

TALLINNA POLÜTEHNILISE
INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

СЕРИЯ А

№ 250

ДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

СБОРНИК СТАТЕЙ

II



Ep. 6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
СЕРИЯ А № 250 1967

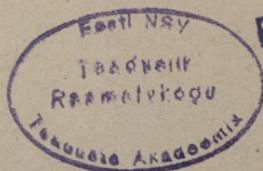
УДК 625.7/8

ДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

СБОРНИК СТАТЕЙ

II

ТАЛЛИН 1967



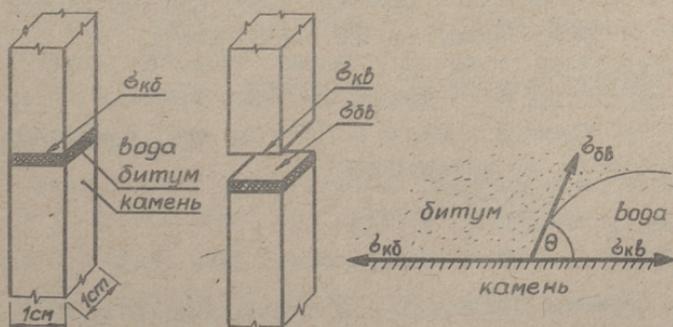
Ep. 8190

УДК 627.75:665.452

М.К. Коппель

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ОЦЕНКИ ПРИЛИПАНИЯ СЛАНЦЕВЫХ
 БИТУМОВ

Распространившийся в конце двадцатых годов холодный способ строительства асфальтовых покрытий удивлял дорожников частыми разрушениями покрытий во влажные периоды года. В сухое время эти покрытия были в хорошем состоянии. В связи с этим возникла необходимость изучить отношение между камнем и вяжущим материалом — прилипание. Ридель [1] дефинирует прилипание как сопротивление вяжущего вещества отслаиванию от камня. Это сопротивление всегда так велико, что преодолеть его механическими силами невозможно. Разрушение тогда происходит в вяжущем веществе, не затрагивая поверхности раздела камня и вяжущего вещества. Зато под влиянием холода, особенно же влаги, битум легко отслаивается от камня, вследствие чего покрытие теряет свою монолитность и начинается разрушение. Так как влияние воды наблюдается хорошо, то большинство работ, опубликованных к 1955 году (около 400), посвящено влиянию воды на прилипание.



Фиг. 1. Равновесие сил при смачивании

Прилипание классически объясняется силами между 3 фазами (вода, битум, камень). Обозначая работу прилипания, можно вывести по фиг. I

$$W_a = \sigma_{кв} + \sigma_{бв} - \sigma_{кб}, \quad (I)$$

то есть работа, которая расходуется на образование двух новых поверхностей (камень-вода и битум-вода).

Здесь: $\sigma_{кб}$ - поверхностное натяжение между камнем и битумом;

$\sigma_{кв}$ - поверхностное натяжение между камнем и водой;

$\sigma_{бв}$ - поверхностное натяжение между битумом и водой.

$\sigma_{кб}$ и $\sigma_{кв}$ являются до сих пор неизмеримыми величинами, так как отсутствуют методы непосредственного измерения поверхностной энергии твердого тела. Однако имеется возможность с известной точностью измерить краевой угол θ .

Преобразуя формулу (I) при помощи формулы Юнга

$$\sigma_{кб} = \sigma_{кв} + \sigma_{бв} \cdot \cos \theta, \quad (2)$$

получаем

$$W_a = \sigma_{бв}(1 - \cos \theta). \quad (3)$$

В данном случае краевой угол измерен через полярную жидкость, каковой здесь является вода. Если же краевой угол измеряется через битум, то $W_a = \sigma_{бв}(1 + \cos \theta)$.

При анализе формулы (3) выясняется, что

1) когда краевой угол $\theta = 180^\circ$, то есть камень не смачивается водой, то минимальная

$$W_a = 2\sigma_{бв} = W_k,$$

где W_k - работа когезии;

2) в дорожных покрытиях W_a обычно больше W_k .

Для таких случаев теоретические расчеты не применимы.

Основой формулы (2) является равновесие, которое в практике наступает через некоторое время, в зависимости от вяз-

и краевого угла, но и от исходных условий. Они пишут: " В каждом случае, однако, междупазная линия смещается только так долго и так далеко, пока не достигается равновесное состояние".

Вышесказанное относится и к оттеснению водой битума из щебня. При битумах с высокой вязкостью равновесие наступает раньше. При меньшей вязкости и большом поверхностном натяжении битум оттесняется больше и капля битума приобретает вид шара аналогично процессу, изображенному на фиг. 2. Следовательно, мерой силы адгезии между битумом и камнем можно считать величину поверхности, которая открывається под действием воды.

Метод оценки прилипания по "открытой" поверхности камня не новый. Все первые и часть применяемых в настоящее время экспериментальных методов основываются на оценке открытой поверхности. Из них наиболее распространенные:

1. Оценка поверхности визуально связана с большим количеством субъективных ошибок.

Остальные четыре метода претендуют на объективность, но остаются менее распространенными, чем первый.

2. Метод адсорбции красителя (Герлах-сафранином, Колбановская - метиленовым голубым [5]).

3. Метод радиоактивных изотопов "... при котором изотопы поглощаются только поверхностью минерального материала, не адсорбируясь на битуме" (Колбановская [5]).

4. Фотометрическое измерение отраженного света (турецкий метод).

5. Измерение растворимости битума в бензоле (Леттерс [4]).

Все эти методы выработаны для нефтяных битумов. При сланцевых битумах до сих пор применялась только визуальная оценка, так как другие методы требуют более сложного экспериментального оборудования и также имеют недостатки.

Недостатком метода красителей считают недостаточную адсорбцию красителя на поверхности минерального материала, освободившегося от битумного покрытия. Для преодоления упомянутого недостатка интересное предложение внес Леттерс

[4]. Он предлагает определять полную площадь каменного материала, обработанного битумом, путем растворения кратковременно в каком-то растворителе. Предполагается, что количество растворимого битума является пропорциональным поверхности. Определяя растворимость после обработки каменного материала битумом, а также после выдерживания в воде, можно из отношения этих растворимостей определить "открытую поверхность".

До сих пор нет исследовательских работ по методам оценки прилипания сланцевых битумов. При исследовании прилипания сланцевых битумов в первую очередь необходимо установить наиболее пригодный метод. В данной статье изложены предварительные результаты опытов, проведенных методом красителей.

О методике красителей в литературе опубликованы данные Герлаха (в 1936 году), Комитета ASTM (1952-1954) [2] и Колбановской (1959 год [5]). Из них две первые работы аналогичны, так как в обеих применяются в качестве красителя сафранин. Американцы уделяли этому методу особое внимание в связи с намерением включить его в нормы ASTM. В исследованиях участвовали 12 лабораторий, которые применяли единую методику. Наряду с методом красителей были применены и другие методы, которые, в основном, оценивали открытую поверхность визуально. В результатах получились большие расхождения, причиной чего считали неудовлетворительную адсорбцию красителя на загрязненной битумом поверхности. Метод не был принят в нормы и комитет продолжал работу методами отраженного света (турецкий метод) и радиоактивных изотопов.

Метод красителей снова применяла Колбановская [5]; она отказалась от рекомендуемого Герлахом сафранина и применяла для исследований метиленовый голубой. Адсорбция красителей при этом рассчитывалась из формулы

$$Q = \frac{(C_1 - C_2) \cdot V}{m},$$

где C_1 - исходная концентрация, в мг/мл,
 C_2 - равновесная концентрация, с мг/мл,
 V - объем раствора красителя, в мл,
 m - навеска материала, в г.

Отношение величины адсорбции красителя к поверхности битумированного материала Q_n и величине адсорбции поверхностью исходного материала q_0 дает долю "открытой" поверхности

$$S_0 = \frac{Q_n}{q_0} 100\% .$$

Отсюда относительная поверхность, покрытая битумом,

$$S_n = 100 - S_0 .$$

Для проверки основного предположения, что метиленовой голубой имеет способность избирательно адсорбироваться из водных растворов на минеральной поверхности, не адсорбируясь на битуме, нами были изготовлены смеси из минерального материала (0,06 + 5 мм) со сланцевым битумом БС-П из тяжелого масла и с нефтяным битумом БН-Ш в соотношениях 100 : 5. Навески из необработанного материала и смесей помещали в конические колбы емкостью 500 см³, куда добавляли 100 см³ раствора красителя. Через каждый час определялась концентрация раствора. Данные анализов приведены в табл. I.

Т а б л и ц а I

Адсорбция красителей на чистом и обработанном с битумом щебне

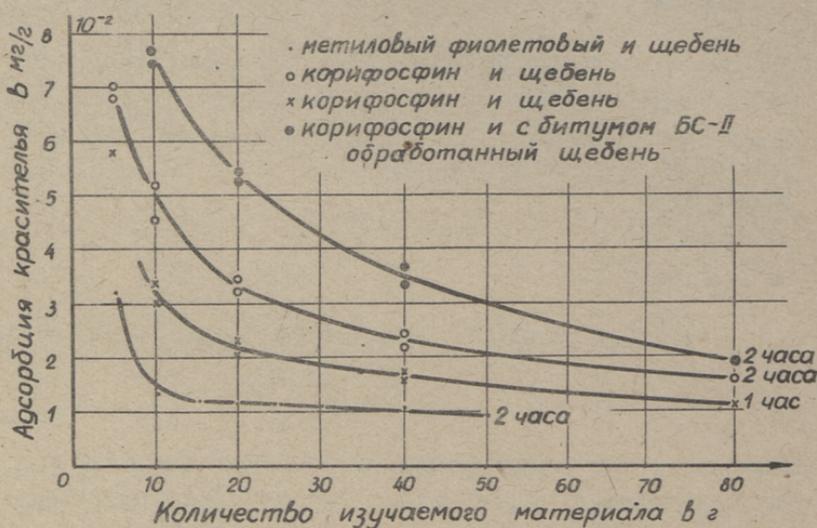
Наименование красителя	Материал	К-во метериала, в г	Адсорбция, в мг/г 10 ⁻⁴	
			через 1 час	через 2 часа
I	2	3	4	5
Метиленовый голубой	Чистый щебень <5 мм	50	9,90	10,34

I	2	3	4	5
C ₁ = 0,01 % V = 100 см ³	Щебень, обработанный сланцевым битумом	20	15,20	19,30
		40	13,30	18,65
		50	12,30	15,24
	Щебень, обработанный нефтяным битумом	20	3,10	6,30
		40	1,45	1,45
		50	1,86	1,64
Метиловый фиолетовый C ₁ = 0,001 % V = 100 см ³	Чистый щебень	6	22,1	31,9
		10	15,5	13,6
		15	10,9	12,3
		20	11,7	11,8
		25	10,8	11,5
		30	10,2	11,6
		40	8,5	10,6
		50	7,6	9,0
		Корифосфин C ₁ = 0,02 V = 100 см ³	Чистый щебень	5
10	32,0			49,0
20	22,5			33,8
40	17,2			22,8
80	12,6			16,4
Щебень, обработанный сланцевым битумом	5		66,0	111,0
	10		46,0	74,5
	20		35,8	53,0
	40		28,4	35,4
	80		19,9	19,6

Из таблицы вытекает, что метиленовый голубой адсорбируется на сланцевом битуме, а также на минеральном материале. Адсорбция красителя на нефтяном битуме остается в пределах точности опыта.

