113	115	113	113	108	129	116	115	097	097	090	099	090	099	094	089
3.	Пярнуский	113	113	116		110	119	104	116	122	102	109	096	088	095	097	089
4.	Кохтла-Ярвекс.	113	121	116	116	119	116	111	115	110	135	098	104	114	098	097	097
5.	Вильяндиский	116	113	113	115	113	115	111	113		099	095	102	094	098	092	086
6.	Раплаский	115	121	121	113	115	118	113	113	219	172	125	108	100	097	098	
7.	Хаапсалуский	120	116	116	116	121	111			143	111	104	095	101	092		
8.	Валгаский		109	110	108	113	106	115			129	098	086	102	097	103	
9.	Выруский	111	115	116	110	108	114	108	148	110	179	079	085	089	091	092	
10.	Раквереский	134	120	116	123	111	119	118	114	312	151	139	108	110	092	106	080
11.	Пайдеский	135	113	108	109	106	113	109	109	136	121	111	108	072	114	106	098
12.	Йагеваский	108	120	116	114	116	118	114	120	106	127	091	089	093	097	079	101
13.	Хийумааский		109	113	111	113					089	096	084	081			
14.	Кингисепский	116	108	110	108	108	108			122	114	118	107	088			
15.	Пылъваский	159	114	113	113	115		108	104	098	164	125	105	106	080	090	

б) Данные обследования на местной сети дорог отражают структуру и величину интенсивности движения в осенний период (октябрь, ноябрь). Для выяснения среднегодовой суточной интенсивности движения был найден коэффициент $K_{год}$, который приведет осеннее движение к среднегодовому

$$K_{год} = \frac{\sum_{i=1}^4 H_i^{с.г.}}{\sum_{i=1}^4 H_i^{окт.}}$$

Коэффициенты $K_{год}$, найденные по данным учета на республиканской и общегосударственной сети, сгруппированы по районам и по интервалам суточной интенсивности движения в таблице I.

в) До сих пор, к сожалению, не учитываются мотоциклы (за исключением Таллинского и Тартуского Упрдором, где по предложению ТПИ начали с марта месяца 1968 г. учитывать и мотоциклы). Поэтому коэффициенты $K_{ночь}$ и $K_{год}$ не учитывают влияния мотоциклов. Была найдена 14-часовая интенсивность движения в опросных пунктах без учета мотоциклов

$$\sum_{i=1}^5 H_i - H_5 = \sum_{i=1}^4 H_i.$$

Среднегодовая суточная интенсивность движения (без мотоциклов) была найдена по формуле:

$$\sum_{i=1}^4 H_i^{с.г.} = K_{ночь} \cdot K_{год} \cdot \sum_{i=1}^4 H_i.$$

Количество разных видов транспортных средств в среднегодовой суточной интенсивности движения было принято пропорционально данным 14-часового обследования.

г) Среднегодовая суточная интенсивность движения мотоциклов была рассчитана по формуле:

$$H_5^{с.г.} = H_5 \cdot K_{ночь} \cdot K_{год}^M,$$

где $K_{год}^M$ (имеет тот же смысл, что в пункте "б") рассчитан на основе данных Таллинского и Тартуского упрдором и равняется 2,7.

д) Среднегодовая суточная интенсивность движения всех видов транспорта равняется:

$$H_u^{c.r.} = \sum_{i=1}^4 H_i^{c.r.} + H_5^{c.r.}$$

Затем были найдены средневзвешенные доли разных видов транспорта в интенсивностях движения во всех районах:

$$g_i = \frac{\sum_{a=1}^b H_{i,a}}{\sum_{i=1}^5 \sum_{a=1}^b H_{i,a}},$$

где a - количество опросных пунктов в данном районе.

II. Определение среднегодовой суточной интенсивности движения на неучтенных дорогах

Работники упрдором, занимающиеся в течение многих лет местными дорогами, оценивали на основе личного опыта интенсивность движения на учтенных (не зная результата учета) и неучтенных дорогах.

а) Оценка интенсивности движения поправлялась на основе коэффициента погрешности, рассчитанного для каждого района по интервалам интенсивности движения.

$$\sum_{i=1}^4 H_{i,оц.}^{c.} = H_{оц.}^{c.} \cdot K_{погр.}$$

б) На основе ранее полученного коэффициента $K_{год}$ была найдена среднегодовая суточная интенсивность движения (без мотоциклов)

$$\sum_{i=1}^4 H_{i,оц.}^{c.r.} = \sum_{i=1}^4 H_{i,оц.}^{c.} \cdot K_{год}$$

в) На основе средневзвешенной структуры интенсивности движения (без мотоциклов) найденная среднегодовая суточная интенсивность распределялась по видам транспорта:

$$H_{1,оц.}^{c.r.}; H_{2,оц.}^{c.r.}; H_{3,оц.}^{c.r.}; H_{4,оц.}^{c.r.}$$

г) Среднегодовая суточная интенсивность движения всех видов транспорта в неучтенных пунктах была найдена по формуле

$$H_{(u),oc.}^{c.g.} = \sum_{i=1}^4 H_{i,oc.}^{c.g.} \left(1 + \frac{H_5^{c.g.}}{\sum_{i=1}^4 H_i^{c.g.}} \right),$$

а количество мотоциклов:

$$H_{5,oc.}^{c.g.} = \sum_{i=1}^5 H_{i,oc.}^{c.g.} - \sum_{i=1}^4 H_{i,oc.}^{c.g.}$$

Примечание: Дробь в скобках представляет из себя отношение мотоциклов к сумме остальных видов транспорта в учтенных пунктах (по районам).

Ш. Расчет перспективной интенсивности движения

а) В пунктах, охваченных опросом,

$$H_{(б)}^{c.g.} = K_1^{80} \cdot H_{(u),1}^{c.g.} + K_2^{80} \cdot H_{(u),2}^{c.g.} + K_3^{80} \cdot H_{(u),3}^{c.g.} + K_4^{80} \cdot H_{(u),4}^{c.g.} + K_5^{80} \cdot H_{(u),5}^{c.g.}$$

Здесь коэффициенты $K_1^{80} \dots, K_5^{80}$ показывают рост парка соответствующего вида транспорта по районам (см. таблицу 2)

$$K_i^{80} = \frac{Ж^{80}}{Ж^{68}} \cdot K_i^H; \quad K_i^H = \frac{n_i^{80}}{n_i^{68}},$$

где $Ж^{80}$ и $Ж^{68}$ - население района в 1980 и 1968 гг.

Первое получено по данным прогноза института экономики АН ЭССР, K_i^H - рост насыщенности i - вида транспорта с 1968 к 1980 году (см. таблицу 2).

б) В пунктах, не охваченных опросом:

$$H_{(б),oc.}^{c.g.} = K_{ну}^{80} \cdot H_{(u),oc.}^{c.g.},$$

Коэффициенты для расчета перспективной интенсивности движения

№ п.п.	Наименование района	Ж ⁸⁰ Ж ⁸⁸	Отношение насыщенности транспортных единиц на 1000 жит. в 1980 г. к 1968 г.					К ⁸⁰					К ⁸⁰ _{нч}
			грузо- вые авто- мобили	легко- вые (инд.)	легко- вые (гос.)	авто- бусы	мото- циклы	К ⁸⁰ ₁	К ⁸⁰ ₂	К ⁸⁰ ₃	К ⁸⁰ ₄	К ⁸⁰ ₅	
1.	Валгаский	1,06	1,27	3,66	1,9	1,32	1,35	3,88	2,01	1,42	1,40	1,58	
2.	Вильяндский	1,02	1,35	3,17	1,9	1,37	1,38	3,23	1,94	1,37	1,40	1,52	
3.	Вырусский	1,04	1,38	3,33	1,9	1,26	1,43	3,46	1,98	1,39	1,31	1,54	
4.	Йыгевакский	0,94	1,43	2,96	1,9	1,46	1,35	2,78	1,79	1,26	1,37	1,43	
5.	Кингисепский	1,04	1,38	3,71	1,9	1,39	1,44	3,86	1,98	1,36	1,45	1,54	
6.	Кохтла-Ярвеский	1,17	1,19	3,61	1,8	1,16	1,39	4,20	2,10	1,57	1,36	1,75	
7.	Пярнуский	1,05	1,22	3,48	1,8	1,15	1,28	3,65	1,89	1,41	1,21	1,37	
8.	Пыльвакский	1,00	1,48	3,14	1,9	1,44	1,48	3,14	1,80	1,34	1,44	1,57	
9.	Пайдеский	0,96	1,38	3,02	1,9	1,45	1,33	2,90	1,82	1,29	1,39	1,44	
10.	Раквереский	1,09	1,25	3,15	1,9	1,34	1,36	3,54	1,19	1,46	1,46	1,58	
11.	Раплакский	0,99	1,38	3,04	1,9	1,38	1,37	3,01	1,88	1,33	1,37	1,47	
12.	Тартуский	1,08	1,28	3,27	1,8	1,22	1,38	3,53	1,95	1,45	1,52	1,62	
13.	Хаапсалульский	0,99	1,25	3,46	1,9	1,48	1,24	3,43	1,88	1,33	1,47	1,57	
14.	Харьбский	1,08	1,23	3,22	1,7	1,19	1,33	3,48	1,84	1,44	1,29	1,51	
15.	Хийумааский	0,84	1,36	3,29	1,9	1,45	1,14	2,74	1,60	1,13	1,22	1,27	

где K_{ny}^{80} - средневзвешенный коэффициент роста интенсивности движения к 1980 г. по сравнению с 1968 г., рассчитанный по формуле (см. таблицу 2)

$$K_{ny}^{80} = \sum_{i=1}^5 K_i q_i,$$

где q_i - доля i -ого вида транспорта в средневзвешенной интенсивности движения в рассматриваемом районе по данным опроса.

A.Vaimel, I.Pihlak

Determination of the Annual Average Daily Traffic (AADT) on the Highways of Regional Importance in the Estonian SSR

Summary

For planning the development of the highway network of regional importance in the Estonian SSR a sampling traffic census was conducted in 1968 with the roadside interview of 12,380 drivers in 14 hours (from 7 a.m. to 9 p.m.) in 165 points. The average composition of the traffic flow in October was: trucks 65,5%, buses 7,6%, cars 14,7% and motorcycles 12,2%.

An estimate of the AADT is obtained by spreading a single count over a year using the factor method.

The future traffic volume is estimated using the method of extrapolation proceeding from the increase in the population and car density for each district of the Estonian SSR.

УДК 656.1.021

С.А. Ваксман, И.О. Пихлак

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАГРУЗКИ
СЕТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ УЛИЦ ГОРОДОВ

За последние 10 лет наблюдается быстрый рост автопарков городов. При этом наиболее быстро растет численность легковых индивидуальных автомобилей. С 1958 по 1968 год автопарк Свердловска вырос в 1,83 раза, в том числе грузовые в 1,07, легковые в 2,54, автобусы в 2,65 и специальные в 3,07 раза. Доля грузового автотранспорта в парке упала с 52,1% (1958 г.) до 30,4%, а доля легкового возросла с 35,3% (1958 г.) до 49,1% (1968 г.). При этом доля личных машин в парке легковых автомобилей изменилась незначительно (с 72,4% до 74,0%). Автопарк Таллина за этот же срок вырос в 2,26 раза, в том числе грузовых и специальных автомобилей в 1,84, легковых в 2,54 и автобусов в 3,34 раза. Доля грузового автотранспорта в парке упала с 43,5% до 35,5%, а доля легкового возрасла с 53,1% (1958 г.) до 59,7% (1968 г.). При этом доля личных автомобилей в парке легковых автомобилей повысилась с 76,0% до 79,6%.

Одновременно с ростом автопарка увеличивается нагрузка сети магистральных улиц. Так как прирост протяженности магистральных улиц отстает от прироста автопарка, как показывает практика, то 80-85% транспортных потоков концентрируется на 10-15% улиц (по протяженности), что приводит к серьезным транспортным затруднениям. Необходимость тщательной проработки вопросов развития городского транспорта, организации и безопасности движения на ближайшие 5 лет

и более отдаленную перспективу требует сбора, систематизации и анализа информации об изменениях в загрузке сети магистральных улиц во времени (по часам суток, дням недели, месяцам и сезонам года) и в пространстве. Такая информация в настоящее время получается путем проведения сплошных визуальных обследований интенсивности движения в течение 8 - 12 часов, называемых иногда "транспортным зондом".

К недостаткам сплошного обследования следует отнести:

- большую трудоемкость проведения обследования и обработки материалов,
- сложность выявления сезонных изменений в загрузке сети,
- сравнительно большую стоимость обследования.

В связи с этим представляет интерес применение выборочного метода в обследованиях загрузки сети магистральных улиц автотранспортом.

Для правильной организации выборочного исследования изучаемую генеральную совокупность (в нашем случае суточную или C -часовую интенсивность движения) необходимо подразделить на определенные единицы отбора, в качестве которых могут выступать либо автомобили разных типов в совокупности транспортного потока за час или сутки, либо группы таких единиц (интенсивность движения за τ минут).

Выборочные методы определения интенсивности движения в зависимости от целей исследования можно применять:

1. Для определения среднегодовой суточной интенсивности движения (ССИД). Обследование ведется в течение l дней (как правило, 24 или 48 дней) по C часов каждый день. При оценке ССИД используются выявленные сплошным методом коэффициенты недельной и месячной (сезонной) неравномерности. Этот способ, применяемый в основном на загородных дорогах, часто называется "способом множителей" [5, 7, 9].

2. Для определения часовой, C -часовой ($C \leq 24$), суточной интенсивности движения. Обследование ведется C часов ($C = 1, 2, 3, \dots, 24$). Внутри каждого часа производятся

τ -минутные наблюдения. Оценка часовой (C -часовой) интенсивности движения получается суммированием τ -минутных интенсивностей и умножением полученной суммы на коэффициент $d = \frac{60}{\tau}$. Этот способ отбора получил наименование гнездового. Результаты оценки часовой (C -часовой) интенсивности движения будут тем точнее, чем меньше единица отбора (гнездо) и чем больше их будет. Способ гнездового отбора для определения C -часовой интенсивности движения рассмотрен и в отечественной литературе [1, 2, 3], и зарубежной [4, 6].

Комбинированный метод, представляющий собой сочетание способа множителей и способа гнездового отбора, позволяет получить как C -часовую (суточную) интенсивность движения, так и ССИД. В статистике этот метод известен как метод многоступенчатого отбора. Этот метод в настоящее время является наименее разработанным [2].

Отметим, что применение того или иного способа отбора обусловлено целями обследования, желаемой точностью определения искомых параметров и его практичностью. Для исследования транспортных потоков в городах наибольшее значение может играть гнездовой способ отбора, так как его применение позволяет резко сократить трудоемкость обследования и получать оперативную информацию о загрузке сети магистральных улиц автотранспортом. Рационально сочетая выборочный метод визуального наблюдения со сплошным, можем одновременно получать информацию о размерах транспортных потоков, их структуре и величине поворотного движения в узлах.

При исследовании работоспособности дорожных покрытий в Таллине¹ для получения данных об интенсивности и структуре транспортных потоков был применен выборочный метод, разработанный на кафедре Городского строительства Уральского политехнического института [2, 3]. Сущность метода заключается в том, что количество проходящих в сечении единиц подвижного состава может быть определено путем кратковременного наблюдения в течение каждого часа (τ -минут) с по-

¹ Исследования выполнены по заказу Управления коммунального хозяйства г. Таллина.

следующим перерасчетом на часовую и С-часовую интенсивность движения, т.е. по обследованной части потока дается характеристика (оценка) всего потока. В основу методики выборочного обследования интенсивности движения положены следующие предпосылки [2].

1. Часовые интенсивности движения, представляющие собой генеральные совокупности, рассматриваются как нормальные случайные величины, слагающиеся из d независимых одинаково распределенных случайных величин, выражающих τ -минутные интенсивности ($d = \frac{60}{\tau}$).

2. Параметрами распределения часовых интенсивностей движения являются средняя величина (\bar{N}) и дисперсия (σ^2). Стандартное отклонение функционально зависит от часовой интенсивности и эта зависимость принимается линейной²

$$\sigma = a\bar{N} + b. \quad (I)$$

Параметры a и b определяются из опытных данных.

3. Объем выборки по времени должен быть кратным 6 минутам и составлять либо 6, либо 12 минут, так как для меньших значений указанное выше первое предположение не будет отвечать реальным условиям вследствие импульсности движения в городах, а интервал свыше 12 минут дает малый экономический эффект.

Т а б л и ц а I

Зависимость объема выборки по времени (τ)
от интенсивности движения

Часовая интенсивность движения		τ мин.	12 часовая интенсивность движения	τ мин.
[2]	[1]			
> 1000	> 1200	6	> 15000	3-4
500-1000	800-1200	12	6000-15000	5-6
< 500	< 800	30	3000-6000	10-12

² Такое предположение справедливо в первую очередь при проведении обследования в зоне перекрестков.

Проведенное в 1965–1966 гг. в Свердловске экспериментальное исследование [2] подтвердило эти предпосылки и позволило рекомендовать длительность учета (τ) в зависимости от интенсивности движения, приведенную в таблице I. Для сравнения в таблице приводятся аналогичные данные других авторов [1, 4].

Обследование интенсивности движения выборочным методом в Таллине было проведено в 1967–1968 гг. по сезонам года. На магистральных улицах общегородского значения замеры велись в 8 сечениях (в двух направлениях) в будние дни с 6.00 до 2.00 часов ночи и в воскресные дни – с 6.00 до 20.00. На других магистральных улицах замеры велись в семи сечениях в будние дни с 6.00 до 20.00 и воскресные – с 11.00 до 18.00. На улицах местного значения обследовано пять сечений в будние дни с 13.00 до 20.00. Обследование выполнялось по следующей схеме систематического отбора:

- 6.00 – 6.06 – замер движения в условно левом направлении,
- 6.07 – 6.13 – то же, в условно правом направлении,
- 6.14 – 6.30 – подведение итогов и отдых.

В последующие полчаса вышеуказанный цикл наблюдений повторялся.

При проведении общегородских обследований учетчик может не подводить итоги на месте, а за счет этого обследовать при 6-минутной выборке 4 сечения (в двух направлениях), а при 12-минутной выборке – 2 сечения, что и было сделано на некоторых, близко расположенных учетных постах. При малой интенсивности движения в двух направлениях на перегоне (до 400 физических единиц в час) один учетчик может одновременно проводить обследования в обоих направлениях. Для проведения учета интенсивности движения на перегоне удобно пользоваться механическим одиннадцатиклавишным счетчиком, выпускаемым Киевским заводом медицинской аппаратуры. При помощи этого прибора можно зарегистрировать до 11 разных видов транспорта в одном направлении или 5 видов по обоим направлениям. При каждом отсчете одновременно с суммированием отдельных транспортных средств автоматически производится суммирование общего количества проехавших автомоби-

лей. После 6-минутного учета итоги заносятся в сводную таблицу.

В процессе проведенного обследования все транспортные средства подразделялись на 9 групп: грузовые легковые, средние и тяжелые; автобусы тяжелые и средние; легковые индивидуальные, ведомственные и такси; мотоциклы.

Т а б л и ц а 2

Относительная погрешность определения
суточной интенсивности движения при
 $T = 6$ минут

Кол-во наблюдений	Схема отбора внутри часа	Мустаяэ тез $N_{\text{сут.}} = 6706$		пр. Карла Маркса $N_{\text{сут.}} = 6249$	
		оценка суточной интенсивности	отклонения от фактич. интенсивности, %	оценка суточной интенсивности	отклонения от фактич. интенсивности, %
n = 1	00-06	6540	2,48	5970	4,46
	06-12	6550	2,32	6290	0,66
	12-18	6770	0,96	6240	0,14
	18-24	6750	0,66	6510	4,17
	24-30	6520	2,78	6050	3,19
	30-36	6560	2,18	6680	6,90
	36-42	6720	0,21	5980	4,31
	42-48	6820	1,70	6050	3,19
	48-54	7000	4,39	6300	0,81
	54-60	6650	0,84	6420	2,74
	Л00-06	6630	1,13	6050	3,18
	П06-12				
	Л30-36	6570	2,03	6340	1,45
	П36-42				
n = 2	Л00-06				
	П06-12	6600	1,58	6195	0,86
	Л30-36				
	П36-42				

Для контроля точности выборочного метода в 1968 году в двух сечениях проводилось одновременно сплошным и выбороч-

ным методами обследование весной и летом: в будние дни в течение суток, а в воскресные - в течение 14 часов (6.00 - 20.00).