Для выявления подходящего красителя проверяли адсорбцию 24 красителей на мелком щебне и обработанном сланцевым битумом мелком щебне. Из них 9 не адсорбировались на минеральном материале и на сланцевом битуме (тропелин, кислотный хром темносиний, тиазиновый красный, бромрезоловый

зеленый и др.). Остальные красители адсорбировались на минеральном материале и на битуме (бриллиантовый желтый, корифосфин, мурексид, азокармин, аркидиновый желтый и др.).

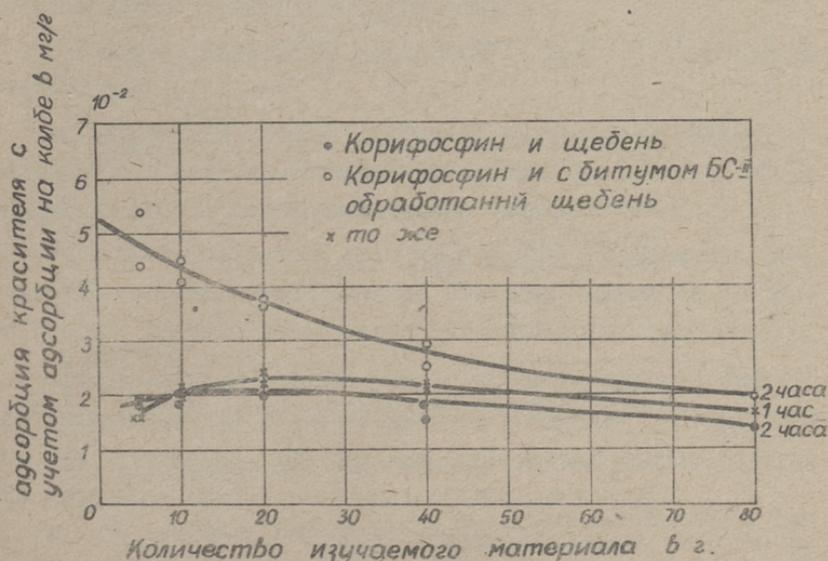


Фиг. 3. Зависимость адсорбции красителей от количества изучаемого материала

Несмотря на сравнительно большое количество изученных красителей, не удалось найти подходящего. Тогда решили применить краситель, адсорбция которого на минеральном материале отличалась бы возможно больше от адсорбции его на сланцевом битуме. При опытах применяли корифосфин, адсорбция которого на битуме превышает примерно в 1,5 раза адсорбцию на каменном материале (фиг. 3 и 4). Концентрация раствора была 0,02% для удобства измерения падения концентрации. Зная количество адсорбированного красителя соответственно на 1 грамм промытого (а) и полностью покрытого битумом щебня (b), можно вычислить "открытую" поверхность минерального материала из системы уравнений

$$\begin{cases} x + y = m \\ ax + by = q_n \end{cases},$$

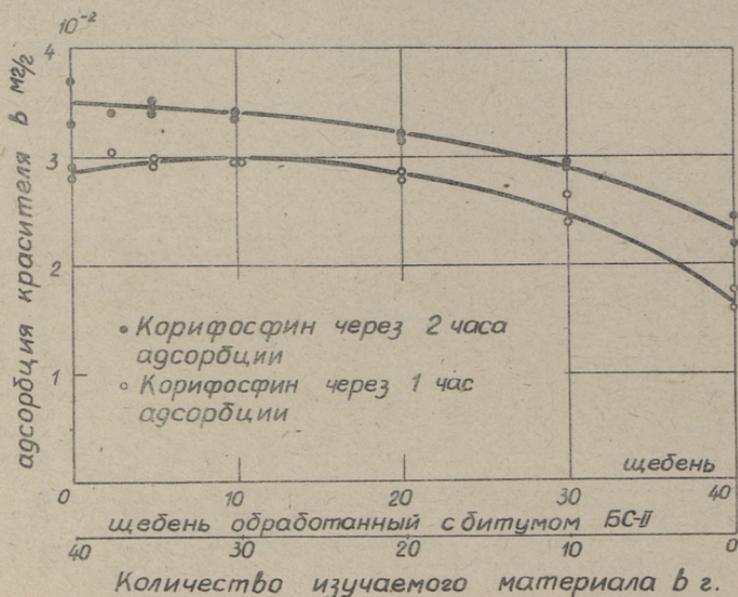
- где x — количество открытых минеральных зерен в m граммах смеси, в г,
 y — количество покрытых битумом минеральных зерен в m граммах смеси, в г,
 $q_{п}$ — количество адсорбированного красителя на смеси, в г.



Фиг. 4. Зависимость адсорбции корифосфина от количества изучаемого материала

Система уравнений действительна только тогда, когда a и b являются константами, то есть количество красителя адсорбированного на 1 грамм адсорбента, не зависит от количества адсорбента. Из такого же предположения исходят Герлах и Колбановская. Для проверки этого предположения измеряли адсорбцию на разных количествах материала. Полученные данные приведены в табл. 1 и на графиках фиг. 3 и 4. Во избежание ошибки от адсорбции красителя на стенках колбы из общей адсорбции вычитали адсорбцию на колбе (фиг. 4). Кривые на фиг. 3 являются условными, в них адсорбция на стенках колбы не учтена. Из графиков явствует, что адсорбция существенно зависит от количества пробы. Ясно также, что увеличение количества пробы положения не изменит, так

как кривая адсорбции непрерывно падает. Положение может быть улучшено путем повышения концентрации раствора. При этом относительное количество адсорбированного красителя



Фиг. 5. Адсорбция корифосфина на смесях из щебня и щебня, покрытого сланцевым битумом

уменьшается. Однако возникают трудности при оценке изменений концентрации колориметром. Изложенные выше проблемы требуют дополнительного изучения.

Третья возможность измерения "открытой" поверхности: приготовить смеси из щебня и из щебня, покрытого сланцевым битумом в разных соотношениях. Измеряя адсорбцию на них, мы можем построить кривую, которая и является основой для оценки поверхности при данных материалах (фиг.5). На ординате показана адсорбция на 1 грамм смеси, а на абсциссе слева направо — количество чистого щебня в смеси и справа налево — количество щебня, покрытого битумом.

Следует измерить только адсорбцию красителя на известной открытой поверхности смесей, для которых построена кривая, аналогичная фиг. 5, и сразу же по графику можно рассчитать величину "открытой" поверхности. К сожалению

нию, график на фиг. 5 имеет существенный недостаток. А именно, адсорбция корифосфина не изменяется на участке, где "открытая" поверхность составляет менее $1/4$ от общей поверхности, в практике же самый большой интерес представляет именно этот участок.

Из вышеприведенных соображений и анализа результатов опытов можно сделать следующие выводы:

1. Оценка прилипания при помощи "открытой" поверхности обоснована.

2. Визуальная оценка "открытой" поверхности зависит в большей степени от опытности определителя. Следует предпочитать другие более объективные методы.

3. Оценка "открытой" поверхности при помощи метода красителей является перспективной благодаря простоте и логичности, но заключает в себе ряд нерешенных проблем.

4. Применение метиленового голубого и других красителей, исследованных в данной работе, в случае сланцевого битума невозможно, так как они одновременно адсорбируются на сланцевом битуме и на минеральном материале.

5. В дополнительном исследовании нуждается количество адсорбированного красителя на 1 грамм минерального материала в зависимости от его количества.

6. Имеется возможность применять такой краситель, адсорбция которого на 1 г минерального материала не зависит от его количества и возможно больше отличается от адсорбции на сланцевом битуме.

7. Имеется также возможность применять для каждой пары материалов кривую, аналогично фиг. 5, в случае, когда адсорбция на минеральном материале и на битуме отличается возможно больше, но зависит от их количеств.

8. Нельзя применять метод красителей по общим рекомендациям, а необходимо учитывать конкретные условия.

В заключение отметим, что применение метода красителей для оценки прилипания сланцевого битума требует дополнительного изучения в направлениях, которые приведены в данной работе.

Л и т е р а т у р а

1. W. R i e d e l. Die Adhäsion in Theorie und Praxis. Wissenschaftliche Zeitschrift „Hochschule für Bauwesen“, Leipzig, N 1, 1961.
2. Entwicklung von Prüfmethode n zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Bitumen auf Gestein. Bitumen, Teere, Asphalte, Peche und verwandte Stoffe, N 5, 1953.
3. R. W i l h e l m i und K. S c h u l z e. Grenzflächenvorgänge am System Wasser-bituminöse Bindemittel und ihre Bedeutung für die Baupraxis. Bitumen, Teere, Asphalte, Peche und verwandte Stoffe, N 4, 1954 und N 1, 1955.
4. K. L e t t e r s. Eine neue Methode zur quantitativen Bestimmung des Schrumpfprozesses von mit bituminösen Bindemitteln umhülltem Gestein bei der Wasserlagerung. Bitumen, Teere, Asphalte, Peche und verwandte Stoffe, N 12, 1957.
5. А.С. К о л б а н о в с к а я. Метод красителей для определения сцепления битума с минеральными материалами. Автотрансиздат. Москва 1959.

M. Koppel

The Possibility of Estimating Adhesion of Shale Oil Bitumen

Summary

The problem of estimating the adhesion of bituminous materials has hitherto not a final solution. Indirect estimation is possible by determining the free surface of aggregate. One of this methods, the adsorption of colours, was examined by the author in shale oil bitumens. It was fixed by experiments that the colour method has some essential deficiencies (the surface of aggregate is not proportional to the quantity of adsorbed colour, a part of colour adsorbs a shale oil bitumen). For eliminating the deficiencies supplementary investigations will be needed.

УДК 621,431.73.004.5

Р.Ю. Левет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОПЕРАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ СИСТЕМЫ СМАЗКИ КАРБЮРАТОРНОГО
ДВИГАТЕЛЯ НА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ФИЛЬТРОВ И МАСЛА

Загрязнение кортерного масла двигателей и масляных фильтров между собой тесно связано. Чем выше эффективность фильтрации, тем чище масло. Наоборот, при плохой фильтрации масла качество его ухудшается.

Проверка качества масла в эксплуатационных условиях производится в основном визуально, т.е. по цвету и прозрачности пленки масла на маслоизмерительном шупе.

Условно принято, что в случаях, если пленка без присадочных масел (АК, СУ и др.) еще прозрачна, когда метки на поверхности шупа видны, то суммарное количество механических примесей в масле не превышает 0,3%. Одновременно предполагается, что при указанном выше содержании механических примесей прочие показатели качества масла (кислотное число, вязкость и др.) находятся в допустимых для работы двигателя нормах [1].

Под суммарными механическими примесями подразумевается общее количество механических примесей, т.е. как органическая — сгораемая, так и неорганическая — несгораемая часть. Но не все компоненты механических примесей в масле одинаково опасны для двигателя в отношении износа. Для предотвращения чрезмерного износа деталей двигателя необходимо, чтобы масляные фильтры задерживали в первую очередь абразивные негорючие примеси. Органическая часть механических примесей в

некоторых случаях [2] может даже уменьшать износ деталей двигателя. В конкретных условиях эксплуатации измерением количества суммарных механических примесей в масле можно косвенно оценить и количество негорючих примесей. Так найдено, что в средних условиях эксплуатации, при хорошем состоянии воздушных фильтров и исправной системе вентиляции двигателя, с нормально работавшими масляными фильтрами и регулярной замене масла, содержание негорючих примесей в масле обычно составляет не более 10% от общего количества механических примесей.

Современные масляные фильтры тонкой очистки, предусмотренные для удаления в первую очередь из масла абразивных частиц, задерживают как горючие, так и негорючие механические примеси. По мере загрязнения фильтра тонкой очистки его фильтрующая способность уменьшается. Наступает момент, когда прирост количества примесей в масле превышает количество примесей, улавливаемых фильтром, и качество масла резко ухудшается. Фильтрующий элемент необходимо заменять.

Для проведения мероприятий по повышению срока службы фильтрующих элементов и картерного масла в конкретных условиях эксплуатации автомобилей необходимо предварительно исследовать те основные факторы, от которых зависит загрязнение фильтров и масла.

Таковыми основными факторами являются:

1. Техническое состояние двигателя и его эксплуатационный режим.
2. Качество масла.
3. Конструктивные особенности фильтров.
4. Техническое обслуживание (ТО) системы смазки двигателя.

Количество и состав механических примесей зависят в первую очередь от технического состояния двигателя и его эксплуатационного режима. С увеличением нагрузки двигателя увеличивается и прорыв газов в картер, особенно при изно-

шенных цилиндрах и поршневых кольцах, вследствие чего увеличивается и количество механических примесей в масле. С другой стороны, если имеется большой угар масла, то постоянно прибавляется некоторое количество свежего масла, а это уменьшает относительное количество механических примесей в масле.

Немалое значение имеет и качество масла. Если применяется масло с хорошими моющими качествами, присадочные масла, то отложения и осадки будут накапливаться в системе смазки медленнее, а сроки службы фильтрующих элементов и масла увеличиваются.

Фильтрующая способность во многом зависит от конструкции и качества изготовления фильтрующих элементов тонкой очистки, а также от применяемых материалов изготовления их [3].

От объема и периодичности выполняемых операций ТО системы смазки двигателя зависит первоначальная степень загрязнения масла, а также динамика загрязнения фильтров в процессе эксплуатации.

Согласно инструкции по техническому обслуживанию автомобилей предусмотрено проводить ряд операций по уходу за системой смазки двигателя, периодичности которых непосредственно связаны с периодичностью замены масла. Так, например, рекомендуется одновременно с заменой масла заменить и фильтрующий элемент тонкой очистки масла, промыть фильтр грубой очистки и корпуса масляных фильтров. Промывка картера этой инструкцией не предусмотрена, однако в эксплуатационных инструкциях, выдаваемых заводами автомобилей, а также в литературе такое требование имеется. С.В. Крамаренко [4] и Я.Н. Несвицкий [5] рекомендуют регулярно промывать картер двигателя через одну или в каждую замену масла в зависимости от применяемой промывочной жидкости.

В некоторых заводских инструкциях ухода [6] рекомендуется промывку картера производить лишь тогда, когда картер двигателя сильно загрязнен различными осадками, а при регулярной замене масла промывка картера вообще не требуется.

Какой должна быть периодичность замены масла и на какой

основе это определить — различные исследователи дают разные ответы.

Большинство иностранных специалистов (А.Бокенмиллер [7], Н. Кениг [8], Н.Маузер [9] и др.) высказываются за возможно частую замену масла и исходят при этом, главным образом, из накопления в масле механических примесей.

В испытаниях, проводившихся в нашей стране (Н.В. Брусянец и Д.М. Левин [10], Г.Н.Гордеев [11], НИИГСМ [12], НИИАТ, НИИ-25 и Реготмас [13] и др.) по определению сроков службы масла в двигателях, получены положительные результаты, говорящие о том, что с увеличением срока службы масла износ деталей не увеличивается.

Установление обоснованных сроков замены фильтрующих элементов и масла в двигателях внутреннего сгорания является важнейшей задачей, имеющей большое народнохозяйственное значение.

Вопрос о возможном максимальном сроке службы масла был исследован в 1962-1963 гг. кафедрой деталей машины Харьковского инженерно-строительного института под руководством доктора технических наук, профессора С.В. Венцеля [14].

В результате проведенных научно-исследовательских и опытных работ установлено, что при замене фильтрующих элементов фильтра тонкой очистки через 2000 км и проведения всех других работ по уходу системы смазки двигателя, масло нужно только доливать в соответствии с расходом на угар. По результатам исследования антифрикционные и противоизносные свойства масла с увеличением срока его работы в автомобильном карбюраторном двигателе улучшаются, а другие его эксплуатационные качества (антикоррозионные свойства, склонность к осадкообразованию и пр.) изменяются только в начальный период работы масла в двигателе, а затем стабилизируются.

Результаты технической экспертизы и микрометража двигателей показали, что при бессленном режиме масла в двигателях износы основных его деталей такие же или в большинстве случаев значительно ниже, чем у двигателей, работавших при обычном режиме с периодической заменой масла через 2000 км пробега.

Угар масла при бесшменном режиме его работы значительно снижается, что вместе с экономией масла от замены сокращает общий его расход в 2-2,5 раза.

Основные теоретические положения, объясняющие взаимосвязь процессов износа сопряженных деталей двигателя и старения масла с улучшением его эксплуатационных качеств, состоят в следующем.

В процессе работы двигателя в масле образующиеся крупные абразивные частицы (диаметром более 0,005 мм) отбираются фильтрами грубой и тонкой очистки. В масле остаются мелкие частицы, неорганическая высокодисперсная основа которых адсорбирует на себя коллоидную многослойную защиту из продуктов окисления масла, которые обладают высокими противозносными свойствами. На основании этого оптимальный срок смены фильтровых элементов фильтра тонкой очистки и проведения операции ТО системы смазки приобретает исключительно важное значение.

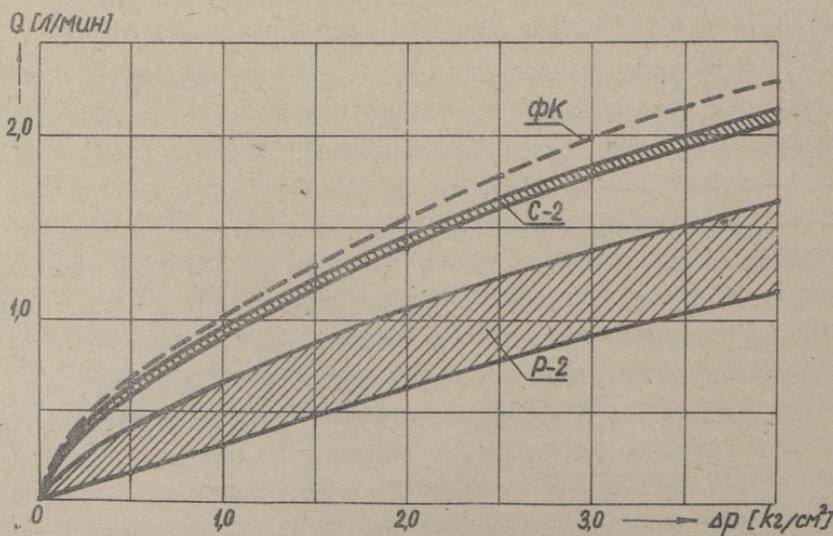
В пользу увеличения сроков смены картерного масла двигателей говорит усовершенствование конструкций двигателей, применение центрифугальных фильтров очистки масла, улучшение дорожных условий и рост качества масла.

В то же время увеличению срока службы смены масла в двигателях препятствует то обстоятельство, что в заводских инструкциях по-прежнему рекомендуются ограниченные сроки замены масла. Установлены эти сроки соображениями осторожности, опасениями, чтобы двигатель не вышел из строя из-за повышенных износов. Автохозяйства получают иногда и сорта масел, не соответствующие сезону, и фильтрующие элементы неоднородного качества. Согласно техническим условиям и ГОСТу выпускаемые фильтрующие элементы должны в выборочном порядке проходить испытания, которые часто не проводятся. Если мало внимания уделяется на операции ТО системы смазки двигателей, не заботятся об уходе масляных фильтров, то сроки смены фильтрующих элементов и масла сокращаются.