Т а б л и ц а 3

Относительная погрешность определения
суточной интенсивности движения при
 $\tau = 12$ минут

Кол-во наблюдений	Схема отбора внутри часа	Мустамяэ тез		пр. Карла Маркса	
		оценка суточной интенсивности	отклонения от фактич. интенсивн., %	оценка суточной интенсивности	отклонения от фактич. интенсивн., %
n = 1	00-12	6595	1,66	6125	1,99
	12-24	6770	0,96	6375	2,02
	24-36	6535	2,55	6370	1,94
	36-48	6770	0,95	6015	3,74
	48-60	6860	2,30	6360	1,77

Как видно из табл. 2, 3, погрешность определения суточной интенсивности движения выборочным методом при $\tau = 6$ минут и количестве наблюдений, равным единице, колеблется в пределах от 0 до 7%, а при $\tau = 12$ минут - не превышает 4%, что находится в пределах точности, предъявляемой к расчетам как пропускной способности, так и конструкций дорожных одежд. При увеличении количества наблюдений данного объема выборки или увеличения самого объема точность оценки суточной интенсивности движения возрастает, что подтверждается данными таблиц 2, 3.

Как известно, интенсивность движения в течение часа характеризуется внутричасовой неравномерностью. Приведенные в таблицах 2,3 данные свидетельствуют о том, что внутричасовая неравномерность влияет на точность определения суточной интенсивности движения, однако для практических целей этим влиянием можно пренебречь. Зависимость погрешности определения суточной интенсивности движения (Δ_{τ}) от внутричасовой неравномерности ($K_{вч}^{\tau}$) может быть описана [2] выражением

$$\Delta_{\tau} = \gamma_{\tau} (K_{вч}^{\tau} - 1), \quad (2)$$

где γ_{τ} - коэффициент, зависящий от объема выборки по времени.

В ы в о д ы

1. Накопление информации о загрузке сети магистральных улиц городов должно осуществляться с и с т е м а т и ч е с к и по всей сети путем проведения натуральных обследований:

- а) сплошным методом - I раз в три года в каждый из сезонов,
- б) выборочным методом - не менее I раза в год в сезон максимальной загрузки, выявленной при проведении обследований сплошным методом.

2. Для оперативного получения данных об интенсивности движения может быть рекомендован выборочный метод наблюдения; погрешность определения суточной интенсивности движения выборочным методом не выходит за рамки предъявляемых требований.

3. Необходимо путем проведения исследований в городах разной величины и уровня автомобилизации, а также обобщения этих материалов выявить переходные коэффициенты от С-часовой интенсивности к суточной для разных видов транспорта. В порядке первого приближения нами рекомендуется при отсутствии материалов наблюдения* принимать эти коэффициенты по табл. 4, полученные в результате обработки материалов³ натуральных обследований по ряду городов страны (Свердловск, Караганда, Таллин, Чимкент, Усть-Каменогорск, Актюбинск).

³ Обработку материалов натуральных обследований по вышеуказанным городам выполнил С.А. Ваксман.

Удельный вес С-часовой интенсивности движения
от суточной и 12-часовой (в процентах)

Вид транспорта	Час пик	Интенсивность движения			
		4-часовая (с 7 до 11)	8-часовая (с 8 до 16)	12-часовая (с 7 до 19)	16-часовая (с 5 до 21)
Поток, в приведенных единицах	8,0	27,5	58,5	82,0	90,5
	9,7	33,0	72,0		
Поток, в натуральных единицах	7,6	25,5	56,0	79,5	89,5
	9,6	32,5	71,0		
Грузовые	9,2	31,0	65,0	90,0	95,0
	10,3	34,0	75,0		
Легковые	7,4	19,0	44,5	67,5	82,0
	10,3	29,0	67,5		
Автобусы	10,2	28,0	44,0	71,5	86,5
	11,3	37,5	66,0		
Мототранспорт	11,0	17,5	40,0	72,5	86,0
	13,3	28,5	60,0		

Примечание: В числителе значение удельного веса С-часовой интенсивности от суточной, в знаменателе — от 12-часовой.

Л и т е р а т у р а

1. В.К. В а л ь ц. Возможности применения выборочного метода для определения интенсивности движения и структуры транспортных потоков на городских улицах. Сб. "Проблемы городского транспорта" (в помощь проектировщику, тема 4), Киев 1966.
2. С.А. В а к с м а н, С.С. К и с л и ц ы н. Выборочный метод обследования потоков на сети движения. Сб. Трудов Уральского политехнического института № 169, Свердловск 1969.
3. Р.А. Д а н ц и г, С.А. В а к с м а н и др. Методические указания по комплексным транспортным обследованиям в городах (проект). Свердловск 1968.
4. W. T. A d a m s. Five-minute Cluster Sampling for Determining Urban Traffic Volumes. HRB Proceeding of the 34th Annual Meeting. Washington 1955.
5. Th. M u r a n y i. Zeitgemässe Anwendung der "Sampling-Methode" bei Verkehrszählung. "Strasse und Autobahn" H.6, 1956.
6. G. K e i t h. Evaluation of the Six-minute Sample Count Procedure. "Traffic Engineering" No. 2, 1962.
7. S. L y l y. The Variation Patterns of Traffic Flow as the Basis of Traffic Census Methods. Finland's Institute of Technology, Scientific Researches No.28, Helsinki 1968.
8. Ф. Й е й т с. Выборочный метод в переписях и обследованиях (перевод с англ.). М. 1965.
9. G. W e i s e. Die Strassenverkehrszählung 1965 in der DDR. "Die Strasse" H.4, 1966.

S.Vaksman, I.Pihlak

Some Aspects of Traffic Census on Arterial
Streets

Summary

The paper contains sampling methods for estimating the daily traffic (or C-hour traffic) on arterial streets. The classification of the sampling traffic counts from the statistical point of view is given: the factor method, the cluster sampling and the multistage sampling.

The traffic counts at six or twelve minute sample intervals of each hour are recommended for estimating the 24 or C-hour traffic volume.

The results of the traffic census in Tallinn in 1968 indicated that by the six minute sample of each hour the 24 hour traffic may be estimated with an accuracy of 7 per cent and by the twelve minute sample with an accuracy of 4 per cent which may be considered very satisfactory.

A table of the fractions of the C-hour traffic flows according to the daily or twelve hour traffic is presented.

УДК 625.712:625.731.1:624.131.436

К.-Т.К. Грюнбаум

ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И
ОТТАИВАНИЯ ГРУНТОВ ПОД УЛИЦАМИ ТАЛЛИНА

Причиной появления трещин и пучин на покрытиях нежесткого типа может быть промерзание подстилающих грунтов, теряющих после размораживания до 50% своей несущей способности.

Вопросам появления трещин и пучин на автомобильных дорогах посвящена специальная литература. О причинах появления трещин и пучин на городских улицах почти нет никаких исследований.

По Н.А. Пузакову [1] в теле всякого земляного полотна по условиям работы можно выделить две зоны:

1) активную зону, расположенную на глубину промерзания, в которой локализуется действие переменных нагрузок и погодных факторов,

2) нижележащее основание, расположенное обычно на глубину ниже 1,5 м, подверженное в основном воздействию постоянной нагрузки от веса вышележащих слоев грунта и дорожной одежды.

Независимо от типа местности активный слой земляного полотна имеет определенный годовой цикл работы: увлажнение осенью и зимой, просыхание весной и летом, промерзание зимой и оттаивание весной.

На глубину зимнего промерзания грунта влияет множество факторов: интенсивность и длительность воздействия температуры наружного воздуха, солнечная радиация, распределение

температур в грунте в предзимний период, условия тепловой изоляции поверхности, условия влажностного обмена с воздухом, физические свойства грунта, воздействие сооружений и различных технических мероприятий и другие. При этом важнейшие физические свойства грунтов, такие как степень увлажнения активного слоя и зависящие от нее теплопроводность, теплоемкость, способность выделять и поглощать скрытую теплоту, сами меняются в зависимости от климатических условий района и метеорологических условий года, влияя в свою очередь на ход процесса промерзания.

Климатические условия района могут быть охарактеризованы средней многолетней температурой воздуха, а также средней многолетней суммой градусо-дней холода за зиму и градусо-дней тепла за весну, средним годовым количеством осадков и испарения, их распределением по месяцам и балансом влаги. Погодные условия данного года характеризуются степенью отклонения перечисленных выше показателей от их средних многолетних значений.

Климатические условия города значительно отличаются от окрестностей, где располагаются загородные автомобильные дороги, и представляют собой сложное явление, определяемое не только характером застройки, озеленением, но и рельефом местности. Большую роль играет наличие промышленных предприятий [2].

Газообразные и твердые (дым, сажа) отходы промышленности наряду с пылью образуют пелену, расстилающуюся над городом. Загрязнение атмосферы уменьшает ее прозрачность, что приводит к уменьшению прямой солнечной радиации, а также эффективного излучения.

При наличии снежного покрова осаждение сажи и дыма способствует загрязнению его поверхности, а следовательно, и уменьшению его альбедо. Благодаря этому обстоятельству в городе снег сходит на одну-две недели раньше, чем в его окрестностях. Типичной деятельной поверхностью в городе являются железные крыши, каменные стены домов, покрытые асфальтом улицы. Испарение с этих поверхностей, а следовательно, и расходы тепла на испарение незначительны, так как осадки, не задерживаясь, стекают по водосточным трубам и канализации.

Т а б л и ц а I

Среднемесячные и годовые температуры в Таллине
за 70 лет (1866 - 1935 гг.)

Месяцы Район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
	Окраина	-5,4	-5,8	-3,2	2,4	8,3	13,2	16,4	15,0	11,1	5,7	0,8	-3,8
Центр	-4,8	-5,2	-2,5	2,9	8,8	13,7	17,0	15,8	11,6	6,3	1,4	-3,2	5,2

Скорость ветра, а следовательно, и турбулентный обмен в городе ослаблены. Все это в совокупности повышает температуру воздуха города по сравнению с окрестностями, особенно в вечерние часы, когда здания, сильно нагретые днем, постепенно отдают свое тепло воздуху. В среднем в городе теплее по сравнению с окрестностями более чем на $0,5^{\circ}$. Это хорошо видно из таблицы I, где приведены данные среднемесячных температур воздуха за 70 лет в центре и на окраине Таллина [3].

Повышение температуры в городе по сравнению с окрестностями растет по мере увеличения города и его застройки. В различных частях города температурный режим неодинаковый, он зависит от наличия зеленых насаждений, ширины улицы, материала зданий.

Исследования водно-теплового режима, в том числе и сезонного промерзания и оттаивания, под улицами Таллина начаты осенью 1967 года. В таблице 2 приведены некоторые величины среднемесячных метеорологических данных в исследуемые зимы 1967/68 и 1968/69 гг. и их сравнение с многолетними средними (не менее 10 лет). Из таблицы видно, что зимы 1967/68 и 1968/69 гг. были более суровыми по сравнению с многолетними средними - суммы градусо-дней холода в зиму 1967/68 гг. превышали многолетние в 1,7 раза и в зиму 1968/69 гг. в 1,9 раза. Величина средней температуры за зимний сезон 1967/68 гг. превышала многолетние в 1,9 раза, в зиму 1968/69 гг. - в 2 раза. В это время расчетная длительность зимнего сезона 1967/68 и 1968/69 гг. составляла от средней многолетней только 0,9.

Наблюдения проводятся на 9 улицах с 24 наблюдаемыми участками и на площадке ТПИ. Участки различаются между собой шириной улицы, конструкциями дорожных одежд, подстилающими грунтами и условиями увлажнения. Наблюдения на участках ведутся в скважинах, из которых 28 находятся на проезжей части, II на тротуарах, I4 на газонах и 4 на площадке ТПИ. Скважины закреплены специальными перфорированными полиэтиленовыми ($D_{\text{внутр.}} = 56$ мм) и стальными ($D_{\text{внутр.}} = 68$ мм) тру-

Таблица 2

Некоторые величины среднемесячных метеорологических факторов холодного периода года по многолетним данным и по данным 1967, 1968 и 1969 гг.

	Период	Месяцы					
		XI	XII	I	II	III	IV
Средняя температура воздуха, °C	1967/68	3,1	-6,9	-10,8	-4,8	-0,7	4,4
	1968/69	0,3	-2,0	-10,0	-8,8	-6,9	3,2
	Многолетние	0,8	-3,8	-5,4	-5,8	-3,2	2,4
Максимальная температура воздуха, °C	1967/68	5,5	-3,4	-7,6	-1,9	2,3	8,6
	1968/69	2,1	0,0	-6,8	-5,4	-1,6	7,4
	Многолетние	3,3	-0,5	-2,6	-3,8	0,1	5,9
Минимальная температура воздуха, °C	1967/68	0,6	-11,3	-14,6	-8,7	-3,7	0,6
	1968/69	-1,6	-4,2	-13,6	-12,6	-12,3	-0,2
	Многолетние	-0,6	-4,9	-7,5	-9,3	-6,3	-1,0
Сумма осадков, мм	1967/68	32,3	75,7	48,8	35,1	26,0	27,7
	1968/69	60,6	26,3	12,0	31,6	14,4	30,1
	Многолетние	63,2	40,8	33,3	30,5	28,6	38,7
Высота снежного покрова, см	1967/68	0	18,3	36	46	39	0
	1968/69	0	5	14	30	35	18
	Многолетние	2	7	15	26	24	7
Минимальная температура поверхности почвы, °C	1967/68	-1	-15	-16	-12	-6	-1
	1968/69	-2	-6	-15	-15	-16	-1
	Многолетние	-	-	-	-	-	-
Сумма градусо-дней холода	1967/68	759					
	1968/69	837					
	Многолетние	451					
Расчетная длительность зимнего сезона, суток	1967/68	119					
	1968/69	121					
	Многолетние	132					
Величина средней температуры за зимний сезон, °C	1967/68	-6,4					
	1968/69	-6,9					
	Многолетние	-3,4					

бами толщиной стенки < 4 мм. Пространство между трубами и стенками скважины тщательно заполнено 5 мм фракцией гранитного щебня. В скважинах круглогодично измеряют глубину залегания грунтовых вод, фиксируют границы промерзания и оттаивания, измеряют в разных слоях основания и земляного полотна влажность и плотность и фиксируют на участках состояние дорожного покрытия.

В основном глубину промерзания и оттаивания измеряют мерзлотомерами системы Данилина, которые находятся в скважинах. Но так как между мерзлотомером и окружающей средой находится слой воздуха, стенка трубы и фильтрующий слой из щебня, можно считать, что мерзлотомер дает показание с некоторой ошибкой. Для выяснения разницы между показаниями мерзлотомеров в скважинах с полиэтиленовыми и стальными трубами от залегания нулевой изотермы, а также для выяснения изменений температуры грунта по глубине в течение года, на площадке ТПИ между скважинами с полиэтиленовыми и стальными трубами поставлен комплект термометров сопротивления. Термометры поставлены на глубины 0,20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 и 180 см. Изменение температуры песчаного грунта по глубине в течение холодного периода 1968/69 г. приведено в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

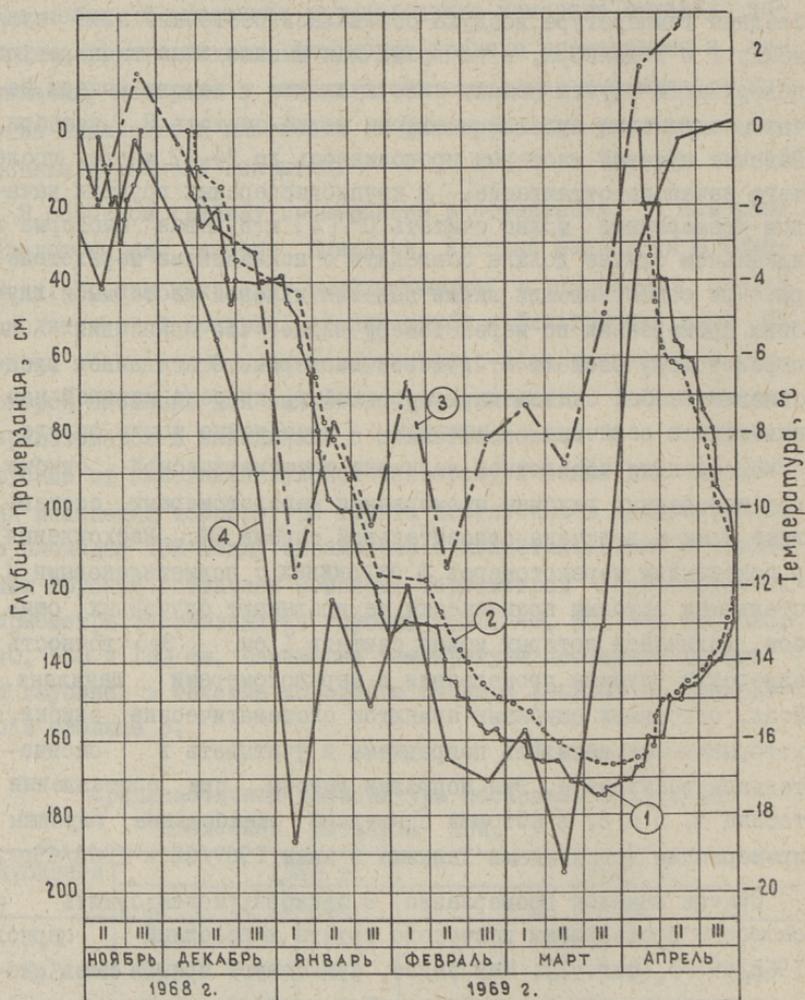
Среднемесячная температура песчаного грунта на оголенной площадке ТПИ, °С

Глубина, м	1968 г.			1969 г.			
	X	XI	XII	I	II	III	IV
0,0	3,4	0,5	-1,7	-7,7	-9,8	-7,8	I,9
0,2	4,5	I,4	0,I	-5,7	-8,I	-6,7	I,4
0,4	5,I	I,9	0,7	-4,2	-6,9	-5,6	I,0
0,6	5,7	2,4	I,4	-2,3	-5,3	-4,8	0,5
0,8	6,0	2,7	I,8	-I,0	-4,I	-4,2	-0,2
I,0	6,4	3,0	2,I	-0,I	-3,0	-3,6	-0,5
I,2	7,I	3,8	2,8	0,9	-I,4	-2,3	-0,3
I,4	7,6	4,3	3,3	I,6	-0,2	-I,2	-0,2
I,6	8,I	4,7	3,8	2,2	0,6	-0,2	0,2
I,8	8,3	5,2	4,2	2,7	I,2	0,4	0,5

П р и м е ч а н и е: Температура грунтов измерялась термометрами сопротивления.

Сопоставление глубин промерзания и оттаивания по мерзлотомерам с передвижением нулевой изотермы в песчаном грунте в холодный период 1968/69 гг. приведено на фиг. 1. Как видно, средняя температура воздуха оставалась постоянно ниже нуля между 1 и 5 декабря, в то время как минимальная температура поверхности грунта падала ниже нуля уже в начале ноября. Началом опускания нулевой изотермы можно считать 8 декабря. Падение нулевой изотермы продолжалось до 24–27 марта, после чего началось оттаивание. В крупнодисперсных грунтах началом промерзания можно считать 0° [4] и нулевая изотерма в идеальном случае должна совпадать с показаниями мерзлотомера. При сопоставлении линии падения нулевой изотермы и глубины промерзания по мерзлотомеру видно, что показания по мерзлотомеру отстают от нулевой изотермы. Отставание представляет собой систематическую ошибку, природа которой нам известна и величина которой достаточно точно определена. Средняя абсолютная величина систематической ошибки при измерениях глубины промерзания мерзлотомерами составляет 9 см и величина относительной ошибки 8%. Расхождения в показаниях мерзлотометров в скважинах с полиэтиленовыми и стальными трубами практически не превышают случайных ошибок, величиной которых можно считать 1 см. Это точность измерения глубины промерзания с мерзлотомерами Данилина. Итак, основными ошибками являются систематические ошибки, которые можно называть поправками и учитывать в окончательном результате. Эти поправки учтены при составлении таблиц 4, 5 и 6, в которых приведены наибольшие глубины промерзания под улицами Таллина в зимы 1967/68 и 1968/69 гг.

Считая началом промерзания 8 декабря, можем судить о скорости промерзания песчаного грунта в холодный период 1968/69 гг. (фиг. 2). Как видно, существует прямая связь скорости промерзания с суммой градусо-дней холода и средней температурой воздуха. В начале промерзания фиксировали самую большую среднедекадную скорость промерзания – 6,7 см/сутки. В конце декабря и начале февраля во время оттепелей скорость промерзания падала до нуля, т.е. промерзание практически прекращалось. Среднемесячные скорости промерзания были в декабре – 1,7; январе – 3,0; феврале – 1,0 и в марте – 0,6 см/сутки. Соответственно месячные суммы градусо-дней холода были 65, 311, 247 и 213.



Фиг. 1. Сопоставление глубины промерзания и оттаивания по мерзлотомеру Данилина с передвижением нулевой изотермы в песчаном грунте на оголенной площадке ТПИ:
 1 - глубина залегания нулевой изотермы; 2 - глубина промерзания по мерзлотомеру Данилина; 3 - среднедекадная температура воздуха по данным метстанций; 4 - среднедекадная минимальная температура поверхности грунта по данным метстанций

Наибольшие и средние глубины промерзания под проезжей частью улиц Таллина в зимы 1967/68 и 1968/69 гг.

Улиц	№ сква- жины	Толщина изолирующего слоя, см			6	Основной грунт активной зоны	Средняя высота снегового покрова, см	Глубина промерзания, см		сред- няя
		асфаль- тобетон	ще- бень	моше- ние				1967/68	1968/69	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		I. Улицы с увлажнением выше нормального								
КМ	I-I	17	48	-				120	140	130
"	II-I	20	30	-				81 ^x	102 ^x	91 ^x
"	II-2	20	35	-				126	141	134
"	II-3	18	27	-				105 ^x	124 ^x	115 ^x
"	III-I	17	43	-				118	132	125
"	IV-I	18	40/50	-				140	155	148
С	I-I	15	30	-				134	152	143
"	II-3	17	33	-				133	152	143
"	III-I	17	38	-				135	152	144
"	III-2	15	30	-				146	156	151
"	IV-I	15	18	-				132	139	136
"	IV-3	16	34	-				129	141	135
"	V-2	15	28	-				140	157	149
ТУ	II-2	6	39	-				123	149	136

Продолжение таблицы 4

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
М	I-I	I2	32	-	песок мелкозернистый	-	нет данных	I40	I40
"	II-I	I2	35	-	"	-	I58	I61	I60
"	III-2	I6	32	-	"	-	I42	I45	I44
ТУ	I-I	I2	33	-	песок пылеватый	-	I19	I23	I21
ПМ	II-I	I5	35/35	-	песок мелкозернистый	-	I15	I48	I32
"	II-2	I5	40	-	"	-	нет данных	I51	I51
"	III-I	I4	45/40	-	"	-	I19	I57	I38
Л	II-2	8	-	25	песок пылеватый	-	нет данных	I18	II8
Т	II-2	II	32	-	песок мелкозернистый	-	"	I32	I32
П	I-I	7	10/28	-	"	-	I12	I32	I22
"	II-2	7	8/25	-	"	-	89 ^x	II3 ^x	IOI ^x
К	I-2	7	-	24	песок пылеватый	-	нет данных	I43	I43
"	II-2	I2	-	23	"	-	I44	I88	I66

Примечания. I) Со звездочкой (x) обозначены скважины, которые находятся на краю проезжей части.

2) Числитель величины толщины изолирующего слоя - толщина щебеночного слоя, знаменатель - гравийного слоя.

Наибольшие и средние глубины промерзания под тротуарами
улиц Таллина в зимы 1967/68 и 1968/69 гг.

Улиц а	№ про- филя	Толщина изо- лирующего слоя, см		Основной грунт активной зоны	Высота снежного покрова, см		Глубина промерзания, см			
		ас- фальт	бенз		1967/68	1968/69	1967/68	1968/69	средняя	
К-М	II-4	5	II	песок мелкозер- нистый	5	9	7	II2	II6	II4
"	II-3	5	II	"	4	8	6	IOI	II3	IO7
С	II-I	5	IO	"	60	50	55	нет дан- ных	II0	II0
"	IY-5	5	I5	"	I5	I	8	I2I	I46	I34
ТУ	I-2	4	8	"	IO	нет дан- ных	IO	94	нет дан- ных	94
М	II-3	5	I5	"	I7	2	IO	89	IO7	98
ПМ	II-4	5	I9	"	2	2	2	79	III	95
Л	II-3	5	5	песок пылеватый	нет дан- ных	2	2	нет дан- ных	95	95
Т	II-I	6	5	песок мелкозер- нистый	"	II	II	"	84	84

Т а б л и ц а 6

Наибольшие и средние глубины промерзания под газонами
улиц Таллина в зимы 1967/68 и 1968/69 гг.

Улица	№ про- филя	Толщина изоли- рующего слоя, см	растительный грунт	Основной грунт активной зоны	Высота снежного покрова, см		Глубина промерза- ния, см	
					1967/68	1968/69	1967/68	1968/69
КМ	III-2	нет		песок, мелкозернис- тый	нет дан- ных	21	нет дан- ных	78
С	II-2	45		"	"	36	"	102
"	II-4	10		"	"	26	"	98
"	IY-2	55		"	50	41	"	90
"	IY-4	15		"	81	39	нет дан- ных	87
"	Y-1	40		"	40	12	75	164
ТУ	II-1	15		песок пылеватый	нет дан- ных	26	нет дан- ных	80
М	III-1	20		песок мелкозернис- тый	"	30	"	68
ПМ	I-1	20		песок пылеватый	"	30	"	84
Л	II-1	15		"	"	20	"	119
П	I-3	20		песок мелкозернис- тый	"	54	"	90

Амплитуда колебаний температуры в грунте зависит от теплопроводности грунта и характера его поверхности. Условия теплоотдачи с поверхности элементов улицы, т.е. среднее за зиму термическое сопротивление теплоизоляции поверхности элементов улицы учитывается толщиной слоя грунта, эквивалентного по величине термического сопротивления сопротивлению теплоотдачи с поверхности [5].

Толщина эквивалентного слоя ($h_э$), характеризующая условия теплоизоляции поверхности в случае наличия снежного покрова или иной тепловой изоляции, определяется по формуле

$$h_э = \lambda \left(\frac{1}{\alpha} + \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\lambda_i} \right), \quad (I)$$

где λ - средний коэффициент теплопроводности слоев теплоизоляции, $\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{град} \cdot \text{час}}$;

h_i и λ_i - соответственно толщина слоя и коэффициент теплопроводности i -го слоя изоляции;

α - коэффициент теплоотдачи с поверхности, $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{град} \cdot \text{час}}$.

Теплообмен между покрытием одежды и атмосферой происходит главным образом за счет конвекции (α_k) и излучения (α_u), т.е.

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_u. \quad (2)$$

Так как дорожная одежда состоит из слоев с различными теплофизическими свойствами, то среднюю величину λ можно определить по формуле

$$\lambda = \frac{h_g}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\lambda_i}}, \quad (3)$$

где h_g - действительная толщина дорожной одежды, в м.

На фиг. 3 приведены зависимости глубины промерзания от эквивалентной толщины изолирующего слоя под различными элементами улиц Таллина.

График составлен по данным таблиц 4, 5 и 6 с использованием формул (2), (3), (4) и (5). Коэффициенты теплопроводности различных теплоизоляционных материалов назначены

по справочным данным [5, 7, 8] и приняты для асфальтобетона 0,65, известнякового щебня 2,9 и для гравия 0,3 $\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{град} \cdot \text{час}}$. Теплопроводность снега вычислена по формуле Б.В. Проскурякова

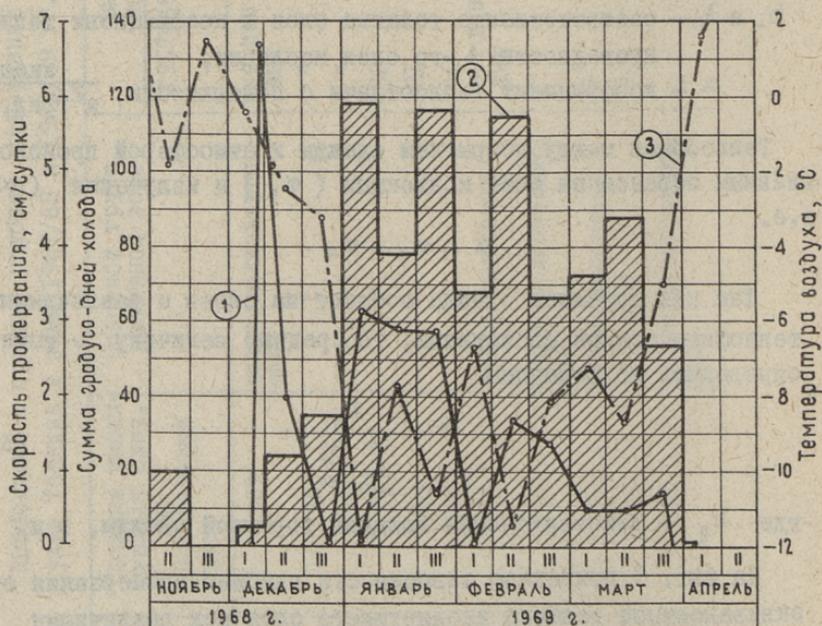
$$\lambda_{\text{сн}} = 0,018 + 0,87 \rho_{\text{сн}}, \quad (4)$$

где $\rho_{\text{сн}}$ - плотность снежного покрова.

Как видно, четко выражена линейная связь глубины промерзания с эквивалентной толщиной изолирующего слоя. Соответственные коэффициенты корреляции приведены на графике. Действительную глубину промерзания ($H_{\text{пр}}$) в наблюдаемые зимы можно определить с помощью графика по формуле

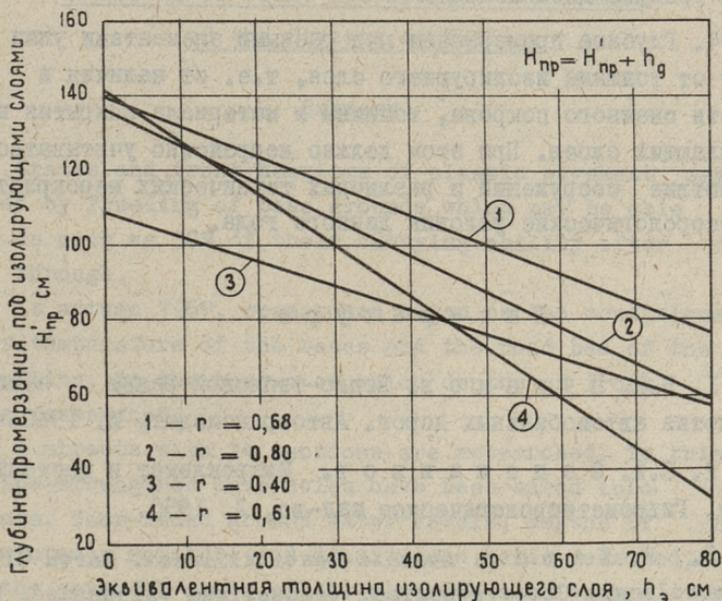
$$H_{\text{пр}} = H'_{\text{пр}} + h_{\text{г}}, \quad (5)$$

где $H'_{\text{пр}}$ - глубина промерзания под изолирующими слоями в м.



Глубину промерзания под газонами можно, в зависимости от толщины снегового покрова, определить непосредственно по графику, так как $h_g = 0$ и $h_э = h_{\text{снег}}$.

Анализируя данные графика, можем сказать, что оголенный от снега эквивалентный слой одежды толщиной 10 см уменьшает в зависимости от суровости зимы глубину промерзания на 8-10 см. Соответствующая эквивалентная толщина снегового покрова и одежды тротуаров уменьшает глубину промерзания на 6 см, слой снега в 10 см на газонах уменьшает глубину промерзания на 14 см. Последнее хорошо совпадает с данными других авторов [6], так как обычно считают, что слой рыхлого снега в 1 см уменьшает на 2 см глубину промерзания, а слой уплотненного снега в 1 см - на 1 см.



Фиг. 3. Зависимость глубины промерзания от эквивалентной толщины изолирующего слоя: 1 - под оголенной проезжей частью в зиму 1968/69 гг. 2 - то же, в зиму 1967/68 гг.; 3 - под тротуарами со снеговым покровом, средняя 1967/68 и 1968/69 гг.; 4 - под газонами со снеговым покровом в зиму 1968/69 гг. r - коэффициент корреляции

В ы в о д ы

Двухлетние наблюдения за сезонным промерзанием и оттаиванием грунтов под улицами Таллина позволяют сделать следующие выводы:

1. При измерении глубины промерзания мерзлотомерами Данилина в скважинах с полиэтиленовыми и стальными трубами величины глубины промерзания должны быть в ходе промерзания увеличены на коэффициент 1,08.
2. Расхождения в показаниях мерзлотомеров в скважинах с полиэтиленовыми и стальными трубами практически не превышают 1 см.
3. Скорость промерзания грунта имеет прямую связь с суммой градусо-дней холода.
4. Глубина промерзания под разными элементами улиц зависит от толщины изолирующего слоя, т.е. от наличия и плотности снежного покрова, толщины и материала покрытия и подстилающих слоев. При этом должно непременно учитываться воздействие сооружений и различных технических мероприятий и метеорологические условия данного года.

Л и т е р а т у р а

1. Н.А. Пуз а к о в. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог. Автотрансиздат, М. 1960.
2. С.А. С а п о ж н и к о в. Микроклимат и местный климат. Гидрометеорологическое изд-во, Л. 1950.
3. К. K i r d e. Andmeid Eesti kliimast. Tartu Ülikooli Meteoroloogia Observatooriumi teaduslikud väljaanded, Nr. 3, Tartu 1939.
4. М.Н. Г о л ь д ш т е й н. Деформации земляного полотна и оснований при промерзании и оттаивании. Труды ЦНИИ, вып. 16, Трансжелдориздат, М. 1948.
5. В.С. Л у к ь я н о в, М.Д. Г о л о в к о. Указания по определению расчетной глубины промерзания грунта. Всесо-

юзный научно-исследовательский институт железнодорожного строительства и проектирования, сообщение № 58, М. 1955.

6. Carl B. Crawford. Frost action-construction hazard. "Engineering and Contract Rec.", No.1, 1968.

7. В.М. Сиденко. Расчет и регулирование водно-теплового режима дорожных одежд и земляного полотна. Автотрансиздат, М. 1962.

8. Л.В. Гуревич, Ю.С. Ланцберг, К.П. Страхов. Справочник проектировщика городских дорог. Изд-во литературы по строительству, М. 1968.

K.-T. Grynbaum

On Depths of Frost Research of the Ground
of the Streets of Tallinn

Summary

Cracks and frost heavings of elastic pavement may be caused by freezing of base grounds which may be able to lose as much as 50% of their carrying ability after freezing through.

In autumn 1967, researches began on the conditions of water-temperature of the bases and the road bed of the streets in Tallinn, in the course of which depths of frost are being researched.

9 streets with 24 sections are researched. To this end 57 pipe-strengthen bore-holes have been bored into the streets. Year-round ground water levels, depths of frost (in winter), moisture and density are being measured, these and the pavement state of the research section are being fixed.

The depths of frost are measured by means of Danilin depth of frost meters and resistor thermometers. The paper gives in zero degrees isotherms changes in sand soil when freezing and its differing from the readings of Danilin depth of frost meter.

The paper also gives the dependence of the freeze speed of sand soil on summary degree-days of frost and on arithmetical mean air temperature.

The major factors affecting the penetration of frost into the ground are the winter air temperatures, the surface cover characteristics, and the thermal properties of the soil. The given depths of frost depend also on the thickness of the isolation stratum and winter air temperature.

УДК 629.113.004:62Г.43

Р.Ю. Левет, Х.Х.Хедреярв

ОБ ИЗМЕНЕНИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
МАСЛА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ

Эксплуатационная практика передовых капиталистических стран (США, Англия и др.) имеет опыт применения спектрального анализа масел для предупреждения аварийного выхода двигателей внутреннего сгорания из строя вследствие повышенного износа. В результате применения спектрального метода диагностики средний пробег автомобилей до появления неисправностей увеличился в 2,5 раза - с 64000 до 160000 км [1].

Смену масла и фильтров, а также обслуживание двигателей производят теперь только по рекомендации лаборатории [2].

Введение спектрального анализа масла на тепловозах позволило значительно повысить срок службы дизелей, снизить аварийность и удешевить их ремонт [3].

Такой опыт имелся и на отечественных железных дорогах. При существующей системе планово-предупредительного обслуживания примерно 70% дизелей ставится в ремонт со значительным недопробегом по износному состоянию. Регулярный контроль состояния двигателей с применением спектрального анализа масла позволяет выявить машины, эксплуатация которых может быть продолжена [4].

Применение высококачественных моторных масел с присадками существенно повысит срок службы и эксплуатационную надежность двигателей, дает возможность увеличить срок службы и сократить расход масла на угар, уменьшить затраты на техническое обслуживание системы смазки двигателей.

Необходимая периодичность смены масла в основном определяется качеством применяемого масла и масляных фильтров, техническим состоянием двигателя, качеством применяемого топлива и условиями эксплуатации автомобиля.

Применение эффективных фильтров улучшает извлечение из масла загрязняющих примесей и увеличивает продолжительность его работоспособности. Применение низкокачественного топлива ухудшает процесс сгорания и вызывает загрязнение масла продуктами неполного сгорания и разжижение масла негоревшим топливом. Увеличение нагрузки двигателя, эксплуатация автомобиля на запыленных дорогах и в условиях частых пусков и остановок также вызывают уменьшение сроков службы масла. Ухудшение технического состояния двигателя и повышенный износ цилиндро-поршневой группы увеличивает необходимость более частой смены фильтрующих элементов и масла.

Однако известно [5] у автомобилей, находившихся в удовлетворительном техническом состоянии и эксплуатируемых на дорогах с твердым покрытием, применение масел селективной очистки с высоким индексом вязкости, с эффективными присадками типа СБ-3 и ВНИИ-НП-360. Срок службы таких масел может быть увеличен в хороших условиях до 9 тыс. км без существенного ухудшения состояния двигателя.

В настоящее время общей тенденцией в области моторных масел является увеличение срока смены картерного масла в двигателе до 10000 - 16000 км пробега автомобиля, что достигается соответствующим подбором масляной основы и использованием композиции присадок, включающих противоизносные [6].

С другой стороны, известно [7], что ряд присадок легко выпадает из масла уже при хранении. По мере работы двигателя моющая присадка, растворенная в масле, постепенно срабатывается и переходит в нерастворимое состояние, вследствие чего концентрация ее в растворе масла снижается.

Известно также [8], что все металлосодержащие присадки к маслам при срабатывании дают нерастворимые в масле неорганические соединения (сульфаты, сульфиты и окислы металлов, входящих в состав присадок).