Из вышеуказанного следует, что на загрязнение фильтров и масла действует комплекс факторов, немаловажным из которых являются операции ТО системы смазки двигателя. Для ре-

шения поставленной задачи по исследованию влияния операции ТО системы смазки на загрязнение фильтров и масла, нужно было обеспечить относительное постоянство всех остальных факторов.

Проводя исследование в конкретных эксплуатационных условиях, необходимо было обеспечить в первую очередь постоянную эффективность работы фильтрующих элементов тонкой очистки масла, чтобы фильтрующие элементы имели однородные фильтровые способности. На предварительное испытание подвергались два типа фильтрующих элементов, Р - 2 завода "Заря" б.в. Горьковского СХЗ и С - 2 типа ДАСФО завода Стандарт б.в. Эстонского СХЗ, по 20 шт. в каждой партии. На лабораторных испытаниях, согласно ГОСТу 7155-54, определились гидравлические характеристики фильтрующих элементов. Результаты испытания представлены на фигуре I. Из результатов испытания видно, что гидравлические характеристики фильтрующих элементов С - 2 были более стабильны, чем фильтрующих элементов Р - 2. Так, например, при перепаде давления в фильтре 2 кг/см^2 пропускная способность филь-



Фиг. 1. Гидравлические характеристики фильтрующих элементов Р-2, С-2 и корпуса фильтра тонкой очистки масла - ФК

рующихся элементов С-2 колеблется в пределах от 1,32 до 1,39 л/мин. При таких же условиях пропускная способность фильтрующихся элементов Р-2 колеблется в пределах от 0,615 до 1,05 л/мин. На основании предварительных испытаний для дальнейших исследований были выбраны фильтрующие элементы С-2.

Для контроля рабочего режима двигателя создана вспомогательная аппаратура, с помощью которой можно было измерить температуру масла в картере и воды в радиаторе, пропускную способность и перепад давления в фильтре тонкой очистки масла. Имеющиеся краны позволяли взять пробы масла из главной магистрали и после фильтра тонкой очистки.

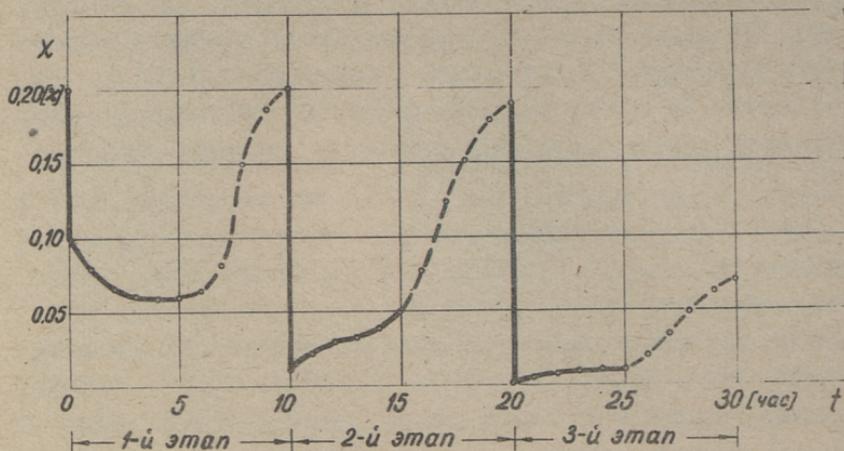
Очищенное масло после фильтра тонкой очистки, пройдя вспомогательную аппаратуру, направляется при помощи маслостойкого резинового шланга обратно через маслосливную горловину в картер двигателя.

При стендовом испытании использовался сильно изношенный двигатель ГАЗ-51, который работал на масле АК-10 ГОСТ 1862-51.

В соответствии с разработанной методикой испытание происходило тремя 10-часовыми этапами, где перед каждым этапом проводились различные операции ТО системы смазки и замена фильтрующего элемента и масла в картере двигателя.

После каждого комплекса операции ТО двигатель работал 5 часов на режиме холостого хода с фильтрующим элементом и 5 часов без фильтрующего элемента фильтра тонкой очистки масла. Во время испытания измеряли пропускную способность и перепад давления в фильтре тонкой очистки. По пробам масла определяли суммарное количество механических примесей в масле. Параллельно, при помощи взвешивания определялся привес фильтрующих элементов в каждом этапе. Результаты загрязнения масла, в зависимости от проведенных операций ТО системы смазки двигателя, представлены на фигуре 2.

Анализируя результаты испытания, видим, что в первом этапе, когда после выпуска отстоя из корпусов фильтров и заме-



Фиг. 2. Загрязнение масла механическими примесями в зависимости от проведенных операций ТО системы смазки двигателя ГАЗ-51

ны фильтрующего элемента и масла (когда фильтр грубой очистки не проворачивался и картер двигателя был сильно загрязнен), первоначальная степень загрязнения масла механическими примесями составляла 0,1%.

После пятичасовой работы, вследствие хорошей работы фильтрующего элемента, содержание механических примесей снижалось до 0,06%. Привес фильтрующего элемента составлял при этом 28,7 г, а пропускная способность его за это время не изменилась. После удаления из системы смазки фильтрующего элемента двигатель работал 5 часов с засоренным фильтром грубой очистки. К концу первого этапа количество механических примесей в масле составляло снова 0,2%. В начале второго этапа проводились снова операции ТО, где дополнительно осуществлялась промывка фильтра грубой очистки и корпусов фильтров.

В результате этого первоначальное загрязнение масла было значительно ниже и составляло лишь 0,012%. После 5-часовой работы количество примесей возросло до 0,05%. Второй фильтрующий элемент был по эффективности работы хуже, чем предыдущий, о чем свидетельствует и понижение пропускной

способности от 0,56 до 0,30 л/мин. Привес второго фильтрующего элемента составлял 19,1 г, т.е. 2/3 от примесей, удержанных первым элементом. Из графика загрязнения масла видно, что несмотря на проведенный уход, фильтр грубой очистки не работал.

В начале третьего этапа проводилась промывка системы смазки двигателя с дизельным топливом. В результате этого обеспечивалась высокая чистота масла в течение 5 часов. Количество примесей за это время не увеличилось свыше 0,015%, а привес фильтрующего элемента составлял лишь 9,3 г. Из графика в конце третьего этапа видно, что начал работу и фильтр грубой очистки.

Таким образом, в результате проведенных испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Загрязнение фильтрующих элементов фильтра тонкой очистки масла зависит в большой степени от проведенных операций технического обслуживания системы смазки, особенно от ухода за фильтром грубой очистки масла.

2. На чистоту картерного масла влияют в значительной степени наряду с хорошей фильтрацией также и проведенные операции ТО системы смазки.

3. О необходимости промывки картера двигателя можно судить по первоначальной загрязненности масла сразу после замены его.

4. Для диагностики качества масла и работы фильтров по определению содержания механических примесей в масле необходимо создать прибор, позволяющий оценить качество масла в эксплуатационных условиях непосредственно в процессе ТО-I автомобиля.

5. Разработанная методика стендовых и эксплуатационных испытаний позволяет установить эффективность отдельных операций обслуживания, а также определить конкретные критерии для проведения последних.

6. Для определения оптимального режима замены различных типов фильтрующих элементов, необходимого объема и периодичности операции ТО системы смазки двигателя

при увеличенных сроках замены масла, необходимо произвести широкие испытания в различных условиях эксплуатации автомобилей исследованием динамики загрязнения фильтров и масла.

Л и т е р а т у р а

1. А.Ф. М а щ е н к о, В.Н. М е д в е д к о в. Основы технического обслуживания автомобилей. Воениздат, Москва 1964.
2. С.В. В е н ц е л ь, В.А. Л е л ь к. Новое в механизме приработки деталей машин. Известия вузов СССР.Машиностроение, 1964.
3. Р. Л е в е т. Исследование эксплуатационных качеств автомобильных масляных фильтров тонкой очистки в конкретных эксплуатационных условиях. Отчет №Ж/Н-557 Таллин 1963.
4. Г.В. К р а м а р е н к о. Техническая эксплуатация автомобилей. Автотрансиздат, Москва 1962.
5. Я.Н. Н е с в и т с к и й. Техническая эксплуатация автомобилей. Гостехиздат УССР, Киев 1961.
6. Автомобиль УАЗ-451, инструкция по уходу. Ульяновск 1963.
7. А. В о к е ш и л л е г. "ATZ". №3, 60, 1951.
8. Н. К ö п i g. "Motor-Rundschau". №3, 29, 1959.
9. Н. М а u s e r. "ATZ". №1, 15, 1953.
10. Н.В. Б р у с л я н ц е в, Д.М. Л е в и н. "Автомобиль" № 5, 1951.
11. Г.Н. Г о р д е е в. Исследование расхода масла в автомобильных двигателях. Диссертация М.И. МЭСХ, 1954.
12. Отчет НИИ ГСМ №128, 1950.
13. Исследование возможности увеличения длительности работы масла в автомобильных карбюраторных двигателях. Отчет НИИАТ, НИИ-25, Реготмас, 1961.

14. Исследование о бесшумной работе масла в автомобильных карбюраторных двигателях. Отчет ХИМИ кафедры деталей машин. 1964.

R. Levst

A Study of Contamination of Vaporizer Engine Oil and Filters in Dependence on the Lubrication System Maintenance Operations

Summary

The Article deals with the methods of an experimental study of contamination of oil and filters of a GAZ-51 engine dependent on complex maintenance operations during a 30-hour benchtest.

It has been concluded on the ground of experimental data that it is the contamination stage of fresh oil, immediately after oil change, that determines the necessity of certain maintenance operations.

It is stressed that special attention is to be paid to the maintenance of the coarse-cleaning oil filter because on it depends, to a large extent, the efficiency of operation of fine filter elements and the quality of oil.

УДК 621.431.73-729.004.5

Р.Ю. Левет

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КАРТЕРНОГО МАСЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СО- СТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

С увеличением пробега двигателя его техническое состояние ухудшается, а расход масла увеличивается. Изменение технического состояния двигателя зависит прежде всего от нагрузки и эксплуатационного режима двигателя, качества применяемого топлива, масла и фильтров, технического обслуживания и ремонта и т.д.

С другой стороны, изменение качества масла, накопление в нем продуктов окисления и неполного сгорания, абразивных частиц пыли и износа деталей двигателей зависят от технического состояния двигателя, качества фильтрации масла, применяемого сорта масла и т.д. Таким образом загрязнение и износ трущихся деталей двигателя взаимно связаны.