Кроме того, масла с высокими моющими свойствами накапливают больше нерастворимых продуктов, образующихся при окислении масла или попадающих в него из всасываемого воздуха. Это объясняется тем, что в маслах с присадками загрязнения тонко диспергированы, хуже задерживаются фильтрами и образуют меньше отложений на поверхности деталей. Для предотвращения отрицательного влияния диспергированных в масле загрязнений на износ цилиндров и поршневых колец двигателя должны иметь весьма совершенную систему тонкой очистки масла. Суммарное содержание механических примесей в масле также во многом зависит от правильного режима смены фильтрующих элементов [9].

Для сравнения эффективности работы фильтрующих элементов Реготмас ЭФ-КП с отверстиями подогрева и ЭФ-КП-С2 - без отверстий подогрева, изготавливаемые Таллинской фабрикой "Стандарт", а также центробежных маслоочистителей, в Таллинском политехническом институте на кафедре автотранспорта совместно с кафедрой технологии органических веществ были проведены эксплуатационные испытания грузовых автомобилей ГАЗ и ЗИЛ с анализом изменения физико-химических показателей масла АС 8 с присадкой ВНИИ-НП-360 при увеличении срока службы масла.

Срабатываемость присадки определили по содержанию основания присадки в пробах отработавшего масла спектроскопическим методом.

Ниже приводится краткий обзор методики и основные результаты указанной исследовательской работы.

I. Методика эксплуатационных испытаний автомобилей

Эксплуатационные испытания группы автомобилей проводились в Таллинском грузовом автохозяйстве в летних условиях эксплуатации. Автомобили ГАЗ, эксплуатируемые по часовому режиму, работали в одну смену на городских дорогах с твердым покрытием со среднесуточным пробегом 50-60 км.

Автомобили ГАЗ и ЗИЛ, эксплуатируемые по плановому режиму, работали на междугородных перевозках, в основном на дорогах с твердым покрытием, со среднесуточным пробегом 190 - 250 км. Первое техническое обслуживание проводили по графику в межсменное время после пробега 1500 - 1800 км. Смену фильтрующих элементов производили через одно ТО-I, одновременно со сменой масла. Срок смены масла в испытательных автомобилях принят от 3000 - 12000 км,

Выбор испытательных автомобилей производился по пробегу двигателей и среднего расхода масла.

Т а б л и ц а I

Данные испытательных автомобилей

Марка автомобиля и режим работы	Гар. №	Пробег двиг. в тыс. км		Средний расход масла по отношению к расходу горючего, в %
		в начало эксплуатации	после капитального ремонта	
ГАЗ-53 Ф часовые	I74	-	13,5	2,81
	I75	-	31,3	5,85
	I77	-	1,3	4,56
	I96	-	38,6	2,19
	2I5	-	12,4	1,44
	2I8	-	5,5	2,44
ГАЗ-53 Ф плановые	23I	-	38,8	2,04
	244	42,2	-	3,03
	254	47,5	-	2,30
ЗИЛ-130 плановые	II3	12,2	-	1,44
	II4	26,6	-	2,40

Из таблицы I видно, что все часовые автомобили ГАЗ-53 Ф имели капитально отремонтированные двигатели, у которых средний расход масла по отношению к горючему колебался в широких пределах. В интересах эксперимента оставлены в числе испытательных автомобилей и те, расход масла которых явно выше нормального (гар. № I75, I77). В начале испытания

были взяты пробы масла из резервуаров пункта ТО-I. В ходе испытания, в конце испытательного пробега отдельных автомобилей были взяты пробы отработавшего масла из картеров двигателей.

Взятие пробы, долив и смена масла, смена фильтрующего элемента и проведение операции ТО зарегистрировали в специальном журнале в пункте ТО-I. Дополнительно к программе исследования к анализу подвергали пробы отработавших масел трех автомобилей ЗИЛ-ММЗ-555 из 7-ой автобазы г.Пярну, где эти автомобили работали экспериментально уже длительное время без замены масла в двигателях.

2. Методика определения физико-химических показателей отработавшего масла

Оценку работы фильтрующих элементов и центробежных маслоочистителей проводили по изменению физико-химических показателей отработавшего масла.

Определение таких физико-химических показателей, как кинематическая вязкость, кислотное число, температура вспышки, коксуемость и зольность происходило согласно методике ГОСТа. Для определения кислотного числа отработавших масел метод ГОСТа был несколько изменен для повышения точности титрования. Навеску испытываемого масла брали в количестве 1-3 г, а титровальный раствор едкого калия в спирте приготовили в 2,5 раза слабее.

Для определения механических примесей в пробах отработавшего масла пользоваться стандартным методом (ГОСТ 6370-52) нельзя, так как из-за высокой дисперсности большая часть примесей проходит в фильтрат [10]. Механические примеси определяли методом фильтрации через специально подготовленные тигли Гуча. Пористое дно тигля Гуча покрывали плотно волокнистым асбестом. Волокнистый асбест

пропитывали чистым бензином марки "Галоша". Примерно через полчаса асбест высушивали под вакуумом и плотно впрессовывали к днищу тигля. После этого тигли прокаливали в муфеле при температуре 900-950° С в течение 6-8 часов и охлаждали в эксикаторе. Впоследствии через тигли профильтровывали 40-50 мл чистого бензина и тигли прокаливали до постоянного веса. Вес определили точно 0,01 г. Таким образом подготовленные тигли позволили произвести 2-5 определений в зависимости от степени засорения масла. Пробу масла в количестве 0,4 - 0,5 л хорошо перемешивали в бутылках в течение 5-8 минут. Затем отобрали навеску в количестве 20 - 50 г в зависимости от степени засорения масла и взвешивали с точностью 0,01 г. Навеску разбавляли пятикратным количеством бензина "Галоша" и профильтровывали через подготовленные тигли Гуча. После тщательной промывки бензином фильтры подсушивали сначала под вакуумом в течение получаса, а затем в термостате при температуре 110 - 120° С до постоянного веса. Суммарное содержание механических примесей определяли по разности весов тиглей перед и после фильтрования. Нестораемые механические примеси определяли обычным методом после сжигания остатка на фильтре в муфеле при 650 - 700° С.

Спектрографическое определение содержания основания присадки в пробах отработавшего масла провели по следующей методике:

а. Приготовление проб и электродов для анализа. Пробу масла в объеме 25 мл подогревали до 70° С и центрифугировали при 2000 об/мин в течение получаса. Верхний слой масла после центрифугирования переливали в стаканы объемом в 50 мл.

В качестве электродов применялись графитовые стержни длиной 60 мм, диаметром 6 мм. Электроды подогревали при температуре 1000° С в течение пяти минут и затем опускали в стаканы с центрифугированными пробами масел. Электроды выдерживали в маслах в течение 30 минут, а после вынима-

ния из масла внешнюю поверхность электродов протирали фильтровальной бумагой. Затем электроды просушивали в муфеле при температуре $400 - 450^{\circ} \text{C}$ в течение 60 минут.

б. Приготовление эталонов. Основанием для приготовления эталонов использовали трансформаторное масло, спектрально чистое в отношении определяемых элементов Ва и Zn. В него вводили определенное количество окиси цинка и сернокислого бария.

Следующие эталоны получили разбавлением основного эталона с чистым маслом. Эталонные масла приготовили со следующими концентрациями:

№ эталона	Содержание Ва	Содержание Zn
	в %	в %
1	0,50	0,250
2	0,10	0,050
3	0,02	0,010
4	0,01	0,005

Эталонные электроды изготовляли по вышеуказанному методу. Перед пропитыванием эталонные масла перемешивались магнитной мешалкой в течение 10 минут.

в. Спектральный анализ масел. Подготовленные пробы спектрографировали на установке ИСП-28, генератор ДГ-2, сила тока 5 а. Противоположными электродами служили графитовые стержни (угол точения конусной части электрода 60°). Ширина щели спектрографа 0,012 мм, расстояние между электродами 2 мм. Время спектрографирования - 60 сек. Фотопластинки типа "Спектрографические, тип П", чувствительность 16 единиц по ГОСТу.

Из каждой пробы и эталона сделали 3 параллельных снимка. Аналитические линии: бария 2335,3 Å, цинка 3302,9 Å. Оптическая плотность спектральных линий на фотопластинке измерили при помощи микрофотометра МФ-2.

На основе эталонов построили график в координатах

$$\lg C - \Delta S,$$

где C - концентрация элементов, в %,

ΔS - относительная оптическая плотность спектральной линии.

Для увеличения точности анализа измеряли оптические плотности линий относительно фона вблизи спектральных линий и использовали полученные результаты для построения графика

$$\Delta S = S_{\text{линии}} - S_{\text{фон}}$$

График построили на основании среднего результата из трех параллельных опытов. При помощи графика определяли содержание бария и цинка в исследуемых пробах масла.

Т а б л и ц а 2

Характерные показатели исходных масел

№ п.п.	Показатель	Масло АС-8		
		из Таллинского таксомоторного парка	из А/К 3052 Г	
1.	Кинематическая вязкость, в сст. при 50° С	40,90	42,10	
		при 100° С	7,98	8,04
2.	Индекс вязкости	85,0	82,0	
3.	Содержание механических примесей в % суммарно, в т.ч. негоряемая часть	0,025	0,032	
		0,004	0,008	
4.	Кислотное число в мг КОН/г масло	0,0	0,0	
5.	Температура вспышки в открытом тигле в °С	211,0	216,0	
6.	Коксуемость в %	0,62	0,64	
7.	Зольность в %	0,49	0,52	
8.	Содержание основания присадки в %			
		бария	0,320	0,420
		цинка	0,037	0,044

Сводные данные результаты анализов проб отработанных масел АС-8

Марка авто-мобиля	Гар. или Гос. №	Пробег в км до смены масла	Тип фильтра	Кинем. вязкость, в сст. при:		Содержание мех. примесей, в %		Кислотное число в мг КОН/г	Содержание оснований, при-садки в %		Долив масла в литрах
				50° С	100° С	суммарно	не стораемая часть				
ГАЗ-53 Ф	174	3097	9Ф-КП-С2	42,0	7,89	0,195	0,124	0,34	0,48	0,049	20
	174	3030	9Ф-КП	50,8	8,16	0,312	0,147	0,37	0,42	0,047	20
	175	3527	"	49,4	9,75	1,130	0,465	1,18	0,44	0,046	11
	175	3126	9Ф-КП-С2	45,8	9,13	1,340	0,591	0,98	0,38	0,038	10
	196	6061	9Ф-КП	38,6	7,73	0,242	0,065	0,58	0,33	0,016	20
	218	7160	"	37,5	7,66	0,236	0,061	0,33	0,34	0,016	5
	231	9050	"	51,7	9,40	0,332	0,112	0,78	0,38	0,020	9
	254	10820	"	47,6	9,07	0,398	0,141	0,59	0,40	0,039	23
	311	11819	центробежн.маслоочист.	49,6	8,98	0,271	0,034	1,43	0,01	0,022	6
	314	9441	"	46,8	8,78	0,074	0,026	1,37	0,09	0,028	10
ЗИЛ-ММБ-555	35-90	39802	"	36,6	7,45	0,210	0,093	0,48	0,17	0,037	-
	61-99	51000	"	47,2	8,63	0,301	0,053	1,53	0,07	0,022	-
	53-33	89968	"	53,3	9,48	0,373	0,089	1,60	0,11	0,022	-

Т а б л и ц а 4

Данные о смене фильтрующих элементов
автомобилей ГАЗ-53 Ф

Гар. № авто- моби- ля	Срок служ- бы масла в км	Пробег фильтр. элемента в км			Суммарное со- держание мех. примесей в %, при смене мас- ла
		1-го	2-го	3-го	
174	3030	3030	-	-	0,312
215	4443	968	3475	-	0,165
196	6061	3303	2758	-	0,242
177	7017	4450	2567	-	0,478
218	7166	2409	4757	-	0,236
231	9050	2926	3919	2205	0,332
254	10820	4220	3564	3036	0,398

3. Обсуждение результатов анализа проб масел

Для получения сравнительных данных исходных масел пробы свежего масла АС-8 были взяты из двух автохозяйств. (Автоколонна 3052 Г и Таллинский таксомоторный парк).

Результаты анализов проб свежего и отработанного масла приведены в таблицах 2 и 3.

Из приведенных данных видно, что пробы свежего товарного масла отличаются в отношении содержания основания присадки. На основании анализов проб отработавших масел можно сказать следующее:

1. С увеличением срока службы масла в двигателях изменение вязкости масла не существенное. Чрезмерное увеличение вязкости наблюдается у автомобилей, двигатели которых сильно изношены.

2. Кислотное число отработавших масел, работавших с фильтрующими элементами ЭФ-КП, существенно не увеличивается. Кислотное число масел, работавших с центробежными маслоочистителями, резко отличается от предыдущих и доходит до 1,5 мг КОН на грамм масла и выше. Объясняется это; по-видимому,

тем, что центробежный фильтр извлекает из масла присадку, связанную с примесями, которая имеет щелочную реакцию. Предполагать это можно по данным анализа содержания основания присадки.

3. Содержание основания присадки в масле, работавшего с фильтрующими элементами ЭФ-КП с пробегом до 10000 км, существенно не снижается. Довольно быстро снижается содержание основания присадки при работе с центробежными фильтрами.

4. Содержание суммарных механических примесей в масле технически исправных двигателей автомобилей ГАЗ (у автомобиля гар. № 175 была развальцована центральная трубка корпуса фильтра тонкой очистки масла), работавших фильтрующими элементами ЭФ-КП, не доходит до 0,4%. По данным таблицы 4 видно, что суммарное содержание механических примесей в масле во многом зависит от режима смены фильтрующих элементов. Характерно, что содержание механических примесей в масле после пробега 6000-7000 км меньше, чем после пробега 3000 км, особенно в том случае, если срок работы первого фильтрующего элемента сокращен.

Содержание суммарных механических примесей в масле у автомобилей ЗИЛ, работавших центробежными фильтрами, не доходит до 0,5% даже при пробеге до 90000 км, а содержание нестораемой части вообще незначительно, что свидетельствует о высокой очистной способности центробежных фильтров.

В ы в о д ы

Изменение основных физико-химических показателей масла АС-8 с присадкой ВНИИ-НП-360 в двигателях автомобилей ГАЗ-53 Ф и ЗИЛ-130 в конкретных условиях эксплуатации не препятствует увеличению срока службы масла до 10000 - 12000 км.

Изменение содержания основания присадки зависит от типа фильтра тонкой очистки масла. При работе с центробежными фильтрами, в связи с быстрым снижением содержания основания

присадки, кислотное число масла почти в 2 раза больше, чем при работе с фильтрующими элементами ЭФ-КП.

Для повышения долговечности автомобильных двигателей, работающих с фильтрующими элементами ЭФ-КП, следует снижать средний уровень содержания механических примесей в масле путем сокращения срока работы первого фильтрующего элемента до 1500-1800 км пробега, т.е. до первого технического обслуживания автомобилей.

Л и т е р а т у р а

1. Oil analysis keys fleet PM program. - "Diesel and Gas Engine Progress", 1961, 27, N 11, 30-31.

2. Long - distance diagnoses of engine ailments. - "Chemical Processing", 1960, N 10, 152-154.

3. Л.К. Коллеров. Спектрографический анализ смазочных масел как средство профилактики и повышения срока эксплуатации дизельных установок. "Энергомашиностроение", 1957, № 8, стр. 38-40.

4. Э.А. Пахомов, В.В. Чанкин, С.П. Адаменко. Эксплуатационные исследования работы тепловозных дизелей с применением экспрессного спектрального анализа масел. Материалы семинара "Оценка тех.состояния машин и механизмов методом спектрального анализа масел". Москва 1969, стр. 72 - 80.

5. Д.М. Аронов. О возможных путях снижения расхода масел для двигателей. НИИАТ, сб. ст., 4, 1966, стр. 93-109.

6. Е.Г. Семенидо и др. Повышение износостойкости современных двигателей внутреннего сгорания при работе на загущенных маслах. Тезисы докладов и сообщений второго научно-технического совещания по повышению износостойкости деталей цилиндро-поршневой группы двигателей внутреннего сгорания. Гос. НИИ Машиноведения, Москва 1968, стр. 107.

7. С.Г. Колтыпин, Н.В. Горбачева. Определение основания моющих присадок в маслах, работавших в автомобильных двигателях. НИИАТ, сб. ст., 4, 1966, стр. 88-92.

8. В.Д. Резников, Ф.Н. Мерзликин, Э.Н. Аристова. Пути повышения эффективности применения моторных масел с присадками. Тезисы докладов и сообщений второго научно-технического совещания по повышению износоустойкости деталей цилиндро-поршневой группы двигателей внутреннего сгорания. Гос. НИИ Машиноведения, Москва 1968, стр. III-II5.

9. Р.Ю. Левет. О сроке смены масла и фильтрующих элементов. Труды ТПИ, серия А, № 247. Автомобильные дороги. Автотранспорт, Таллин 1969, стр. II-I9.

10. П.Н. Шапкин. Регенерация отработанных нефтяных масел. Гостоптех.издат, Москва 1960, стр. 274-277.

R.Levet, H.Hödrejärvi

About Changes of Physical and Chemical
Characteristics of Oil in Exploitation of Cars

Summary

The paper contains the methodics and results of the analysis of oil probes AC-8 in the exploitation of cars with the prolongation of date of oil use. It is determined by spectral analysis that the consistence of remained by-products in worked oil depends on the type of the filter. While working with centrifugal filters the acid number of oil is approximately 2 times greater in comparison with the work with filter elements. For the lowering of the total consistence of mechanical compounds in oil it is recommended to shorten the date of the work of the first filter element.

УДК 621.434.13.004.12

Р.Р. Силлат

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ
ЭМПИРИЧЕСКИХ ФОРМУЛ ДЛЯ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕ-
РИСТИК ДВУХТАКТНЫХ БЫСТРОХОДНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Для расчета трансмиссии и предварительной оценки динамических свойств выбранной конструкции двигателя, а также при эксплуатационных расчетах требуется знание скоростной характеристики двигателя. Так как перед изготовлением и испытанием двигателя скоростная характеристика его еще неизвестна, используются при эскизном проектировании эмпирические формулы. С другой стороны, при наличии действительных характеристик двигателя необходимы и формулы для них при математическом моделировании движения транспортных средств.

Обычно такие формулы представлены степенными рядами. Различаются они между собой количеством членов и численными значениями коэффициентов. Коэффициенты для существующих формул в основном выбраны исходя из характеристик четырехтактных двигателей с довольно эластичными характеристиками. У двухтактных двигателей эластичность обычно намного меньше — уже диапазон оборотов $n_n \dots n_m$ (от оборотов максимальной мощности до оборотов максимального крутящего момента), а часто используется характеристика и на оборотах ниже максимального крутящего момента. У двухтактных двигателей, у которых имеются дополнительные возможности изменения протекания крутящего момента (трехцилиндровые [5] и

с впускным вращающимся золотником [6]), часто на оборотах ниже максимального крутящего момента на характеристиках имеются дополнительные экстремумы — падение крутящего момента в сторону уменьшения оборотов меньше.

Так как при расчете характеристик двигателя по эмпирической формуле обычно задается максимальная мощность, то в сущности формула представляет безразмерную характеристику, умноженную на максимальную мощность. Это позволяет хорошо использовать безразмерные характеристики (в процентах) для сравнения характеристик различных двигателей. Так как различия в протекании кривых безразмерных характеристик причинены различиями момента, целесообразно в безразмерных характеристиках использовать кривую безразмерного момента в зависимости от безразмерной скорости вращения коленчатого вала.

$$M'_e = M_e (\eta'_e),$$

$$M'_e = \frac{M_e}{M_N} \cdot 100\%,$$

$$\eta'_e = \frac{\eta_e}{\eta_N} \cdot 100\%,$$

где M_e — текущий крутящий момент двигателя,

η_e — обороты коленчатого вала при крутящем моменте,

M_N — крутящий момент двигателя на оборотах максимальной мощности,

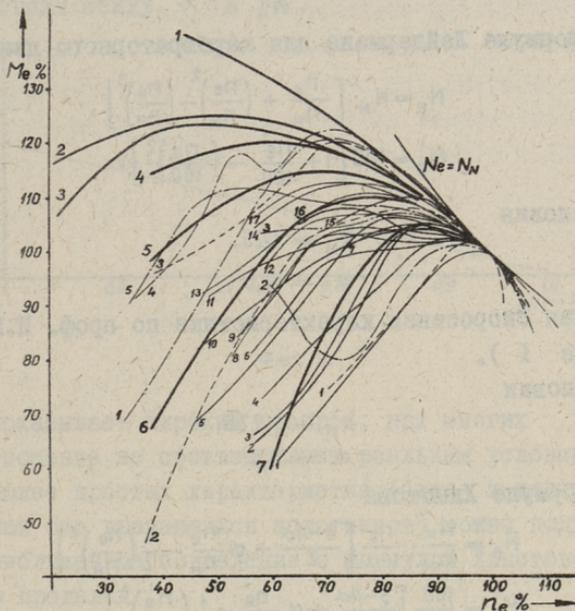
η_N — обороты максимальной мощности.

Применимость существующих формул можно обсудить по фиг. 1, где наряду с характеристиками ряда двухтактных двигателей (по источникам [2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 и 14]) приведены и эмпирические кривые:

1. По формуле Пуанзе

$$N_e = 1,5 \frac{N_N}{\eta_N} \eta_e \left(1 - \frac{\eta_e^2}{3N_N^2}\right),$$

$$M'_e = 150 \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\eta'_e}{100}\right)^2\right].$$



Фиг. 1. ——— Одно- и двухцилиндровые двигатели:

- 1 - MZ ES 125 G; 2 - Jawa-Junior; 3 - CZ-250 Cross;
- 4 - K-175 G; 5 - CZ-360 Cross; 6 - MZ ES 125;
- 7 - ИЖ-ЮК; 8 - MZ ES 150; 9 - MZ ES 125 MM1;
- 10 - Т 200 М; 11 - К-175 В; 12 - ИЖ-ПЛ-2;
- 13 - Восход; 14 - ИЖ-ПЛ; 15 - Турист; 16 - Вятр 175; 17 - М 104.

----- Трехцилиндровые двигатели:

- 1 - SAAB 96 Sp; 2 - Melkus-Wartburg; 3 - Estonia-9;
- 4 - Wartburg 353; 5 - AU 1000 S.

----- Двигатели с вращающимся впускным золотником:

- 1 - MZ EDM 125 G; 2 - Jawa 90; 3 - Trabant P 60.

————— Эмпирические характеристики:

- 1 - Пуанзе; 2 - Лейдермана; 3 - Ленина; 4 - Хлыстова $\alpha = 0,6$;
- 5 - Хлыстова $\alpha = 0,7$; 6 - Хлыстова $\alpha = 0,8$; 7 - Хлыстова $\alpha = 0,9$

Базовые условия

$$k_M = \frac{M_M}{M_N} = 1,5,$$

$$\alpha = \frac{n_M}{n_N} = 0.$$

2. По формуле Лейдермана для карбюраторного двигателя

$$N_e = N_N \left[\frac{n_e}{n_N} + \left(\frac{n_e}{n_N} \right)^2 - \left(\frac{n_e}{n_N} \right)^3 \right],$$

$$M'_e = 100 \left[1 + \frac{n'_e}{100} - \left(\frac{n'_e}{100} \right)^2 \right].$$

Базовые условия

$$k_M = 1,25,$$

$$\alpha = 0,5.$$

3. Единая скоростная характеристика по проф. И.М. Ленина (по таблице I).

Базовые условия

$$k_M = 1,225,$$

$$\alpha = 0,5.$$

4. По формуле Хлыстова

$$N_e = \frac{N_M}{n_N} \cdot \frac{n_e}{1-\alpha} \left[\frac{3-4\alpha}{2} + \alpha \frac{n_e}{n_N} - \frac{1}{2} \left(\frac{n_e}{n_N} \right)^2 \right],$$

$$M'_e = \frac{100}{1-\alpha} \left[\frac{3-4\alpha}{2} + \alpha \frac{n'_e}{100} - \frac{1}{2} \left(\frac{n'_e}{100} \right)^2 \right].$$

Базируясь на том же самом условии

$$k_M = 1,5 - 0,5\alpha,$$

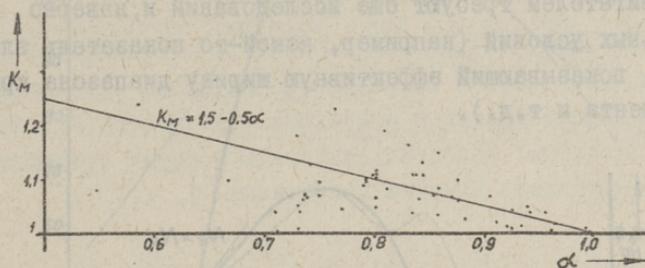
кривые по формулам Клименко и Хана совпадают с кривыми Хлыстова.

По своим базовым условиям может подойти только формула Хлыстова (Клименко, Хана). Остальные кривые имеют по фиг. I очень большое расхождение. Для характеристик двухтактных быстроходных двигателей они не применимы.

Как видно из фиг. I, легкие двухтактные двигатели можно по скоростным характеристикам группировать:

I. Одно- и двухцилиндровые двигатели со шлицевым впуском в картер. Для серийных и умеренно форсированных двигателей может в пределах $0,7 < \alpha < 0,9$ подойти кривая Хлыстова. Вне этих пределов имеет кривая Хлыстова на низких оборотах подъем, намного отличающийся от реальных кривых. Как видно из фиг. 2, где приведены данные ряда двухтактных од-

но- и двухцилиндровых двигателях со шлицевым впуском, выработанное Хлыстовым базисное условие примерно соответствует средней связи между α и K_M .



Фиг. 2.

Но как показывает широкий разброс, при многих двигателях это соотношение не соответствует реальным условиям. Поэтому для наиболее простых характеристик (одно- и двухцилиндровых двигателей без вращающихся золотников) можно получить лишь очень приближенное совпадение с формулой Хлыстова, и то только в пределах

$$0,7 < \alpha < 0,9.$$

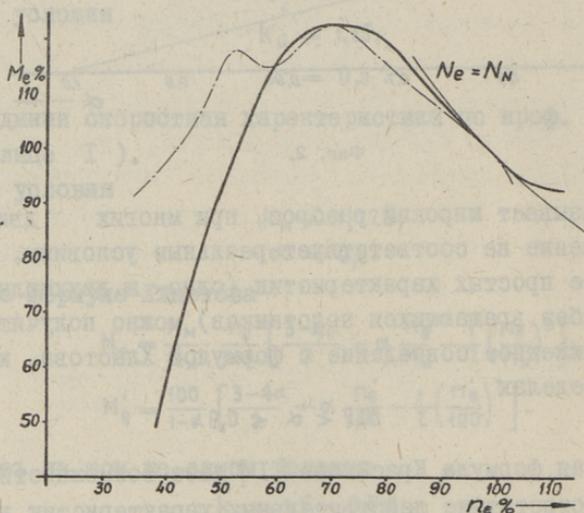
Обобщенная формула Красикова [1] дает возможность учитывать несоответствие действительных характеристик двигателей к условию Хлыстова. Его можно использовать в случае, если есть данные о действительных значениях показателей эластичности двигателя.

2. Трехцилиндровые двигатели и двигатели с впускным золотником. Характеристика двигателей этих групп намного сложнее и, как видно из фиг. 1, такими простыми (до трехчленными) политропами их выразить невозможно.

Поскольку у этих двигателей есть возможность изменения характеристик в сторону эластичности или максимальной мощности [5, 6], то предсказать соотношения между показателями эластичности (K_M и α) невозможно.

Но как показывает фиг. 3, 4 и 5, затруднительно и использование обобщенной формулы Красикова — она примерно соответствует действительной характеристике в пределах от n_M до n_m . Вне этих пределов формула Красикова не соответ-

ствуует реальной характеристике. Но так как для расчетов транспортных средств с двухтактными двигателями нужен и момент вне этих пределов, то формула Красикова не дает удовлетворительных результатов. Формулы для трехцилиндровых двигателей требуют еще исследований и, наверно, дополнительных условий (например, какой-то показатель эластичности, показывающий эффективную ширину диапазона крутящего момента и т.д.).



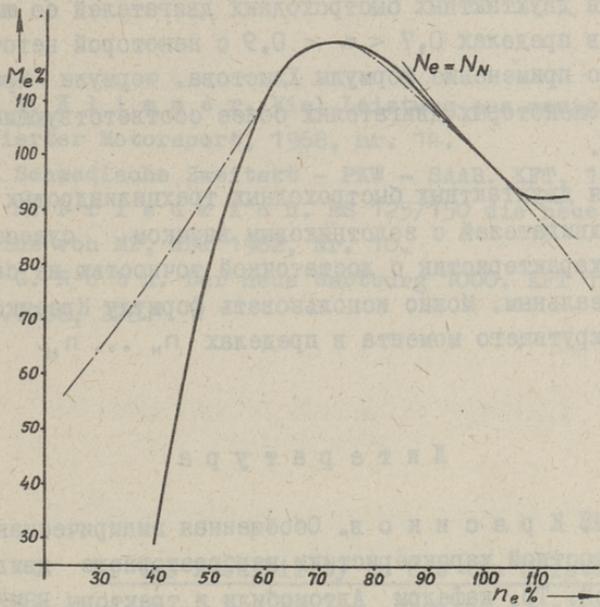
Фиг. 3. ————Wartburg 353; $k_m = 1,23$; $\alpha = 0,715$

$$\text{————— } M_e' = 100 \left[7,56 \left(\frac{n_e'}{100} \right)^3 - 21,20 \left(\frac{n_e'}{100} \right)^2 + 18,72 \left(\frac{n_e'}{100} \right) - 4,08 \right]$$

При использовании степенных рядов, как у существующих формул, это приведет с увеличением числа членов к резкому увеличению трудоемкости расчетов: уже при четырехчленной формуле Красикова для расчетов четырехзначные таблицы по точности недостаточны, а с увеличенным числом членов требуемая точность расчета еще выше.

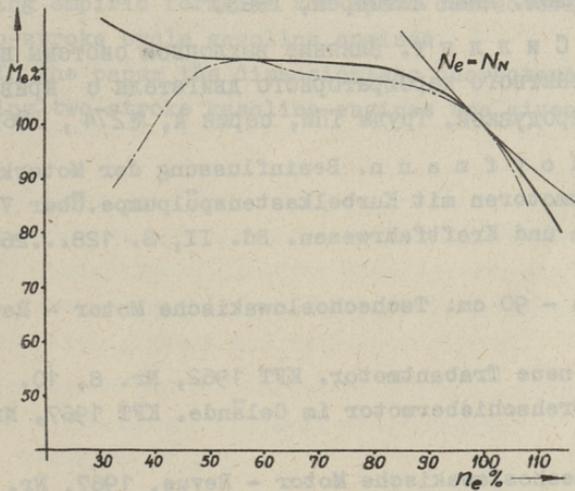
В ы в о д ы

I. Эмпирические характеристики Пуанзе, Лейдермана и Лелина неприменяемы для двухтактных двигателей.



Фиг. 4. --- SAB 96 Sp; $\kappa_M = 1,21$; $\alpha = 0,732$

$$M_e' = 100 \left[8,63 \left(\frac{n_e'}{100} \right)^3 - 24,41 \left(\frac{n_e'}{100} \right)^2 + 21,91 \left(\frac{n_e'}{100} \right) - 5,13 \right]$$



Фиг. 5. --- AU 1000 S; $\kappa_M = 1,12$; $\alpha = 0,57$

$$M_e' = 100 \left[-2,390 \left(\frac{n_e'}{100} \right)^3 + 4,465 \left(\frac{n_e'}{100} \right)^2 - 2,760 \left(\frac{n_e'}{100} \right) + 1,685 \right]$$

2. Для двухтактных быстроходных двигателей со шлицевым впуском в пределах $0,7 < \alpha < 0,9$ с некоторой неточностью допустимо применение формулы Хлыстова. Формула Красикова дает при некоторых двигателях более соответствующие результаты.

3. Для двухтактных быстроходных трехцилиндровых двигателей и двигателей с золотниковым впуском существующие формулы характеристик с достаточной точностью не соответствуют реальным. Можно использовать формулу Красикова для расчета крутящего момента в пределах $n_n \dots n_m$.

Л и т е р а т у р а

1. С.М. К р а с и к о в. Обобщенная эмпирическая формула скоростной характеристики карбюраторного двигателя. Сб. статей. Тр. кафедры Автомобили и тракторы ВЗМИ. Выпуск I, М. 1957.

2. Краткий мотоциклетный справочник. НИИН Автопром, 1965.

3. Краткий мотоциклетный справочник. НИИН Автопром, 1966.

4. В.П. И в а н о в. Пути повышения мощности мотоциклетных двигателей. НИИН Автопром, 1968.

5. Р.Р. С и л л а т. Влияние выхлопной системы на газообмен двухтактного карбюраторного двигателя с кривошипно-камерной продувкой. Труды ТПИ, серия А, №274, 1969.

6. K. H o f f m a n n. Beeinflussung der Motorkennlinie von Zweitaktmotoren mit Kurbelkastenspülpumpe. Über Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen. Bd. II, S. 128...260. Berlin 1959.

7. Jawa - 90 cm. Tschechoslowakische Motor - Revue, 1968, Nr. 3.

8. Der neue Trabantomotor. KFT 1962, Nr. 8, 10.

9. MZ Drehschiebermotor im Gelände. KFT 1967, Nr. 7. S. 210.

10. Tschechoslowakische Motor - Revue, 1967, Nr. 7.

11. E. K l i m m e r. Viel Leistung aus wenig Hubraum. Illustrierter Motorsport, 1968, nr. 14.
12. Schwedische Zweitakt - PKW - SAAB. KFT, 1968, Nr.10.
13. H. F r i e d r i c h. ES 125/150 die neue Motorrad-Typenreihe von MZ, KFT 1962, Nr. 10.
14. G. R ö t h. Der neue Wartburg 1000. KFT 1966, Nr. 7, S. 243...252, 278.

R. Sillat

Of the Possibility to Use the Existing
Empiric Formulae for Speed Characteristics in
Case of Two-Stroke Cycle Gasoline Engines

Summary

The paper gives a review of the possibility to use the existing empiric formulae for speed characteristics in case of two-stroke cycle gasoline engines.

In the paper the dimensionless characteristics of the existing two-stroke gasoline engines are given.

УДК 625.72.001.42

О.П. Хальяк

ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ НЕЖЕСТКИХ
ДОРОЖНЫХ ОДЕЖДI. Относительное удлинение покрытия при
изгибе от воздействия нагрузки

При эксплуатации нежестких покрытий так называемого монолитного типа (асфальтобетонные покрытия и покрытия из щебня, обработанные вязкими битумами или дегтями) существует состояние, которое не предусматривается действующими техническими условиями на материалы. Во время интенсивного увлажнения одежды и земляного полотна жесткость всей дорожной конструкции ($E_{\text{общ}}$) оказывается наименьшей, и прогибы покрытия под действием расчетной нагрузки достигают максимальной величины. Возникающие в данном случае растягивающие напряжения в материале покрытия при изгибе не должны превышать допустимых значений исходя из условия сохранения однородности слоя монолитного покрытия. Поэтому для обеспечения работы покрытия без остаточных деформаций и предупреждения появления в нем трещин необходимо произвести проверку толщины покрытия и жесткости подстилающего полупространства, используя для этого выработанную методику М.Б. Корсунского [4].

Эта методика берет в основу критерий предельного состояния одежды - предельную величину относительного упругого удлинения покрытия ($\varepsilon_{\text{нр}}$).

$$\varepsilon_1 < \varepsilon_{\text{нр}} \quad (I)$$

ε_1 - относительное удлинение покрытия в наиболее растянутой зоне.

$$\varepsilon_1 = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{W_0}{D} \cdot \frac{h_1}{D} \operatorname{arctg}^2 \frac{D}{h_{13}} \quad (2)$$

$$\frac{W_0}{D} = \frac{K_g K_n}{E_{\text{общ}}} p \left(1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{h_{13}}{D} \right) \quad (3)$$

$$h_{13} = 1,1 h_1 \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_{\text{общ}}}} \quad (4)$$

- E_1 - модуль упругости покрытия,
 $E_{\text{общ}}$ - эквивалентный модуль упругости полупространства подстилающего покрытия,
 p - статическое удельное давление на поверхность покрытия от наиболее тяжелого автомобиля,
 K_g - динамический коэффициент, 1,0 - 1,25,
 K_n - коэффициент запаса на неоднородность условий работы одежды, 1,1 - 1,2.

Для определения предельной величины относительного второго удлинения покрытия предложена следующая формула [4]:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{\varepsilon_{\text{ст}}}{2,8 \times 2^{0,5(LqN_p - 3,0)}} \quad (5)$$

- $\varepsilon_{\text{ст}}$ - предельное относительное удлинение при статическом испытании асфальтобетонных образцов при данной температуре,
 N_p - расчетная интенсивность движения автомобиля в сутки.

При определении статического удлинения ($\varepsilon_{\text{ст}}$) изготавливают из асфальтобетонной смеси при температуре 140 - 160°C образцы балочек размером 4 x 4 x 16 см, используя стальные формы. Уплотнение осуществляется перемещающимися навстречу друг другу вкладышами. Давление доводится до 300 кг/см². Изготовленные таким образом образцы испытывают на изгиб при расчетной температуре и определяют расчетные характеристики ($E_{\text{упр}}$, $R_{\text{изг}}$, $\varepsilon_{\text{ст}}$) [5].

2. Определение относительного удлинения при изгибе покрытия от воздействия колеса расчетного автомобиля

Чтобы определить действительное относительное упругое удлинение покрытия под нагрузкой колеса расчетного автомобиля, измеряется радиус кривизны чаши прогиба. Относительное упругое удлинение (ε_r) выражается формулой

$$\varepsilon_r = \frac{1}{\frac{\varrho}{\alpha h} - \frac{1}{2\alpha}}, \quad (6)$$

где ϱ — радиус кривизны покрытия,

h — толщина покрытия,

$\alpha \cdot h$ — расстояние от середины покрытия до расчетного сечения.

Наибольшее удлинение покрытия происходит под серединой штампа (под серединой колеса расчетного автомобиля) с максимальным удлинением в точке, расположенной по вертикальной оси штампа на нижней поверхности покрытия. В этом случае $\alpha = 0,5$.

$$\varepsilon_r = \frac{h}{2\varrho - h}. \quad (7)$$

Для определения радиуса кривизны используются различные методики. Широкое применение нашел прибор, называемый флексометром (фиг. I).

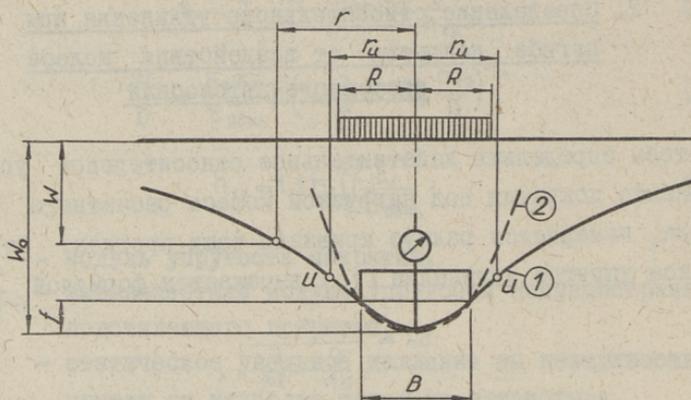
Большинство авторов предполагает, что кривая чаши прогиба покрытия под штампом или колесом расчетного автомобиля принимает круговую форму [1, 7, 8]. В соответствии с этим расчет радиуса кривизны прогиба производится по формуле

$$\varrho = \frac{B^2}{8f}, \quad (8)$$

где B — база инструмента,

f — относительный прогиб покрытия в пределах базы B .