Повышением износа деталей двигателя цилиндро-поршневой группы прорыв газов в картере увеличивается. Отложение нагара, загрязнение деталей и залегание колец приводят к увеличению угара масла. Расход в двигателе складывается из расхода на смену и на долив. Увеличением угара общий расход масла увеличивается.

Накопление загрязнения в масле оценивается обыкновенно по суммарному содержанию механических примесей, состоящих из органической (сгораемой) и неорганической (несгораемой) частей. Количество и величина частиц механических примесей, попадающих с маслом на трущиеся детали, находятся в прямой зависимости от качества фильтрации масла [1].

В исследованиях НАМИ [2] по определению влияния загрязнения масла на износ двигателя делается вывод, что органические частицы загрязнения, содержащиеся в масле, снижают износ.

Однако указывается, что при эксплуатации может возникнуть и противоположный эффект — повышение износа вследствие загрязнения двигателя (засорение трубопроводов, нарушение термического режима и др.).

По вопросу увеличения срока службы масла до бессменного режима его работы нет единого мнения.

По данным теоретических и экспериментальных работ С.В. Венцеля [3] угар масла при бессменном режиме его работ на автомобилях ГАЗ-21 и ГАЗ-51 значительно снижается, что вместе с экономией масла указывает на повышение износостойкости деталей поршневой группы двигателей.

По данным исследовательских работ НИИАТ [4] указывается, что с технико-экономической точки зрения бессменный режим работы масла не целесообразен. При увеличении срока службы масла автомобилей марки ГАЗ-21 и ГАЗ-51 от 3000 км до 9000 км расход масла на долив остается в лучшем случае неизменным, а при неудовлетворительном качестве масла долив возрастает.

Если для автомобилей ГАЗ-51 при норме расхода масла 3,5% от расхода горючего, при смене масла после пробега 3000 км, 76% расходуется на долив и 24% на смену, то при увеличении периодичности смены масла до 9000 км общая норма расхода масла составляет 2,9%, из чего 90% расходуется на долив и 10% на смену.

Более эффективно влияет на уменьшение расхода масла повышение его срока службы в легковых автомобилях ГАЗ-21 и "Волга", так как увеличение периодичности смены масла с 3000 до 6000 км позволяет снизить расход с 3,5% до 2,8%, а при периодичности смены масла 9000 км его расход составляет 2,6%.

Очевидно, что уменьшения расхода масла можно достичь прежде всего в автохозяйствах, в которых автомобили находятся в хорошем техническом состоянии, работают в бо-

лее легких эксплуатационных условиях, квалифицированно обслуживаются и снабжаются качественными эксплуатационными материалами.

В автохозяйствах устанавливаются иногда мало обоснованные сроки замены фильтрующих элементов и масла, независимо от качества применяемого масла, фильтрующих элементов, обслуживания двигателей и т.д.

Например, в 1961 г. в Таллинском таксомоторном парке замена масла производилась через 2000 км, а замена фильтрующих элементов Р-2 и ДАСФО-ЭФА-С2, местного производства, через 4000 км пробега автомобилей.

После проведенных исследований загрязнения фильтрующих элементов и масла [5] в 1962 г. был внедрен новый режим замены фильтрующих элементов и масла - через 3000 км пробега.

В связи с переходом с открытого хранения автомобилей в теплый гараж и применением поточных линий ЕО, ТО-I и ТО-2 условия хранения автомобилей и качество обслуживания ремонта их резко улучшились.

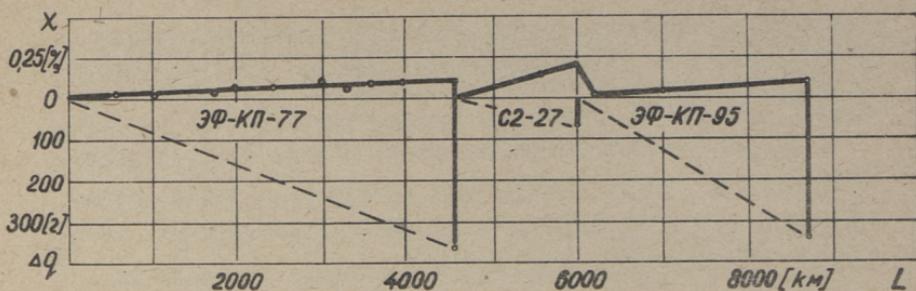
Это дало предпосылки к возможному увеличению срока службы масла.

С апреля месяца 1966 г. в Таллинском таксомоторном парке по всему подвижному составу внедрен режим замены масла через 4000 км, а замены фильтрующих элементов через 2000 км пробега автомобилей.

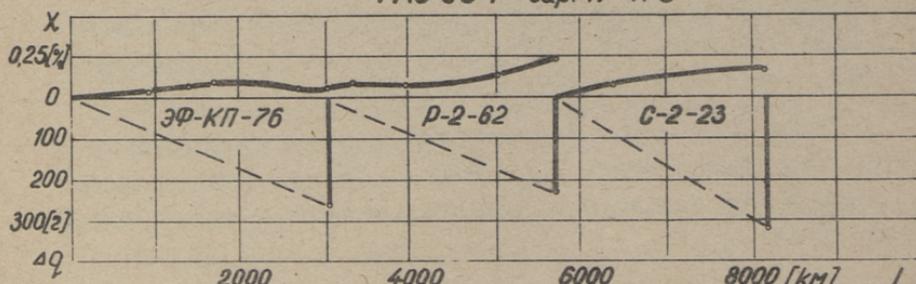
В последнее время в эксплуатации поступили новые фильтрующие элементы ЭФ-КП Реготмас, которые по исследованиям [6] на автомобилях ГАЗ-51 с маслами АС-9,5 с моющими присадками (МНИ-ИП-22-к) и без присадок показали повышение эффективности очистки масла в среднем на 10% и повышение привесов фильтрующих элементов в среднем на 14%.

Примерно такие же результаты получены экспериментальными исследованиями [7] на автомобилях ГАЗ-53 Ф и ГАЗ-51, рабобавными товарными маслами Дл-8 и АК-10 (см. фиг. 1).

Исследование загрязнения картерного масла в зависимости от изменения технического состояния двигателей дает воз-



ГАЗ-53 Ф гар. № 173



ГАЗ-51 гар. № 372

Фиг. 1. Загрязнение масла и фильтрующих элементов ЭФ-КП, Р-2 и ДАСФО - ЭФА - С2 местного производства

можно делать выводы о принятых мероприятиях при увеличении срока службы масла и оценить возможности по экономии масла и фильтрующих элементов.

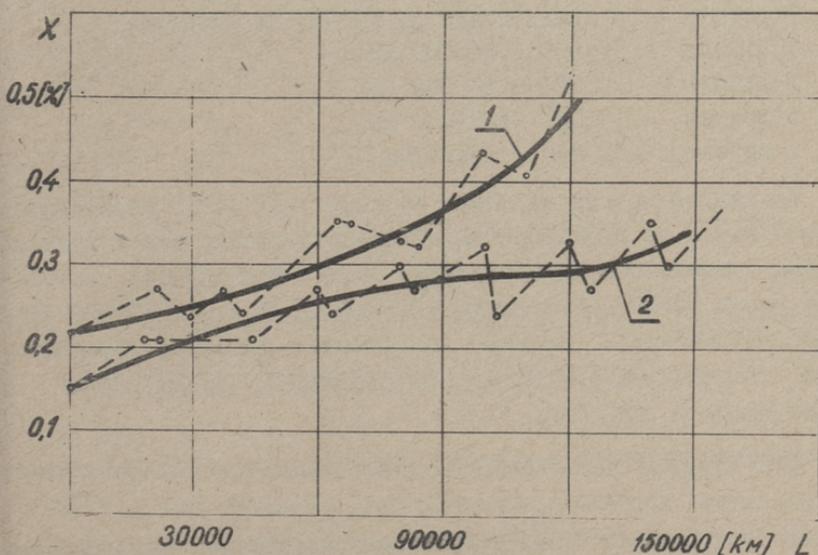
К испытанию подвергались два автомобиля с различными пробегами двигателей: ГАЗ-21 гар. №66, пробег двигателя с начала эксплуатации 100000 км, ГАЗ-21 гар. № 9, пробег двигателя с начала эксплуатации 6000 км. Автомобили эксплуатировались на масле СУ, при замене лишь фильтрующих элементов ЭФ-КП через 2000 км пробега, без замены масла.

Техническое состояние автомобилей характеризуется угаром и общим расходом масла во время испытательной эксплуатации (до 12000 км).

Если двигатель автомобиля гар. №9 имел средний расход масла 0,23 л/100 км, в том числе 0,125 л/100 км на угар, то двигатель автомобиля гар. № 66 имел средний расход масла 0,27 л/100 км, в том числе на угар 0,167 л/100 км.

Нормы расхода масла по отношению расхода горючего составляют соответственно 1,63% и 1,93%, т.е. обе машины работали с экономией масла (допустимая норма 3,5%).

Пробы масла взяты из картеров двигателей непосредственно перед заменой фильтрующего элемента и после 300-400 км пробега автомобиля с новым фильтрующим элементом.



Фиг. 2. Суммарное содержание механических примесей в масле СУ при замене фильтрующих элементов ЭФ-КП через 2000 км, без замены масла

- 1-двигатель пробегом с начала эксплуатации 100 000 км
2-двигатель пробегом с начала эксплуатации 6 000 км

Из графика (см. фиг. 2) видно, что при замене фильтрующих элементов в обоих случаях количество суммарного содержания механических примесей загрязнения масла резко понижается, хотя общее содержание его постепенно вместе с пробегом растет.

Если в новом двигателе при пробеге 8000-9000 км степень загрязнения масла составляет 0,3%, то в двигателе с большим пробегом такое же загрязнение достигается при пробеге автомобиля 6000 км. При этом интенсивности загрязнения масла в обоих случаях до пробега 9000 км почти одинаковые и зависят от интенсивности работы фильтрующих элементов.

Степень максимальной загрязненности масла в двигателе зависит от первоначального загрязнения масла сразу же после замены его, т.е. от глубины и объема проведенных операций технического обслуживания системы смазки двигателя.