Однако на основе теоретических и экспериментально полученных данных можно заключить, что форма кривой проги-



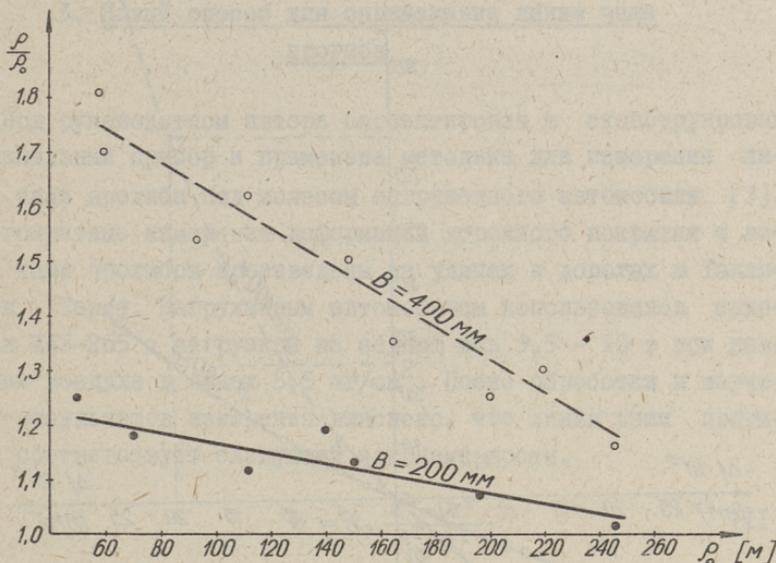
Фиг. 1. Определение радиуса кривизны флексометром:
 1 - действительная линия чаши прогиба,
 2 - часть круговой линии

бов не вполне соответствует круговой, но естественно, что чем меньше длина базы B , тем более величина ρ , определяемая по формуле (8), приближается к действительной.

На основе экспериментальных данных автором определена форма кривой чаши прогиба $W = f(r)$ (см. глава 3), по которой произведено и определение радиуса кривизны чаши прогиба. Известно, что радиус имеет минимальную величину в центре нагрузки ($W' = 0$; $r = 0$) [2, 6, 7]. В этом случае

$$\rho_0 = \frac{1}{W''}. \quad (9)$$

Предполагается, что величина радиуса кривизны, рассчитанная по этой формуле, более соответствует действительному значению, чем рассчитанная по формуле (8). На фигуре 2 приведено сравнение экспериментальных результатов, рассчитанных по формулам (8) и (9) при длине базы флексометра $B = 200$ мм и $B = 400$ мм. Из сравнения видно, что с уменьшением радиуса кривизны увеличиваются расхождения между результатами ρ и ρ_0 . При длине базы 200 мм расхождение незначительное, однако при длине базы 400 мм, рекомендуемой некоторыми авторами, величина ρ получается завышенной по сравнению ρ_0 . На основании этого можно заключить, что



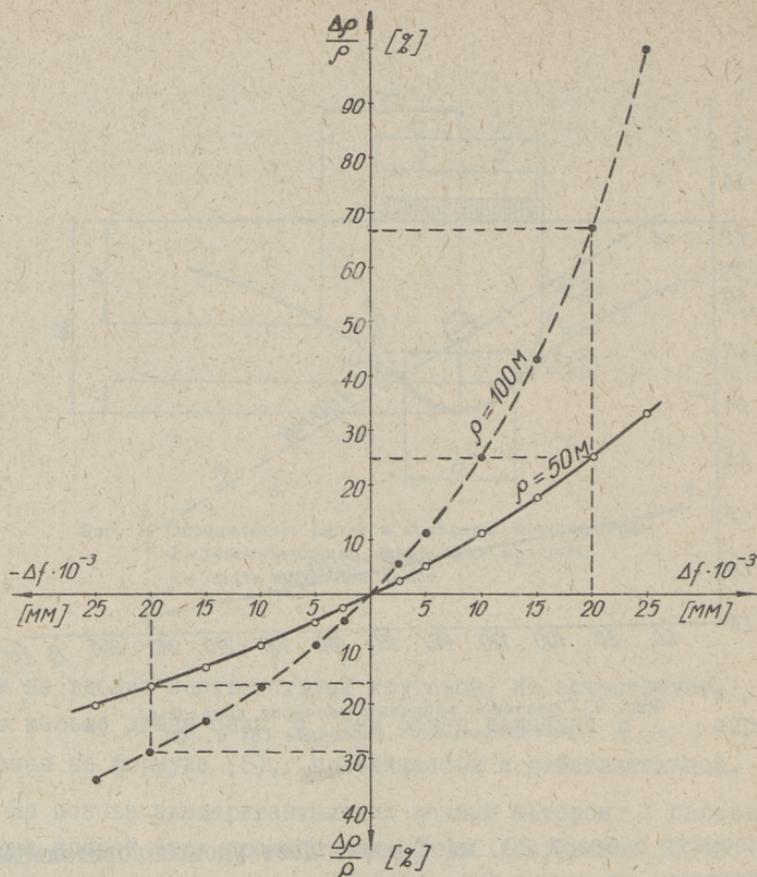
Фиг. 2. Сравнение величины радиусов кривизны, рассчитанных по формулам (8) и (9)

флексометр с базой 200 мм и менее дает удовлетворительные результаты, но чем меньше база B , тем больше действует на точность определяемого радиуса φ погрешность измерений относительного прогиба f (формула (8)). Относительная ошибка в этом случае:

$$\frac{\Delta\varphi}{\varphi} = \frac{8\varphi(\pm\Delta f)}{B^2 - 8\varphi(\pm\Delta f)}, \quad (10)$$

где $\Delta\varphi$ - погрешность определяемого радиуса кривизны,
 φ - радиус кривизны,
 B - база инструмента,
 Δf - погрешность измерений относительного прогиба.

На фигуре 3 приведено сравнение точности флексометра с базой 200 мм при радиусах кривизны 50 м и 100 м. Как видно, максимальная относительная ошибка достигает большой величины (при $\varphi = 50$ м - $\frac{\Delta\varphi}{\varphi} = 25\%$ и при $\varphi = 100$ м - $\frac{\Delta\varphi}{\varphi} = 67,6\%$). При этом используемый индикатор с ценой деления 0,01 мм дает погрешность $\Delta f_{\max} = \pm 0,02$ мм. Од-



Фиг. 3. Пределы погрешности флексометра с базой $V=200$ мм

нако использование индикаторов с более высокой точностью не дает положительного результата, т.к. при полевых условиях на точность измерения относительного прогиба действуют многие внешние факторы (ветер, солнечное излучение, движущийся транспорт и др.), что ставит под сомнение получение более точных результатов измерений.

Учитывая вышесказанное, пришлось изыскать новый способ измерения радиуса кривизны чаши прогиба.

3. Новый способ для определения линии чаши прогиба

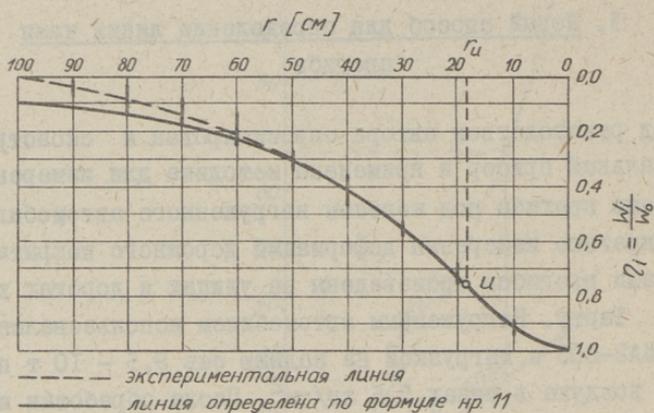
Под руководством автора спроектирован и сконструирован специальный прибор и применена методика для измерения линии чаши прогиба под колесом нагруженного автомобиля [3]. Многократные измерения деформаций дорожного покрытия и линии чаши прогибов произведены на улицах и дорогах в Таллине и Тарту. Нагруженным автомобилем использовался самосвал МАЗ-205 с нагрузкой на заднюю ось 9,5 - 10 т при давлении воздуха в шинах $5,5 \text{ кг/см}^2$. После обработки и изучения результатов измерения выяснено, что линия чаши прогибов соответствует следующей закономерности.

$$W = W_0 \frac{A^2 - Cr^2}{A^2 + r^2}, \quad (\text{II})$$

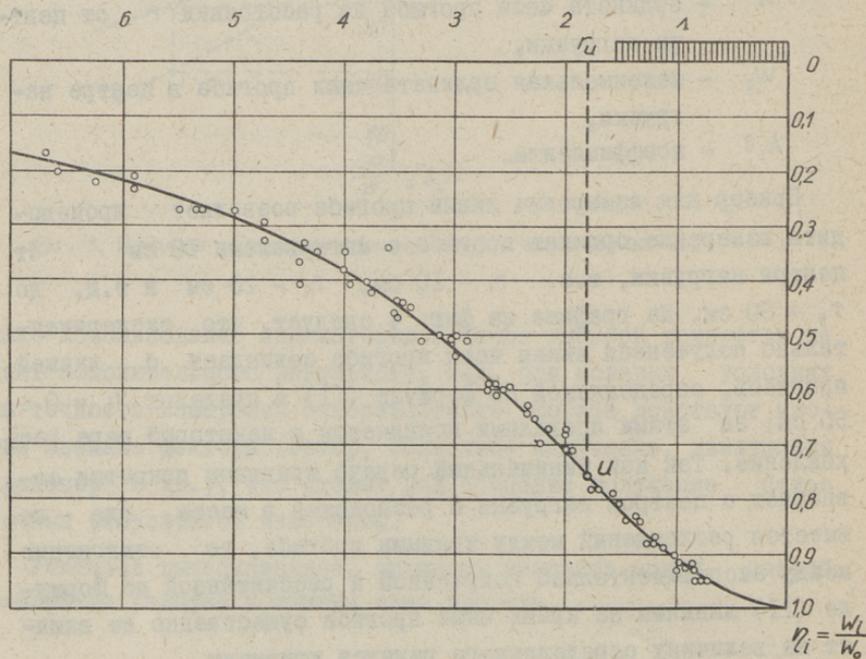
- W - ордината чаши прогиба на расстоянии r от центра нагрузки,
 W_0 - максимальная ордината чаши прогиба в центре нагрузки,
 A, C - коэффициенты.

Прибор для измерения линии прогиба позволяет производить измерение ординат прогиба с интервалами 10 см от центра нагрузки, т.е. $r_1 - 10 \text{ см}$, $r_2 - 20 \text{ см}$ и т.д. до $r_9 - 90 \text{ см}$. Из графика на фиг. 4 следует, что экспериментально полученная линия чаши прогиба совпадает с линией прогибов, определяемой по формуле (II) в пределах $r = 0 \div 50 \text{ см}$; за этими пределами появляется в некоторой мере расхождение. Так как минимальный радиус кривизны покрытия совпадает с центром нагрузки и расположен в месте, где не имеется расхождений между кривыми прогиба, то отклонение между экспериментально полученной и рассчитанной по формуле (II) линиями на краях чаши прогиба существенно не влияет на величину определяемого радиуса кривизны.

Учитывая это, измеряются только ординаты $W_1 \div W_5$. На фигуре 5 приведены теоретически полученная линия прогибов и фактически измеренные ординаты. Из этого можно заключить,



Фиг. 4. Экспериментальная и теоретическая линия чаши прогиба



Фиг. 5. Линия чаши прогиба, рассчитанная по формуле (11), и экспериментально полученные ординаты

что формула (II) достаточно удовлетворительно характеризует действительную линию чаши прогиба.

Радиус кривизны линии определяется следующей формулой:

$$\rho = \frac{\left[1 + \left(\frac{dW}{dr}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2W}{dr^2}}$$

$$\frac{dW}{dr} = - \frac{2W_0 A^2 C r + 2W_0 A^2 r}{A^4 + 2A^2 r^2 + r^4}$$

$$\frac{d^2W}{dr^2} = 2A^2 W_0 \frac{3r^4 + 3Cr^4 + 2A^2 r^2 + 2A^2 Cr^2 - A^4 - A^4 C}{(A^2 + r^2)^4}$$

Из условия $\frac{dW}{dr} = 0$ получаем, что радиус кривизны имеет минимальную величину в центре нагрузки, т.е. при $r = 0$. В этом случае минимальный радиус кривизны чаши прогиба определяется следующей формулой:

$$\rho = \frac{A^2}{2W_0(1+C)}, \quad (I2)$$

где W_0 - максимальная ордината чаши прогиба в центре нагрузки,
 A, C - коэффициенты.

Для определения точки перегиба линии чаши прогиба U (фиг. 4) допускаем, что радиус кривизны $\rho = \infty$ и, следовательно, $\frac{d^2W}{dr^2} = 0$. При решении этого уравнения получаем:

$$r_u = \pm \frac{A}{\sqrt{3}} \quad (I3)$$

r_u - расстояние от центра нагрузки до точки перегиба линии U .

4. Определение коэффициентов C и A

Для каждой точки линии, расположенной на расстоянии r_i от центра нагрузки, можно определить коэффициент A_i , но практически может применяться коэффициент A , который в большей или меньшей степени должен удовлетворять определению всех точек линии или в крайней мере точек, распо-

ложенных в интервале $r_0 \div r_5$ (0-50 см), так как в этом интервале теоретически и экспериментально полученные линии совпадают.

Определение этого коэффициента произведено следующим образом:

$$\frac{W_i}{W_0} = \eta_i; \quad \eta_i = \frac{A^2 - Cr^2}{A^2 + r^2}; \quad A^2 = \frac{\eta_i r_i^2}{1 - \eta_i} + \frac{Cr_i^2}{1 - \eta_i};$$

$$q_i = \frac{r_i^2}{1 - \eta_i}; \quad A^2 = q_i(\eta_i + C);$$

$$\Delta = A^2 - A_i^2; \quad A^2 = q_i \eta_i - C q_i;$$

$$\Delta_1 = A^2 - \eta_1 q_1 - C q_1;$$

$$\Delta_2 = A^2 - \eta_2 q_2 - C q_2;$$

$$- - - - -$$

$$\Delta_5 = A^2 - \eta_5 q_5 - C q_5;$$

$$1. \quad \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2 = \varphi;$$

$$N = q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 + q_4^2 + q_5^2;$$

$$K = q_1 \eta_1 + q_2 \eta_2 + q_3 \eta_3 + q_4 \eta_4 + q_5 \eta_5;$$

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5;$$

$$L = q_1^2 \eta_1^2 + q_2^2 \eta_2^2 + q_3^2 \eta_3^2 + q_4^2 \eta_4^2 + q_5^2 \eta_5^2;$$

$$M = q_1^2 \eta_1^2 - q_2^2 \eta_2^2 + q_3^2 \eta_3^2 + q_4^2 \eta_4^2 + q_5^2 \eta_5^2;$$

$$\varphi = 5A^2 - 2A^2 K - 2A^2 C Q + L + 2CM + NC^2;$$

$$\frac{d\varphi}{dC} = -2A^2 Q + 2M + 2NC = 0;$$

$$C = \frac{A^2 Q - M}{N}. \quad (I4)$$

$$2. \quad \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 = 0;$$

$$5A^2 - K - CQ = 0;$$

$$5A^2 - K - \frac{A^2 Q - M}{N} Q = 0;$$

$$A^2 = \frac{KN - QM}{5N - Q^2}. \quad (I5)$$

Определение коэффициентов А и С представляет собой, таким образом, довольно сложную и трудоемкую задачу, но при

умелом использовании механических вычислительных машин этот процесс может быть в значительной степени облегчен. При большом количестве экспериментальных данных целесообразно использовать электрические вычислительные машины.

Значение коэффициента A вытекает из сравнения теоретического решения задачи плиты на упругом основании с экспериментальными данными. Теоретическая форма линии чаши прогиба по М.Б. Корсунскому [6] следующая:

$$W_r = \frac{W_0}{1 + \kappa_1 r^2}; \quad \kappa_1 = \frac{4}{\pi} \operatorname{arctg}^2 \frac{D}{h_2}.$$

Экспериментальную формулу (II) можно написать следующим образом:

$$W = W_0 \frac{A^2}{A^2 + r^2} - W_0 \frac{C r^2}{A^2 + r^2}.$$

Первая часть этой формулы совпадает с теоретической формулой; при этом, если $C = 0$,

$$A^2 = \frac{1}{\kappa_1}.$$

По экспериментальным данным становится очевидным, что величина коэффициента C находится, в основном, в пределах $-0,2 \div 0 \div +0,2$.

Можно заключить, что коэффициент A зависит от отношений модулей упругостей покрытия и основания ($\frac{E_1}{E_0}$) и от толщины покрытия (h), но значение коэффициента C требует дальнейшего выяснения.

Выводы

I. Основным параметром для оценки напряженного состояния в покрытии от транспортных средств является относительное упругое удлинение в наиболее растянутой зоне (ε_1), которое можно высчитать, зная радиус кривизны линии чаши прогиба и толщину покрытия h .

На существующих конструкциях можно определить ρ при полевых испытаниях, используя для этого уточненную мето-

дику [3]. Обработка экспериментальных данных изложена в статье. Результаты, получаемые по формуле (12), лучше характеризуют действительное состояние в покрытии, чем данные, полученные по формуле (8). Доказательством этого является хорошее совпадение результатов при повторном определении линии чаши прогиба на одной точке.

2. Чтобы оценивать прочность покрытия, необходимо предварительно знать предельное относительное удлинение ($\varepsilon_{пр}$), которое рассчитывается по формуле (5). Так как $\varepsilon_{пр}$ зависит еще от температуры, необходимо одновременно с определением линии чаши прогиба измерить и температуры покрытия. Для этого используют термодатчики, которые устанавливают на поверхности покрытия. Предельное относительное удлинение при статическом испытании ($\varepsilon_{ст}$) для местных материалов, обработанных битумом, еще не изучено и требует основательного исследования.

Л и т е р а т у р а

1. В.И. Барздо, Ю.М. Яковлев. Испытание нежестких одежд. Автомобильные дороги, № II, 1966.

2. В.И. Барздо, В.Г. Фирстов, Ю.М. Яковлев. Методы расчета и оценки прочности нежестких дорожных одежд. Изд. Высшая школа, Москва 1964.

3. О.П. Хальяк. Определение деформации дорожных одежд. Труды Таллинского политехнического института, серия А, № 274, Таллин 1969.

4. М.Б. Корсунский. Оценка прочности дорог с нежесткими одеждами. Изд. "Транспорт", Москва 1966.

5. Методические указания по конструированию и расчету дорожных одежд нежесткого типа с усовершенствованными покрытиями. Изд. Оргтрансстрой, Москва 1965.

6. Обоснование расчетных параметров для нежестких дорожных покрытий. Дориздат, Москва 1952.

7. G.L. D e h l e n. A simple instrument of measuring the curvature induced in a road surfacing by a wheel load. Die Siviele Ingenieur in Suid Afrika, September 1962.

8. K.R u s s a m, A.B.B a k e r. Using a Curvature Meter to Measure Transient Deflektion of Road Surfaces. Civil Engineering and Public Works Review, November 1964.

O.Haljak

Investigation of Elastic Deflection on
Flexible Pavements

Summary

This paper describes some aspects of theoretical and experimental work on the behaviour of flexible pavements under wheel load. An attempt has been made to determine the relative elastic elongation on the lower surface of the pavement under dual wheels of the loaded vehicle. The relative elastic elongation is a significant criterion as it indicates the range of tensile stress in the pavement. The relative elastic elongation is estimated by the radius of curvature of the surfacing.

The deflection line of the pavement is measured by specific equipment which essentially differs from the usual curvature meter. By the measured results the equation of the deflection line may be determined.

The radius of the pavement curvature under wheel load is calculated by this equation. The results obtained correspond better to the actual situation in the pavement.

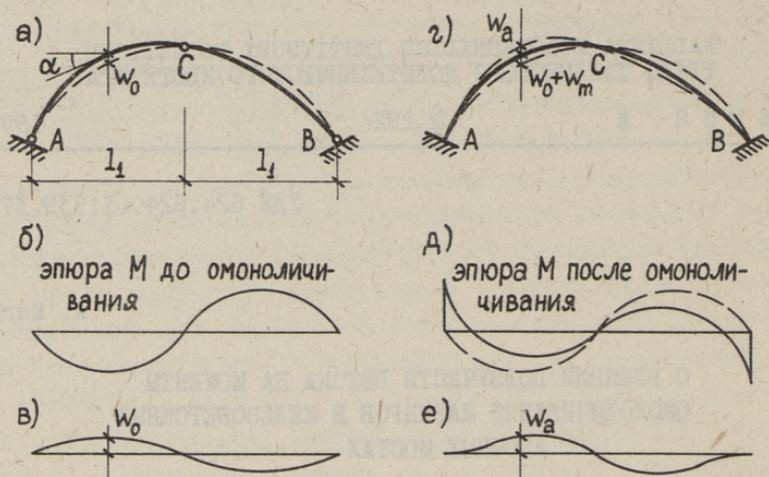
УДК 624.624.01:539.376

Х. Мяги

О ВЛИЯНИИ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА НА МОМЕНТЫ
ОМОНОЛИЧИВАНИЯ ШАРНИРОВ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
АРЧНЫХ МОСТАХ

Существует ряд систем железобетонных арочных мостов, которые в процессе строительства имеют трехшарнирную расчетную схему, а при эксплуатации работают как бесшарнирные. По строительной механике упругих материалов эпюра изгибающих моментов от постоянной нагрузки, нагруженной до омоноличивания шарниров, не изменяется после омоноличивания (например по фиг. 1,б). Реальные свойства железобетона при содействии постоянной нагрузки и ползучести бетона вызывают появление изгибающих моментов в омоноличиваемых шарнирах и коренное изменение эпюры моментов (фиг. 1,д).

Задача определения изгибающих моментов после омоноличивания шарниров решается в замкнутой форме, если выполнены следующие условия: арки пологие ($f/l \leq 0,2$), ползучесть бетона соответствует теории старения, модуль упругости бетона не зависит от времени, действуют принципы наложения напряжений и деформаций, действительна гипотеза плоских сечений и при мгновенных (упругих) деформациях действителен закон Гука. При составлении уравнения изогнутой оси арки применимы способы, которые приведены в [1 и 2]. Увеличение расхождения оси арки и кривой давления после омоноличивания шарниров (w_d), относительная деформация фибры сечения арки после омоноличивания (ε_d), угол наклона касательной оси арки (α) и расстояние рассматриваемой фибры от центра тя-



Фиг. 1. Омоноличивание шарниров арки. Изгибающие моменты (б, д) и эпюры расхождения оси арки и кривой давления до (в) и после (е) омоноличивания. w_0 - начальное расхождение оси арки и кривой давления постоянной нагрузки, w_m - увеличение w_0 при упругих деформациях, w_a - увеличение w_0 при ползучести бетона.

жести сечения арки (z) связаны между собой по следующему уравнению:

$$w_a'' \cos \alpha = - \frac{\varepsilon_a}{z} \quad (1)$$

Из выражения для изгибающих моментов в арке

$$M(x, t) = H [w_0(x) + w_m(x) + w_a(x, t)] + \left(\frac{x}{l_1} - 1\right) M_a(t) \quad (2)$$

можно получить формулу для фибровых деформаций

$$\varepsilon_a = \frac{H(w_0 + w_m)z}{EJ_a} (1 + \varphi_{tb}) + \frac{z}{EJ_a} \int_0^t \left[H \frac{\partial w_a}{\partial \tau} + \left(\frac{x}{l_1} - 1\right) \frac{dM_a}{d\tau} \right] (1 + \bar{\varphi}_{tb} - \bar{\varphi}_{\tau b}) d\tau \quad (3)$$

Здесь M - изгибающий момент в сечениях арки,
 $H = \text{const}$ - распор арки,

- w_0 - начальное расхождение оси арки и кривой давления постоянной нагрузки,
 w_m - увеличение w_0 при упругих деформациях,
 M_a - опорный момент в пята арки,
 $\bar{\varphi}_{tb}$ - характеристика ползучести железобетона при изгибе,
 E - модуль упругости бетона,
 J_a - приведенный момент инерции сечения арки.

После введения выражения для ε_a , упрощения по формуле

$$J_a = \frac{J_c}{\cos \alpha}, \quad (4)$$

обозначения

$$\frac{H}{EJ_c} = K_a^2 \quad (5)$$

и дифференцирования по t уравнение (I) превращается в уравнение третьего порядка

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial^3 w_a}{\partial t \partial x^2} + K_a^2 \frac{\partial w_a}{\partial t} + K_a^2 w_a \frac{d\bar{\varphi}_{tb}}{dt} + \frac{K_a^2}{H} \left(\frac{x}{L_1} - 1 \right) \left(\frac{dM_a}{dt} + M_a \frac{d\bar{\varphi}_{tb}}{dt} \right) + \\
 & + K_a^2 (w_0 + w_m) \frac{d\bar{\varphi}_{tb}}{dt} = 0.
 \end{aligned} \quad (6)$$

Бесшарнирная арка с кососимметричными перемещениями обуславливает совокупность граничных условий в виде

$$w_a|_{x=0} = w_a|_{x=L_1} = \frac{\partial w_a}{\partial x}|_{x=0} = \frac{\partial^2 w_a}{\partial x^2}|_{x=L_1} = 0, \quad (7)$$

и единое начальное условие

$$w_a|_{t=0} = 0. \quad (8)$$

Количество граничных и начальных условий позволяет превращать (6) в уравнение пятого порядка

$$\frac{\partial^5 w_a}{\partial t \partial x^4} + K_a^2 \frac{\partial^3 w_a}{\partial t \partial x^2} + K_a^2 \frac{\partial^2 w_a}{\partial x^2} \frac{d\bar{\varphi}_{tb}}{dt} + K_a^2 \left(\frac{d^2 w_a}{dx^2} + \frac{d^2 w_m}{dx^2} \right) \frac{d\bar{\varphi}_{tb}}{dt} = 0, \quad (9)$$

для которого собственная функция однородного уравнения при выполнении (7) определяется выражением

$$\sin \frac{\psi_n x}{l_1} - \psi_n \cos \frac{\psi_n x}{l_1} - \frac{\psi_n x}{l_1} + \psi_n, \quad (10)$$

где l_1 — полупролет арки (фиг. I) и

$$\psi_n = \tan \psi_n \approx (n + 0,5)\pi - \frac{1}{(n + 0,5)\pi}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (11)$$

Следовательно, искомый вид решения уравнения (9) определяется зависимостью

$$w_a = \sum_{n=1}^{\infty} F_n(t) w_{0n} \left(\sin \frac{\psi_n x}{l_1} - \psi_n \cos \frac{\psi_n x}{l_1} - \frac{\psi_n x}{l_1} + \psi_n \right). \quad (12)$$

Для определения $F_n(t)$ из уравнения (9) необходимо иметь выражение для $w_0 + w_m$, однако не безразлично, какая форма этого выражения. Так как $w_0 + w_m$ является перемещением трехшарнирной арки, $w_0 + w_m$, естественно, удовлетворяет условиям

$$w_0 + w_m \Big|_{x=0} = w_0 + w_m \Big|_{x=l_1} = \frac{\partial^2 (w_0 + w_m)}{\partial x^2} \Big|_{x=0} = \frac{\partial^2 (w_0 + w_m)}{\partial x^2} \Big|_{x=l_1} = 0. \quad (13)$$

Если бы удалось доказать, что функцию $w_0 + w_m$ возможно разложить в тригонометрический ряд типа (10) и полученный ряд сходится, то уравнение (9) решилось бы в элементарных функциях. Пусть в некоторых случаях разложение

$$w_0 + w_m = \sum_{n=1}^{\infty} w_{0n} \left(\sin \frac{\psi_n x}{l_1} - \psi_n \cos \frac{\psi_n x}{l_1} - \frac{\psi_n x}{l_1} + \psi_n \right) \quad (14)$$

сходится равномерно в интервале определения. В этих случаях подстановка (12) и (14) в уравнение (9) приводит к дифференциальному уравнению первого порядка для $F_n(t)$:

$$\frac{dF_n(t)}{dt} - \frac{1}{\gamma_{0n-1}} \frac{d\bar{\varphi}_{tb}}{dt} F_n(t) = \frac{1}{\gamma_{0n-1}} \frac{d\bar{\varphi}_{tb}}{dt}, \quad (15)$$

где

$$\gamma_{an} = \frac{\psi_n^2 E J_c}{H l_1^2}. \quad (16)$$

При начальном условии

$$F_n(t) \Big|_{t=0} = 0, \quad (17)$$

выходящем из (8), уравнение (15) решается в виде формулы

$$F_n(t) = e^{\frac{\bar{\varphi}_{tb}}{\gamma_{an}^{-1}}} - 1. \quad (18)$$

Следовательно, в случае сходимости разложения (14) уравнение (9) решается в элементарных функциях в виде сходящегося тригонометрического ряда:

$$w_a = \sum_{n=1}^{\infty} \left(e^{\frac{\bar{\varphi}_{tb}}{\gamma_{an}^{-1}}} - 1 \right) w_{on} \left(\sin \frac{\psi_n x}{l_1} - \psi_n \cos \frac{\psi_n x}{l_1} - \frac{\psi_n x}{l_1} + \psi_n \right). \quad (19)$$

Для определения опорного момента M_a необходимо решить уравнение (6). Подстановкой (19) и (14) в уравнение (6) получаем новое уравнение

$$\frac{dM_{an}}{dt} + \frac{d\bar{\varphi}_{tb}}{dt} M_{an} = H \psi_n \frac{\gamma_{an}}{\gamma_{an}^{-1}} w_{on} \frac{d\bar{\varphi}_{tb}}{dt} e^{\frac{\bar{\varphi}_{tb}}{\gamma_{an}^{-1}}}, \quad (20)$$

которое при условии $M_a(t=0) = 0$ определяет решение

$$M_a(t) = H \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n w_{on} \left(e^{\frac{\bar{\varphi}_{tb}}{\gamma_{an}^{-1}}} - e^{-\bar{\varphi}_{tb}} \right). \quad (21)$$

Коэффициенты Фурье w_{on} являются определенными ввиду ортогональности первых производных членов ряда (14):

$$w_{on} = \frac{1}{l_1 \psi_n^2} \int_0^{2l_1} \left[w_o(x) + w_m(x) \right] \left(\sin \frac{\psi_n x}{l_1} - \psi_n \cos \frac{\psi_n x}{l_1} \right) dx. \quad (22)$$

Коэффициенты Фурье w_{on} определимы для произвольной функции $w_o + w_m$, имеющей в интервале определения $(0, 2l_1)$

лишь определенное количество скачков или переломов, а между точками скачков или переломов абсолютно непрерывна и удовлетворяет условиям

$$(w_0 + w_m) \Big|_{x=0} = (w_0 + w_m) \Big|_{x=2l_1} = 0. \quad (23)$$

Условия сходимости разложения (I4) необходимо определить дополнительно. Ряд (I4) сходится равномерно в интервале $(0, l_1)$ в случае, если сходится ряд

$$\sum_{n=1}^{\infty} \psi_n w_{0n}. \quad (24)$$

Произвольное перемещение трехшарнирной арки $w_0 + w_m$, которое удовлетворяет граничным условиям (I3), можно представить в виде ряда Фурье [2]:

$$w_0 + w_m = \sum_{r=1}^{\infty} \frac{a_r \gamma_r}{\gamma_r - 1} \sin \frac{r\pi x}{l_1}. \quad (25)$$

Ряд из коэффициентов a_r сходится абсолютно при реальных значениях $w_0 + w_m$, т.е.

$$\lim_{r \rightarrow \infty} a_r = 0 \quad \text{и} \quad \sum_{r=1}^{\infty} |a_r| < \infty. \quad (26)$$

Для реальных значений фактора гибкости γ_r известно, что

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{\gamma_r}{\gamma_r - 1} = 1 \quad \text{и} \quad 1 \leq \frac{\gamma_r}{\gamma_r - 1} \leq 1,20. \quad (27)$$

Следовательно, исходя из (22), получим выражение

$$\begin{aligned} \psi_n w_{0n} &= \frac{1}{l_1 \psi_n} \int_0^{2l_1} \sum_{r=1}^{\infty} \frac{a_r \gamma_r}{\gamma_r - 1} \sin \frac{r\pi x}{l_1} \left(\sin \frac{\psi_n x}{l_1} - \psi_n \cos \frac{\psi_n x}{l_1} \right) dx = \\ &= \sum_{r=1}^{\infty} \frac{2a_r \gamma_r}{\gamma_r - 1} \frac{r\pi}{\psi_n^2 - r^2 \pi^2}, \end{aligned} \quad (28)$$

относительно которого можно показать, что

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{r=1}^{\infty} \left| \frac{2a_r \gamma_r}{\gamma_{r-1}} \frac{r\pi}{\psi_n^2 - r^2 \pi^2} \right| = \sum_{r=1}^{\infty} \left| \frac{2a_r \gamma_r}{\gamma_{r-1}} \frac{r\pi}{\left[(n+0,5)\pi - \frac{1}{(n+0,5)\pi} \right]^2 - r^2 \pi^2} \right| \leq$$

$$\leq 2,4 \frac{1}{n} \sum_{r=1}^{\infty} |a_r| < \infty \quad (29)$$

Из (26) и (29) явствует, что

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \psi_n w_{0n} < \infty \quad (30)$$

Чтобы выполнить необходимое условие сходимости ряда (24)

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \psi_n w_{0n} = 0, \quad (31)$$

коэффициенты a_r должны быть ограниченными по следующему неравенству

$$\boxed{|a_r| < \frac{A}{r^{3/2} + \varepsilon}} \quad (32)$$

где $\varepsilon > 0$ и $A > 0$.

Достаточное условие ряда (24)

$$\sum_{n=1}^{\infty} \psi_n w_{0n} = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \frac{2a_r \gamma_r}{\gamma_{r-1}} \frac{r\pi}{\psi_n^2 - r^2 \pi^2} < \infty \quad (33)$$

не выразимо в общем виде и подлежит проверке в каждом конкретном случае в отдельности.

Пример:

$$w_0 + w_d = \frac{\pi^2 E J_c}{H L_1} a_1 \sin \frac{\pi x}{L_1} = \frac{7,32}{7,32-1} a_1 \sin \frac{\pi x}{L_1} = 1,158 a_1 \sin \frac{\pi x}{L_1},$$

$$w_{0n} = \frac{1}{L_1 \Psi_n^2} \int_0^{L_1} 1,158 a_1 \sin \frac{\pi x}{L_1} \left(\sin \frac{\Psi_n x}{L_1} - \Psi_n \cos \frac{\Psi_n x}{L_1} \right) dx =$$

$$= 2 \cdot 1,158 a_1 \frac{\pi}{\Psi_n (\Psi_n^2 - \pi^2)} = \frac{2,316 a_1 \pi}{\Psi_n (\Psi_n^2 - \pi^2)}.$$

Ввиду этого, что $a_n|_{n \neq 1} = 0$, выполнены необходимое и достаточное условие сходимости ряда $\sum \Psi_n w_{0n}$:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \Psi_n w_{0n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2,316 a_1 \pi}{\Psi_n^2 - \pi^2} =$$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2,316 a_1 \pi}{n^2 \pi^2 + n \pi^2 + 0,25 \pi^2 - 2 + \frac{1}{(n+0,5)^2 \pi^2} - \pi^2} = 0, \quad (34)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2,316 a_1 \pi}{\Psi_n^2 - \pi^2} < \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2,316 a_1 \pi}{n^2 \pi^2 + n \pi^2 + 0,25 \pi^2 - \frac{1}{(n+0,5)^2 \pi^2} - \pi^2} =$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2,316 a_1 \pi}{n^2 \pi^2 + n \pi^2 - 0,75 \pi^2 - \frac{1}{(n+0,5)^2 \pi^2}} < \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2,316 a_1}{n^2 \pi} < \infty. \quad (35)$$

В определенный момент времени, для которого характеристика ползучести железобетона $\bar{\varphi}_{tb} = 2,5$, изгибающие моменты в пятах арки определяются формулой

$$M_a(t) = H \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2,316 a_1 \pi}{\Psi_n^2 - \pi^2} \left(e^{\frac{2,5}{\Psi_n^{2n-1}}} - e^{-2,5} \right) =$$

$$= 1,158 a_1 H \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\pi}{\Psi_n^2 - \pi^2} \left(e^{\frac{2,5}{\Psi_n^{2n-1}}} - 0,0821 \right). \quad (36)$$

Значение суммы в последней формуле вычислено в таблице I.

На основе рассмотренной теории и проделанного примера можно сделать следующие выводы:

Таблица I

Показатели сходимости по (33) и (34) и коэффициенты изгибающего момента по (35)

n	ψ_n	ψ_n^2	$\frac{\pi}{\psi_n^2 - \pi^2}$	$\frac{\pi^2}{(\psi_n^2 - \pi^2)^2}$	Оценки сходимости		Коэффициент изгибающего момента						
					$\frac{\psi_n \omega_{0n}}{d_1} = \frac{2,136\pi}{\psi_n^2 - \pi^2}$	$\frac{\psi_n^2 \omega_{0n}}{d_1^2}$	$1,340\pi^2 - \frac{1}{d_1} \sum_{i=1}^n \psi_i^2 \omega_{0i}^2$	$\frac{\psi_n^2 E J_0}{H L_1}$	$\frac{2,5}{\gamma_{0n} - 1}$	$e^{\frac{2,5}{\gamma_{0n} - 1}}$	$\frac{2,5}{\gamma_{0n}^2 - 1} \left(e^{\frac{2,5}{\gamma_{0n} - 1}} - 1 \right)$	Σ	
1	4,493	20,19	0,3042	0,0925	0,705	10,02	3,20	15,00	0,1786	1,196	0,6764	0,6764	0,6764
2	7,725	59,70	0,0631	0,00398	0,146	1,23	1,97	44,4	0,0576	1,059	0,1232	0,1232	0,7996
3	10,904	118,91	0,0288	0,000829	0,067	0,53	1,44	88,8	0,0285	1,029	0,0544	0,0544	0,8540
4	14,07	197,9	0,0167	0,000279	0,039	0,30	1,14	147,8	0,0170	1,017	0,0312	0,0312	0,8852
5	17,22	296,6	0,0109	0,000119	0,025	0,19	0,95	222	0,0113	1,011	0,0202	0,0202	0,9054
6	20,37	415,0	0,0078	0,000061	0,018	0,14	0,81	310	0,0081	1,008	0,0144	0,0144	0,9198
7	23,52	553,2	0,0058	0,0000336	0,013	0,10	0,71	413	0,0061	1,006	0,0108	0,0108	0,9306
8	26,67	711,1	0,0045	0,0000202	0,010	0,08	0,63	531	0,0047	1,005	0,0084	0,0084	0,9390
9	29,81	888,7	0,0036	0,0000130	0,008	0,06	0,57	664	0,0038	1,004	0,0066	0,0066	0,9456
10	32,96	1086	0,0029	0,0000084	0,007	0,05	0,52	812	0,0031	1,003	0,0054	0,0054	0,9510

1. В случае кососимметричного начального расхождения оси арки и кривой давления постоянной нагрузки изгибающие моменты в омоноличиванных шарнирах железобетонной мостовой арки влиянием ползучести бетона определимы при помощи формулы (21), нарастание расхождения - формулы (19), а ординаты эпюры изгибающих моментов - формулы (2).

2. Формулы (19) и (21), а также (22) применимы для произвольной функции $w_0 + w_m$, которая в интервале определения $(0, 2l_1)$ имеет лишь определенное количество скачков или переломов, а между точками скачков или переломов абсолютно непрерывна и удовлетворяет условиям (23) и (32) и (33). Функция $w_0 + w_m$ единственно определяет изгибающий момент M_d и нарастания расхождения w_d .