Для того, чтобы охватить исследованием больше автомобилей, далее проводили оценку загрязнения рабочих масел по среднесмешанной пробе, по отдельным группам машин:

- 1 группа - с двигателями до 30 000 км пробега,
- 2 группа - 30 000 - 60 000 км,
- 3 группа - 60 000 - 90 000 км,
- 4 группа - 90 000 - 120 000 км,
- 5 группа - 150 000 и более км.

Из каждой группы выделили на испытание 10-15 автомобилей. Пробы масла из картеров взяты непосредственно перед заменой масла (через 4000 км пробега). Замена фильтрующих элементов марки ЭФ-КП производилась по-прежнему через 2000 км пробега автомобилей. Данные о загрязнении масла, в зависимости от технического состояния двигателей, представлены в виде графика (см. фиг. 3).

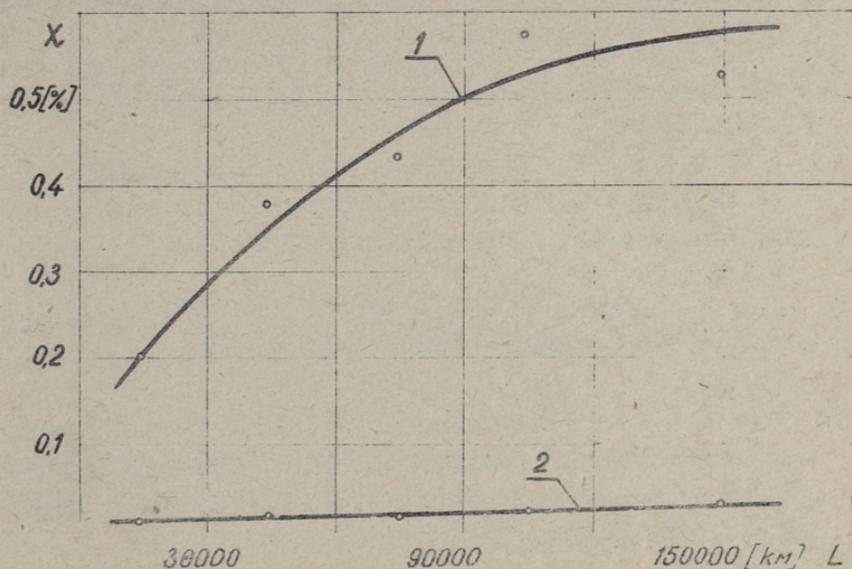
Анализируя итоги испытаний, можно сделать следующие выводы:

1. Загрязнение картерного масла зависит от технического состояния двигателей и увеличивается с увеличением пробега двигателей с начала эксплуатации.

2. Динамика загрязнения масла во многом зависит от эффективности работы фильтрующих элементов и проведенных операций технического обслуживания системы смазки двигателей.

3. При эксплуатации автомобилей ГАЗ-21 такси с двигателями пробегом до 150000 км с начала эксплуатации, маслом СУ (заменой через 4000 км), фильтрующими элементами ЭФ-КП (заменой через 2000 км пробега) загрязнение картерных масел двигателей суммарными механическими примесями составляло 0,2-0,58%, в т.ч. несгораемыми частями, соответственно 0,011-0,036%.

4. В целях экономии масла Таллинскому таксомоторному парку экспериментально установить для автомобилей с двигателями пробегом до 100 000 км с начала эксплуатации, диф-



фиг. 3. Изменение загрязнения масла в зависимости от технического состояния отдельных групп двигателей по среднесмешанным пробам
 1 - суммарное содержание механических примесей,
 2 - содержание несгораемого компонента

ференцированную периодичность замены масла через 6000 - 9000 км; разработать предельную норму расхода масла, при котором двигатель необходимо снять с эксплуатации и отправить в ремонт.

5. При увеличении срока службы масла продолжать исследование по эффективности работы фильтрующих элементов, для уточнения оптимального срока их службы, т.к. замена фильтрующих элементов ЭФ-КП через 2000 км недостаточно обоснована.

Л и т е р а т у р а

1. И.В. Н о в и ц к и й. Исследование автотракторных щелевых масляных фильтров. Тракторы и сельхозмашины, 4, 1958, 12-16.
2. К.С. Р а м а я и др. Влияние загрязнения масла на износ двигателя. Автомобильная промышленность, I, 1959, 8-II.
3. Отчет ХИСИ, кафедры деталей машин. Исследование о бес-

- сменной работе масла в автомобильных карбюраторных двигателях. Харьков 1964.
4. Д.М. А р о н о в. О возможных путях снижения расхода масел для двигателей. НИИАТ Сборник статей, 4, 1966, 93-109.
 5. Р.Ю. Л е в е т. Исследование эксплуатационных качеств автомобильных масляных фильтров тонкой очистки в конкретных эксплуатационных условиях. Отчет № И/Н - 557 ТПИ. Таллин 1963.
 6. М.И. Б о р к с о в и др. Новые фильтрующие элементы тонкой очистки масла. НИИАТ Сборник статей, 4, 1966, 110-117.
 7. Р.Ю. Л е в е т. Исследование загрязнения фильтрующих элементов фильтра тонкой очистки масла автомобилями ГАЗ -53 Ф, - 51 при удлинении срока службы масла. Отчет № 553 ТПИ. Таллин 1966.
 8. Д.М. А р о н о в, Н.А. С о р о к и н а. Статистическая проверка возможности оценки работавших масел по среднесмешанной пробе. НИИАТ Сборник статей, 4, 1966, 79-84.

R. Levett

A Study of Contamination of Crankcase Oil in Dependence
on the Change of Technical Conditions of the Engine

Summary

This article gives results of an experimental study in contamination of motor-oil of taxi-cabs GAZ-21 engine dependent on the technical conditions of the engine under actual exploitation conditions. Oil change took place after the car had done 4000 km, the change of filter elements - after 2000 km. The technical conditions of the engine growing worse the summary amount of mechanical components in the oil increased 0,2 - 0,58 per cent, including 0,011 - 0,036 per cent incombustible inorganic components.

It has been concluded that under given actual exploitation conditions it is possible to lengthen the useful life of the oil when the oil change takes place differentially, dependent on technical conditions of the engine, after the car has done 6000 - 9000 km.

В.К. Меспак

ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЯЗКОСТНЫХ
СВОЙСТВ СЛАНЦЕВЫХ БИТУМОВ

Вязкость битумов с изменением температуры резко изменяется. При этом зависимость абсолютной динамической вязкости η от изменения абсолютной температуры T является одной из характеристик прочности данного битума [1].

Измерение абсолютной динамической вязкости η битумов представляет довольно сложную техническую задачу, так как вязкость битума, кроме температуры материала, зависит также от скорости (или напряжения) деформирования образца при определении вязкости.

Используемые для этой цели ротационные вискозиметры позволяют изменять скорость деформирования материала в широких пределах. Но этими вискозиметрами нельзя определить предельную деформацию разрушения.

В настоящей работе значения динамической вязкости битумов определялись при помощи консистометра Гепплера. Для перехода на вязкость константной скорости деформирования конструировались дополнительные графики $\log p = f(\log v)$.

Однако работа с консистометром Гепплера слишком трудоемкая. Так, для вырисовывания лишь одного графика функции $\eta = f(T)$ при одной определенной скорости деформирования требуется около двадцати отдельных определений, каждое из них продолжительностью не менее 30 минут.

Таким образом было естественно, что в ходе работы изучались также возможности определения зависимости η от T при

помощи косвенных показателей вязкости - температуры каплепадения по Уббелюде, температуры размягчения, пенетрации и др.

Зависимость абсолютной динамической вязкости сланцевых дорожных битумов от температуры при постоянной скорости деформирования довольно точно описывается уравнением Ле Шателье

$$\log \log \eta = A - B \log T,$$

которое при определенных условиях дает на графике прямую [1]. Уравнение Ле Шателье для описания поведения битумов применялось и в других работах [2, 3].

В таком случае конструирование графика зависимости $\eta = f(T)$ возможно и при помощи двух точек, соответствующих любым двум вышеназванным косвенным показателям вязкости.

В известных пределах марок дорожных битумов температуры каплепадения и размягчения соответствуют определенным значениям динамической вязкости предельно малой скорости деформирования ($C = 10^{-7} + 10^{-6}$ сек⁻¹).

Аналогичные результаты отражаются в нескольких работах [2, 4, 5].

Для сланцевых дорожных битумов η при $C = 10^{-6}$ сек⁻¹ имеет следующие значения:

- при температуре каплепадения	$2,3 \times 10^5$	сантипуаз
- при температуре размягчения по методу К и Ш	$6,3 \times 10^5$	"
- при температуре размягчения по методу Кремера-Сарнова	$6,3 \times 10^6$	"

(см. также фиг. 1 и 2).

Недостаточная точность определения температуры хрупкости по Фраасу (разница отдельных определений более $4^{\circ}C$ [7]) позволяет использовать ее только в качестве вспомогательного показателя, хотя большинство определений при сланцевых битумах падает на вязкость 10^{12} сантипуаз.

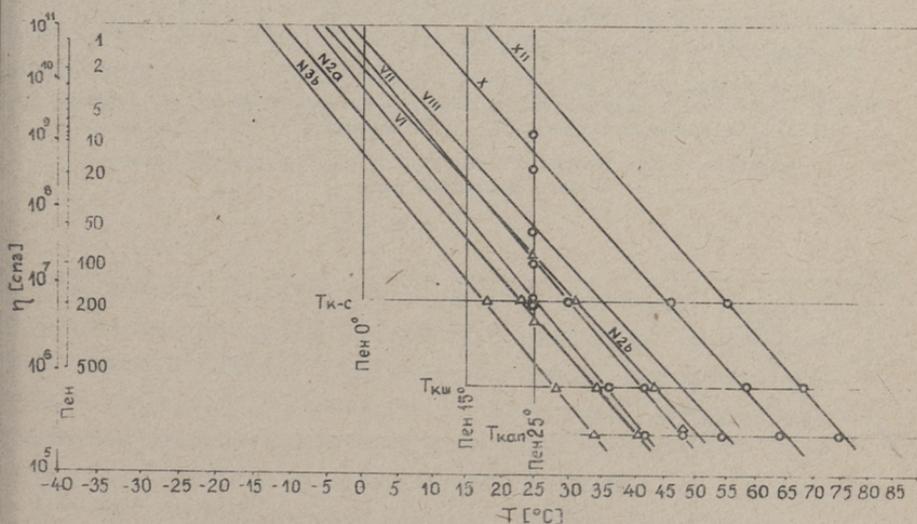
Некоторый интерес представляет возможность сравнения рас-

положения этих изовязкостных линий (фиг. 1 и 2) с аналогичными в работах Гэпфнера и Метцгера [6].