3. Изгибающие моменты в омоноличенных шарнирах вследствие ползучести бетона смогут составлять около 100% из наибольших изгибающих моментов в этой же арке при трехшарнирной схеме, причиняемых кососимметричным расхождением оси арки и кривой давления постоянной нагрузки.

4. Проанализированный способ определения изгибающих моментов в омоноличиваемых шарнирах распространим и на другие случаи исходных расхождений оси арки и кривой давления постоянной нагрузки. Исходные данные для этих случаев можно заимствовать из работы Фр. Диншгера [1].

Л и т е р а т у р а

1. Fr. Dischinger. Elastische und plastische Verformungen der Eisenbetontragwerke und insbesondere der Bogenbrücken. "Der Bauingenieur" 1939, Nr. 5/6, 21/22, 31/32, 47/48.

2. Х.А. М я г и. Расчет сборных трехшарнирных железобетонных мостовых арок по деформированной схеме с учетом длительных воздействий. Труды Таллинского политехнического института, серия А, № 218, 1965.

H. Mägi

On the Influence of Creep on Bending Moments
in Abolished Hinges of Reinforced Concrete
Bridge-Arches

Reinforced concrete bridge-arches erected as three-hinged and exploited as hingeless are concerned.

A dead load burdened before the hinges being abolished causes, due to the creep of concrete, the appearing of bending moments at the abutments sections. Abutment moments for antisymmetric starting moments in three-hinged arches have been found by means of trigonometric series. Though the edge-conditions of the starting bending moments cause slow convergence of trigonometric series the result is in many cases still advisable for practical use.

УДК 624.624.01:539.376

Х. Мяги

О СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ АРОК И НАДАРОЧНОЙ ЧАСТИ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ ПРИ ВЛИЯНИИ ПОЛЗУЧЕСТИ
БЕТОНА

Обычно железобетонную надарочную часть возводят по готовым аркам, которые в процессе строительства носят всю постоянную нагрузку. Строительство кончается с омоноличиванием швов между концами балок надарочной части, вследствие чего надарочная часть начинает работать вместе с арками. По законам строительной механики упругих материалов под нагрузками, приложенными до омоноличивания швов, работают только арки, а под нагрузками, приложенными после омоноличивания, работают арки и надарочная часть совместно.

В случае же реального железобетона ползучесть заставляет совместно работать арку и надарочную часть при нагрузках, приложенных до омоноличивания швов (постоянные нагрузки).

Задачу о совместной работе арок и надарочной части при влиянии ползучести бетона можно решать в элементарных функциях при некоторых упрощениях. Аналогичная задача для арок без надарочной части решена в [1] и [2]. При решении задачи применяются следующие упрощения:

- 1) теория старения ползучести бетона является достаточно точной для практических инженерных расчетов,
- 2) модуль упругости, а также прочность бетона являются постоянными во времени,
- 3) применим принцип независимости действия сил и наложения напряжений и деформаций,

4) гипотеза плоских сечений действительна, а при мгновенных деформациях действителен и закон Гука.

Свойства возведенного железобетонного арочного моста должны с некоторыми приближениями удовлетворять следующим условиям:

5) пологость арки (f/l) меньше 0,2,

6) закон распределения жесткостей $J_a(x) = J_c / \cos \alpha(x)$,

где J_c - момент инерции сечения арки в замке, α - угол наклона касательной оси арки,

7) во время постройки надарочной части арки включены в работу,

8) модуль упругости бетона и характеристики ползучести железобетона одинаковые в арках и балках проезжей части,

9) жесткость стоек и устройство их концов не противоречат расчетной схеме с шарнирным примыканием стоек [3],

10) стойки не деформируются вдоль их осей,

II) длина неразрезной части надарочной балки равна полупролету арки.

В мостах, удовлетворяющих вышенриведенным условиям, прогибы балки и арки, появляющиеся после омоноличивания швов, равны между собой:

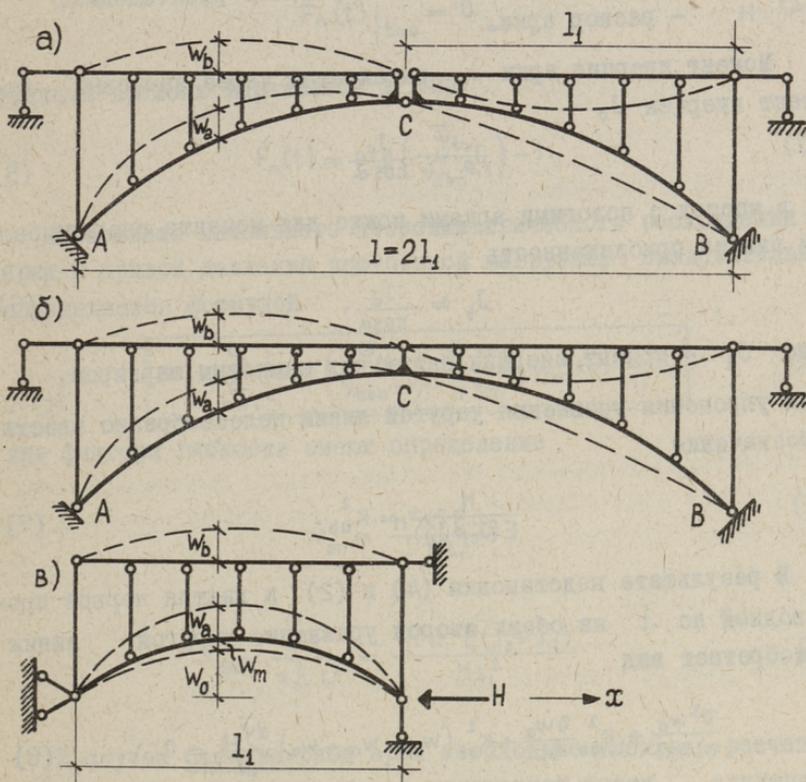
$$w_b = w_a. \quad (1)$$

Для выражения прогибов w_a , зависящих от ползучести бетона, можно использовать уравнение упругой линии

$$w_a'' \cos \alpha = -\frac{\varepsilon_a}{z}, \quad (2)$$

где z обозначает расстояние от оси сечения арки до рассматриваемого фибра, ε_a - фибровые деформации арки, зависящие от изгибающих моментов.

Самыми существенными являются кроссимметричные прогибы арки от ползучести. В случае трехшарнирных и двухшарнирных арок расчетные схемы фиг. I,а и I,б заменимы упрощенной схемой фиг. I,в. Ввиду того, что изгибающие моменты при кроссимметричных прогибах в обоих видах арок выражаются одной и той же формулой



Фиг. 1. Схемы деформирования трех- (а) и двухшарнирных (б) арок и упрощенная схема (в), заменяющая первые две схемы

$$M(x, t) = H [w_0(x) + w_m(x) + w_d(x, t)], \quad (3)$$

одной и той же формулой выражаются и фибровые деформации

$$\begin{aligned} \varepsilon_d = & \frac{H(w_0 + w_m)z}{EJ_a} + \frac{H(w_0 + w_m)z}{E(J_a + J_b)} \bar{\varphi}_{tb} + \\ & + \frac{Hz}{E(J_a + J_b)} \int_0^t \frac{\partial w_d}{\partial \tau} (1 + \bar{\varphi}_{tb} - \bar{\varphi}_{\tau b}) dt. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь $\bar{\varphi}_{tb}$ - характеристика ползучести железобетона при изгибе,

t - время, учитываемое от момента омоноличивания швов балки,

$w_0(x)$ - начальное расхождение оси арки и кривой давления постоянной нагрузки,

$w_m(x)$ - упругое нарастание начального расхождения,

H - распор арки.

Момент инерции арки J_a выражается через замковый момент инерции J_c

$$J_a = \frac{J_c}{\cos \alpha}, \quad (5)$$

а в мостах с пологими арками можно для момента инерции балки ввести приближенность

$$J_b \approx \frac{J_d}{\cos \alpha}, \quad (6)$$

где J_d - момент инерции балки над замковым шарниром.

Для упрощения уравнения упругой линии целесообразно ввести обозначение

$$\frac{H}{E(J_c + J_d)} = K_{ab}^2. \quad (7)$$

В результате подстановки (4) в (2) и взятия первой производной по t из обеих сторон уравнение упругой линии приобретает вид

$$\frac{\partial^3 w_a}{\partial t \partial x^2} + K_{ab}^2 \frac{\partial w_a}{\partial t} + K_{ab}^2 (w_a + w_m + w_0) \frac{d\bar{\varphi}_{tb}}{dt} = 0. \quad (8)$$

В целях большей общности решения целесообразно представить начальное расхождение в виде ряда Фурье

$$w_0 = \sum_{n=1}^{\infty} w_{0n} \sin \frac{n\pi x}{l_1}. \quad (9)$$

Ввиду того, что кососимметричные расхождения оси арки и кривой давления удовлетворяют граничным условиям

$$w|_{x=0} = w|_{x=l_1} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}|_{x=0} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}|_{x=l_1} = 0, \quad (10)$$

можно частное решение уравнения (8) искать в форме

$$w_a = \sum_{n=1}^{\infty} F_n(t) \frac{\nu_{an}}{\nu_{an} - 1} w_{0n} \sin \frac{n\pi x}{l_1}. \quad (11)$$

При удовлетворении начального условия

$$F_n(t) \Big|_{t=0} = 0 \quad (I2)$$

Функция времени выражается в виде

$$F_n(t) = \exp\left(\frac{\bar{\varphi}_{tb}}{\gamma_{abn^{-1}}}\right) - 1. \quad (I3)$$

Нарастание начального кососимметрического расхождения оси арки и кривой давления постоянной нагрузки, следовательно, определяется формулой

$$w_a = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\exp\left(\frac{\bar{\varphi}_{tb}}{\gamma_{abn^{-1}}}\right) - 1 \right] \frac{\gamma_{an}}{\gamma_{an^{-1}}} w_{on} \sin \frac{n\pi x}{l_1}, \quad (I4)$$

где факторы гибкости имеют определение

$$\gamma_{an} = \frac{n^2 \pi^2 E J_c}{H l_1^2} \quad (I5)$$

$$\gamma_{abn} = \frac{n^2 \pi^2}{K_{ab}^2 l_1^2} = \frac{n^2 \pi^2 E (J_c + J_d)}{H l_1^2}. \quad (I6)$$

В случае бесшарнирной арки необходимо выбирать расчетную схему по фиг. 2 а, где балка надарочной части закреплена аналогично аркой (граничные условия одинаковые). Изгибающие моменты при кососимметричных прогибах от ползучести зависят от опорных моментов $[I]$:

$$M(x, t) = H[w_0(x) + w_m(x) + w_a(x, t)] + \left(\frac{x}{l_1} - 1\right) [M_0 + M_m + M_a(t)] \quad (I7)$$

и, следовательно, фибровые деформации выражаются формулой

$$\begin{aligned} \epsilon_a = & \frac{H(w_0 + w_m) + \left(\frac{x}{l_1} - 1\right)(M_0 + M_m)}{E J_a} z + \frac{H(w_0 + w_m) + \left(\frac{x}{l_1} - 1\right)(M_0 + M_m)}{E(J_a + J_b)} z \bar{\varphi}_{tb} + \\ & + \frac{z}{E(J_a + J_b)} \int_0^t \left[H \frac{\partial w_a}{\partial \tau} + \left(\frac{x}{l_1} - 1\right) \frac{dM_a}{d\tau} \right] (1 + \bar{\varphi}_{tb} - \bar{\varphi}_{\tau b}) d\tau. \end{aligned} \quad (I8)$$

Уравнение упругой линии

$$\frac{\partial^3 w_a}{\partial t \partial x^2} + K_{ab}^2 \frac{\partial w_a}{\partial t} + K_{ab}^2 w_a \frac{d\bar{\varphi}_{tb}}{dt} + K_{ab}^2 \left(\frac{x}{l_1} - 1\right) \frac{1}{H} \left(\frac{dM_a}{dt} + M_a \frac{d\bar{\varphi}_{tb}}{dt}\right) + K_{ab}^2 \left[w_o + w_m + \left(\frac{x}{l_1} - 1\right)(M_o - M_m)\right] \frac{d\bar{\varphi}_{tb}}{dt} = 0 \quad (19)$$

решается при граничных условиях

$$w|_{x=0} = w|_{x=l_1} = \frac{\partial w}{\partial x}|_{x=0} = \frac{\partial w}{\partial x^2}|_{x=l_1} = 0 \quad (20)$$

при помощи собственной функции однородного уравнения

$$\sin \frac{\psi_n x}{l_1} - \psi_n \cos \frac{\psi_n x}{l_1} - \frac{\psi_n x}{l_1} + \psi_n \quad (21)$$

Нарастание начального кососимметричного расхождения оси бесшарнирной арки и кривой давления постоянной нагрузки определяется по выражению

$$w_a = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\exp\left(\frac{\bar{\varphi}_{tb}}{\nu_{abn}-1}\right) - 1 \right] \frac{\nu_{an}}{\nu_{an}-1} w_{an} \left(\sin \frac{\psi_n x}{l_1} - \psi_n \cos \frac{\psi_n x}{l_1} - \frac{\psi_n x}{l_1} + \psi_n \right) \quad (22)$$

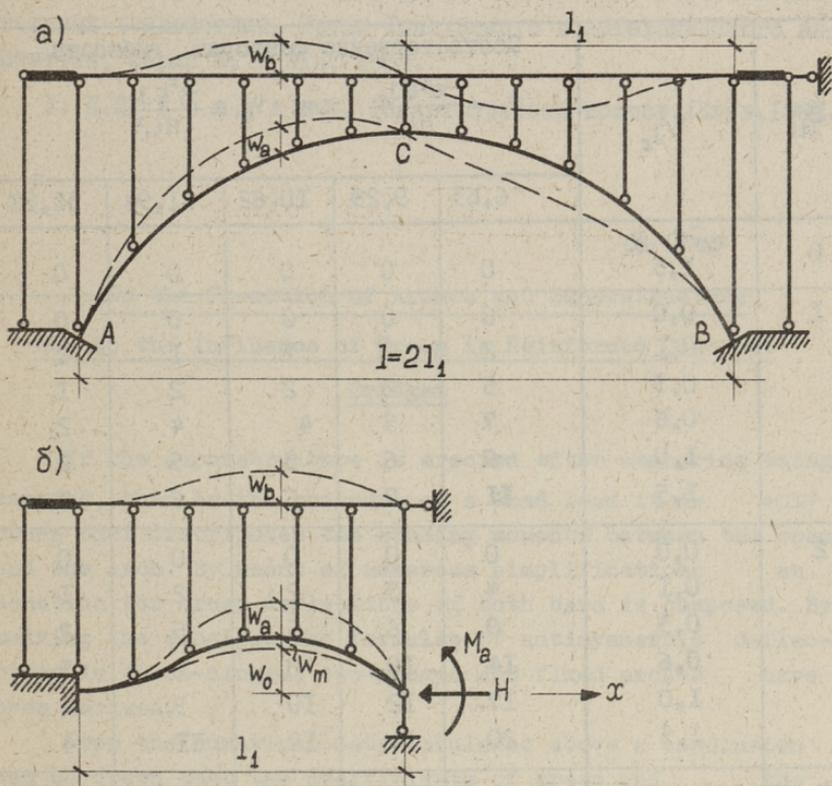
Здесь факторы гибкости определяются формулами

$$\nu_{an} = \frac{\psi_n^2 E J_c}{H l_1^2} \approx \left[(n+0,5)\pi - \frac{1}{(n+0,5)\pi} \right]^2 \frac{E J_c}{H l_1^2} \quad (23)$$

$$\nu_{abn} = \frac{\psi_n^2 E (J_c + J_d)}{H l_1^2} \approx \left[(n+0,5)\pi - \frac{1}{(n+0,5)\pi} \right] \frac{E (J_c + J_d)}{H l_1^2} \quad (24)$$

Учитывая факт, что в формулах (14) и (22) функции времени совпадают, можно роль участия надарочной части в работе арок определить одинаково. Коэффициенты уменьшения расхождения определяются выражением

$$\xi = \frac{w_o + w_m + w_a - (v_o + v_m + v_a)}{v_o + v_m + v_a} = \frac{\exp\left(\frac{\bar{\varphi}_{tb}}{\nu_{abn}-1}\right) - \exp\left(\frac{\bar{\varphi}_{tb}}{\nu_{an}-1}\right)}{\exp\left(\frac{\bar{\varphi}_{tb}}{\nu_{an}-1}\right)} = \exp\left(\frac{\bar{\varphi}_{tb}}{\nu_{abn}-1} - \frac{\bar{\varphi}_{tb}}{\nu_{an}-1}\right) - 1 \quad (25)$$



Фиг. 2. Схема деформирования бесшарнирной арки (а) и упрощенная схема (б), заменяющая первую схему.

Коэффициенты ξ приведены в таблице I. Из таблицы явствует, что в случаях практических факторов гибкости ($\nu_{\text{д}} \geq 9,29$) изгибающие моменты в системе - арке соединенная с неразрезной балкой - уменьшаются вследствие ползучести бетона до 20%, сравнивая с системой, где надарочная часть состоит из простых балок. Для предварительных расчетов при проектировании можно использовать таблицу I, в окончательных расчетах необходимо перейти к формулам (14) и (22), а также учитывать прочие виды деформирования арки.

Коэффициенты 100ξ для трех-, двух- и
бесшарнирных арок

$\bar{\varphi}_{tb}$	J_d/J_c	Соответственно факторам гибкости				
		$\gamma_{a1} = \frac{\pi^2 EJ_c}{Hl_1^2}$ или $\gamma_{a1} = \frac{\varphi_1^2 EJ_c}{Hl_1^2}$				
		6,63	9,29	10,62	11,94	31,85
0	от 0 до 1,5	0	0	0	0	0
I	0,0	0	0	0	0	0
	0,1	2	1	1	1	1
	0,3	5	2	2	2	1
	0,6	7	5	4	4	2
	1,0	9	6	5	5	2
	1,5	11	7	6	6	3
2	0,0	0	0	0	0	0
	0,1	4	3	2	2	1
	0,3	9	6	5	5	2
	0,6	14	10	8	7	3
	1,0	17	12	10	9	4
	1,5	20	14	12	11	4
3	0,0	0	0	0	0	0
	0,1	5	4	3	3	1
	0,3	13	9	7	7	3
	0,6	20	14	12	10	4
	1,0	25	17	15	13	5
	1,5	29	20	18	16	6

Л и т е р а т у р а

I. Fr. Dischinger. Elastische und plastische Verformungen der Eisenbetontragwerke und insbesondere der Bogenbrücken, "Der Bauingenieur" 1939, Nr. 5/6, 21/22, 31/32, 47/48.

2. Х.А. М я г и. Расчет сборных трехшарнирных железобетонных мостовых арок по деформированной схеме с учетом длительных воздействий. Труды Таллинского политехнического института, серия А, № 218, 1965.

3. Л.П. П о л я к о в. Расчет арочных мостов. Киев, 1962.

H. Mägi

On the Co-action of Arches and Superstructure
Due to the Influence of Creep in Reinforced Concrete
Bridges

If the superstructure is erected after centering being removed, then in the presence of a dead load it is only creep that distributes the bending moments between the beam and the arch. By means of numerous simplifications an equation for creep deflections of both bars is composed. By solving the equation the formulae of antisymmetric deflections in three-hinged, two-hinged and fixed arches have been derived.

From the numerical data tabulated above a conclusion can be drawn that the coefficients of creep and the stiffness ratios being large bending moments notably redistribute between the beam and the arch.



АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ
АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Сборник статей 1У

Таллинский политехнический институт

Редактор Р. Силлат
Техн. редактор Л. Лоопер

Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 23/X 1969 года.

Сдано в набор 18/II 1970 г. Подписано к печати 21/IX 1970 г.
Бумага 60x90/16. Печ. л. 6,25 + приложение. Уч.-изд. л. 4,70.
Тираж 350. МВ-07664, Зак. №519. Ротапринт ТПИ, Таллин,
ул. Коскла, 2/9. Цена 47 коп.

Цена 47 коп.