Приведение результатов измерения пенетрации к значениям вязкости возможно при помощи широко известной формулы Тракслера. Но для решения задач данной работы эта формула оказалась непригодной и была заменена новой, характеризующей вязкость сланцевых битумов при постоянной скорости деформирования $C = 10^{-6} \text{ сек}^{-1}$:

$$\eta = \frac{5,5 \cdot 10^{10}}{I,75} \text{ (сантипуаз).}$$

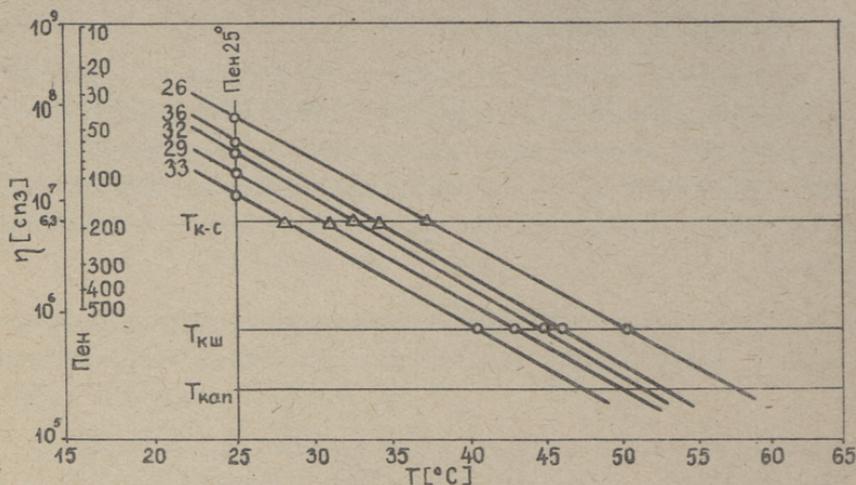
Пен



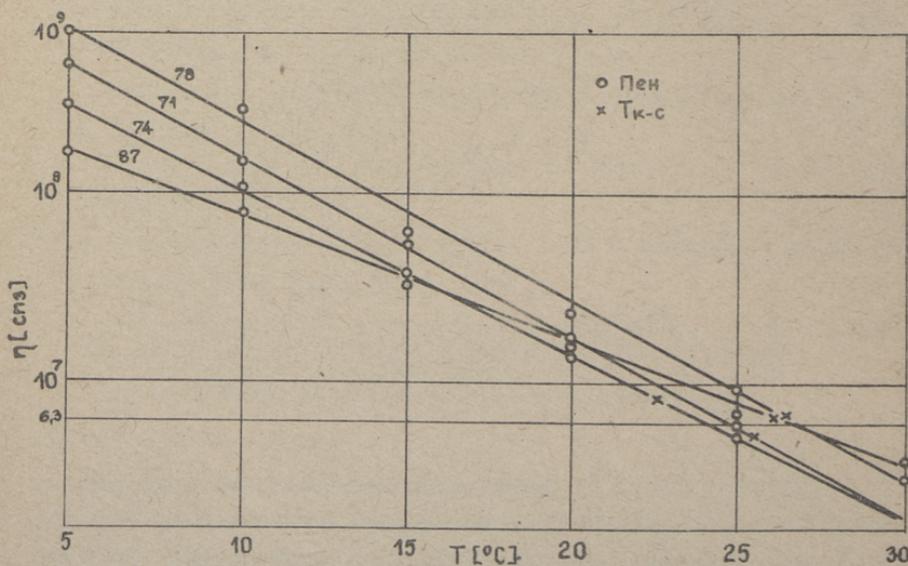
Фиг. 1. Связь между динамической вязкостью η и косвенными показателями вязкости различных сланцевых битумов:

- △ битумы из топочного масла вращающейся реторты
- битумы из тяжелого масла вращающейся реторты

Как видно из фиг. 3, вышеприведенная формула применима в случае измерения пенетрации при разных температурах. Однако необходимо отметить, что значения пенетрации меньше 10 не характеризуют вязкость материала, так как эластичная часть деформации материала под иглой становится преобладающей (образцы X и XII на фиг. 1). В таком случае отпадает и смысл определения пенетрации вязких дорожных битумов при отрица-



Фиг. 2. Связь между температурами размягчения по методу кольца и шара ($T_{кш}$), Кремера-Сарнова ($T_{к-с}$), пенетрацией (Пен) и динамической вязкости η при разных сланцевых битумах, продуктах из тяжелого масла туннельной печи



Фиг. 3. Связь между пенетрацией при разных температурах определения (Пен), температурой размягчения по Кремеру-Сарнову ($T_{к-с}$) и динамической вязкостью η сланцевых битумов из различных исходных материалов

тельных температурах и сравнение полученных данных с пенетрацией при 25° С, как это предлагается Кренклером [7].

Сопоставление довольно большого количества определений косвенных показателей вязкости и измеренных консистометром Гепплера динамических вязкостей позволяет полагать, что график $\eta = f(T)$, построенный по трем определенным точкам (температуры каплепадения и размягчения, пенетрация), близок к графику динамической вязкости практически неразрушенной структуры того же битума, то есть при сравнительно малых постоянных скоростях деформирования.

Связь вышеназванных двух температур и пенетрации с динамической вязкостью делает возможным предписать их нормами так, чтобы битумы, удовлетворяющие этим нормам, одновременно удовлетворяли бы и требованиям достаточной деформируемости при низких температурах.

В ы в о д

Динамическую вязкость практически неразрушенной структуры сланцевых битумов можно определить с точностью, достаточной для технических целей, при помощи косвенных показателей вязкости — температур каплепадения и размягчения, а также пенетрации при разных температурах материала. Температура хрупкости и весьма малые значения пенетрации (ниже 10) в качестве показателей динамической вязкости битумов непригодны.

Л и т е р а т у р а

1. В. К. М е с п а к. Разрушение сланцевых битумов при низких температурах. Труды ТПИ, серия А, № 235, 1966.
2. Ф. Н е м р е л. Die Strukturmechanik der Bitumen, ihre Bedeutung im rheologischen Sinne und vom Gesichtspunkt konventioneller Prüfmethoden. Bitumen. Teere, Asphalte, Peche und verwandte Stoffe, 1, 1959.

3. R.N. Traxler, H.E. Schweyer, I.W. Romberg. Rheological Properties of Asphalt. Ind. and Engr. Chem., 9, 1944.

4. Z. Vajta, L. Vajta. Rheologische Untersuchung von heimischen im Betrieb und Laboratorium hergestellten Bitumen. Acta Chimica Academiae Scientiarum Hungaricae, 1962.

5. Ф.Ф. Цитшер. Применение асфальтовых покрытий для укрепления берегов. Стройиздат, Москва 1964.

6. Hoepfner. Das Kennliniensystem von Hoepfner-Metzger zur Ermittlung der Beziehungen zwischen Temperatur und Weichheit der Bituminösen Bindemittel und zum Vergleich dieser Stoffe untereinander. Allgemeiner Industrie-Verlag, Berlin 1938.

7. K. Krenkler. Ein Verfahren zur Prüfung des Kälteverhaltens bituminöser Stoffe. Bitumen, Teere, Asphalte, Peche, 5, 1958.

V. Mespak

Possibility of Determining Viscous Qualities of Shale Oil Bitumens

Summary

For technical purposes the absolute dynamic viscosity of shale oil bitumens at non-crushed structure can be determined by indirect methods as measuring the dropping point by Ubbelohde, the softening point by Kraemer-Sarnow, R&B softening point, penetration at various temperatures etc. The breaking point by Fraass and quite small values of penetration (smaller than 10) are not suitable.

УДК 665.521.9.017

В.К.Меспак

ВЯЗКОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЛАНЦЕВЫХ
 ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ

Разрушение асфальтобетонных покрытий вследствие понижения температуры покрытия наступает в тот момент, когда вязкость битума в нем достигает известного предела, зависящего от скорости понижения температуры покрытия и свойств самого битума [1].

Для сланцевых дорожных битумов этот предел при скорости изменения температуры 10 градусов в час имеет значения от $1,2 \cdot 10^{14}$ до $1,8 \cdot 10^{14}$ сантипуаз, а при скорости 1 градус в час от $1,2 \cdot 10^{15}$ до $1,8 \cdot 10^{15}$ сантипуаз.

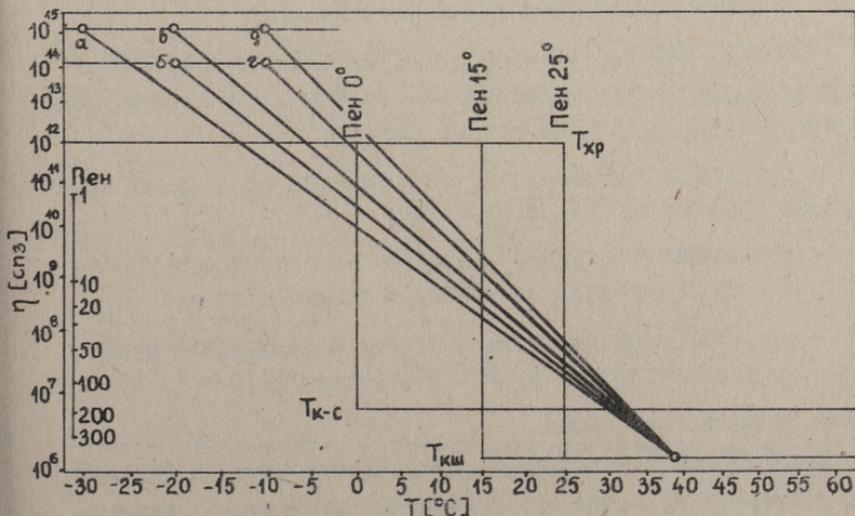


Рис. 1. Зависимость уклона функции $\eta = f(T)$ битума одной марки от скорости понижения и абсолютного значения температуры покрытия

Температура $T_{кр}$, при которой достигается критическая вязкость $\eta_{кр}$, полностью зависит от пологости прямой $\log \log \eta = A - B \log T$ (см. фиг. 1).

Как уже известно, вязкость сланцевых битумов с достаточной точностью определяется при помощи косвенных методов ее измерения [2]. Таким образом температура размягчения и пенетрация при разных температурах, включенные в большинство норм на дорожные битумы, характеризуют их температурную чувствительность.

Исследование многих битумов различного происхождения привело к выводу, что функция Пен = $f(T_{кш})$ для данного типа вяжущего не изменяется [3, 4, 5].

Все дорожные марки битумов одного происхождения и после определения их потери в весе от нагревания, а также после многолетнего старения в асфальтобетонном покрытии имеют одну и ту же зависимость пенетрации от температуры размягчения $T_{кш}$. В логарифмических координатах эта зависимость является линейной (фиг. 2 и 3). Уравнение этой прямой

$$\log \text{Пен} + M \log T_{кш} = L, \quad (I)$$

где M и L — константы для данного битума.

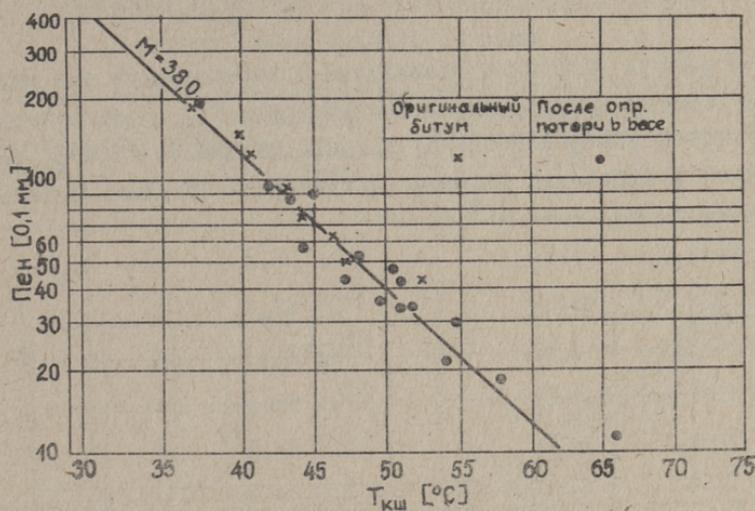
Отметим, что $T_{кш}$ здесь и в дальнейшем означает температуру размягчения по методу кольца и шара по абсолютной (термодинамической) шкале температур ($^{\circ}K$).

M является тангенсом угла наклона прямой и имеет следующие средние численные значения:

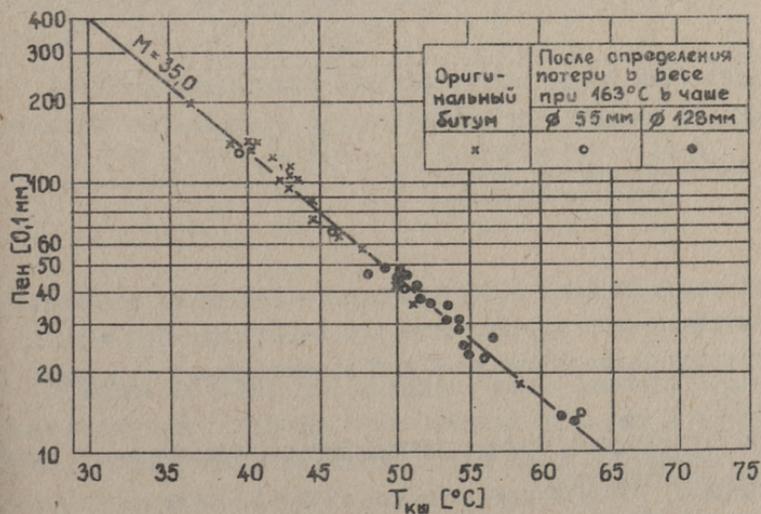
- для сланцевых битумов, продутых из топочного масла, $M = 38,0$ (пределы колебания значения $31,0 + 40,0$);
- для сланцевых битумов, продутых из тяжелого масла туннельных печей, $M = 35,0$ (пределы $32,0 + 39,0$).

Итак, разница небольшая.

Возвращаясь к условиям разрушения битумов с понижением температуры, можно при помощи уже известных зависимостей [2] записать:



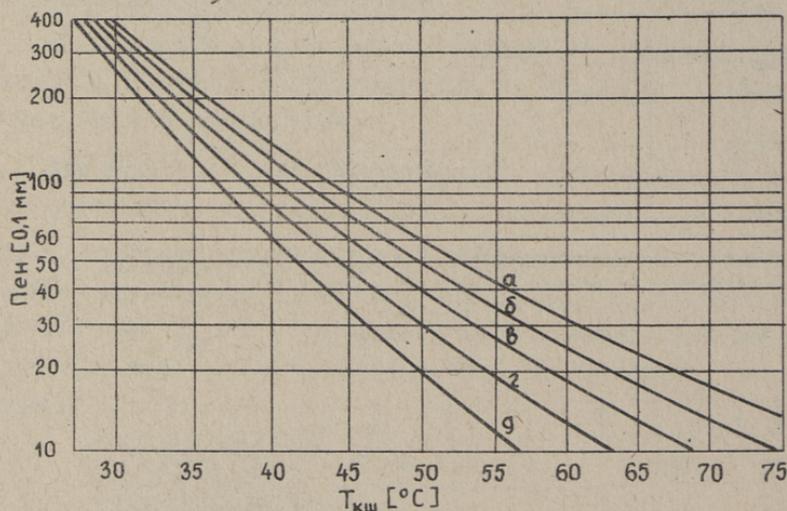
Фиг. 2. Связь между пенетрацией (Пен) и температурой размягчения ($T_{кш}$) при разных сланцевых битумах, полученных из тяжелого масла



Фиг. 3. Связь между пенетрацией и температурой размягчения при разных сланцевых битумах, полученных из топочного масла

$$\frac{\log \log \eta_{кр} - \log (10,739 - 1,75 \log \text{Пен})}{\log \log \eta_{кр} - 0,7636} = \frac{2,4742 - \log T_{кр}}{\log T_{кш} - \log T_{кр}} \quad (2)$$

Варьируя скоростью охлаждения и характерными при данном климате критическими температурами $T_{кр}$, становится возможным построить группу кривых, каждая из которых является в избранных условиях критическим пределом функции (I) (фиг. 4).



Фиг. 4. Предельные значения функции Пен = f (Т_{кш}) в зависимости от климатических условий

Как видно из фиг. 4, битумы удовлетворяют требованиям деформативности в случае, если при пенетрации Пен = 10 их температуры размягчения по К и Ш соответствует данным табл. I.

Другими словами, качественные битумы удовлетворяют следующему неравенству:

$$\frac{\log \text{Пен} - 1}{M} + \log T_{кш} > 6 \quad (3)$$

Формула (3) позволяет для обеспечения требуемой деформа-

Т а б л и ц а I

Значения $T_{кш}$ при Пен = 10 и константа δ для
разных климатических условий

Обозначение условий	Критические климатические факторы		Температура размягчения по К и Ш, $T_{кш}$ °С	δ
	$T_{кр}$ °С	$\eta_{кр}$ пуаз		
а	10	$1,22 \cdot 10^{13}$	57,0	2,5185
б	10	$1,22 \cdot 10^{12}$	63,0	2,5263
в	20	$1,22 \cdot 10^{13}$	69,0	2,5340
г	20	$1,22 \cdot 10^{12}$	75,0	2,5416
д	30	$1,22 \cdot 10^{13}$	81,0	2,5490

тивности битумов в зависимости от климатических условий предписать нормами значения пенетрации, температуры размягчения, повышения температуры размягчения и остаточной пенетрации после определения потери в весе битумов при нагревании.

Среди исследованных битумов производства 1964 года Маардуского химкомбината удовлетворяли требованиям условий "а" - 90%, "б" - 76 %, и "в" - 57 %, "г" и "д" - 24 %.

В ы в о д ы

В нормы на сланцевые дорожные битумы разного происхождения необходимо ввести обоснованные поправки в части косвенных показателей вязкости. Кроме того, на основе определения вязкостных свойств данного битума можно решить вопрос о пригодности его для данной цели.

Л и т е р а т у р а

1. В.К. М е с п а к. Разрушение сланцевых битумов при низких температурах. Труды ТПИ, серия А, № 235, 1966.
2. В.К. М е с п а к. Возможности определения вязкостных свойств сланцевых битумов. См. настоящий сборник, стр. 41.
3. J. T. P a u l s, W. J. H a l s t e a d. Progressive Alternations in a Sheet Asphalt Pavement Over a Long Period of Service. Public Roads, 2, 1959.
4. В.И. К о р ч а г и н а, Л.И. Р у т м а н, Ф.М. Ш н о л ь. Изменение качества дорожных битумов в асфальтобетоне. Нефтепереработка и нефтехимия, 5, 1965.
5. И.А. У с к. Сланцевый битум. Изд. АН ЭССР, Таллин 1959.

V. Mesprak

Viscosity Character of Shale Oil Bitumens

Summary

A study of many bitumens of various origins has led the author to the conclusion that function $Pen = f(T_{R\&B})$ for certain types of bitumens is unchanged. By means of the cracking theory of bitumens the permissible limits of the function in various climatic conditions can be deduced, which fact permits to dicate some corrections to penetration and the softening point for bitumen standards.

УДК 656.13.021.001.5

656.186.021.001.5

И.О. Пихлак

ОБСЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЛЕГКОВОГО ТРАНСПОРТА НА ШОССЕЙНЫХ ДОРОГАХ НА ПОДХОДАХ К ГОР. ТАЛЛИНУ

Цифры пятилетнего плана по увеличению выпуска легковых автомобилей и мотоциклов подтверждают предположение в [1] о неразумности считать, что легковой транспорт в городах будущего будет отсутствовать или применяться в сокращенном объеме. Наоборот, следует ожидать в перспективе все большего применения этого вида транспорта.

В связи с ростом благосостояния трудящихся резко возрастает число легковых автомобилей (Л) и мотоциклов (М), находящихся в индивидуальном пользовании.

Высказано мнение, что развитие широкого применения в СССР легковых автомобилей является одной из важных проблем формирования единой транспортной системы СССР [2].

На фоне вышесказанного становится ясным, как важно установить требования автомобильного движения к планировке и развитию магистральной сети улиц и дорог именно сейчас, когда мы стоим в начале резкого подъема автопарка нашей страны.

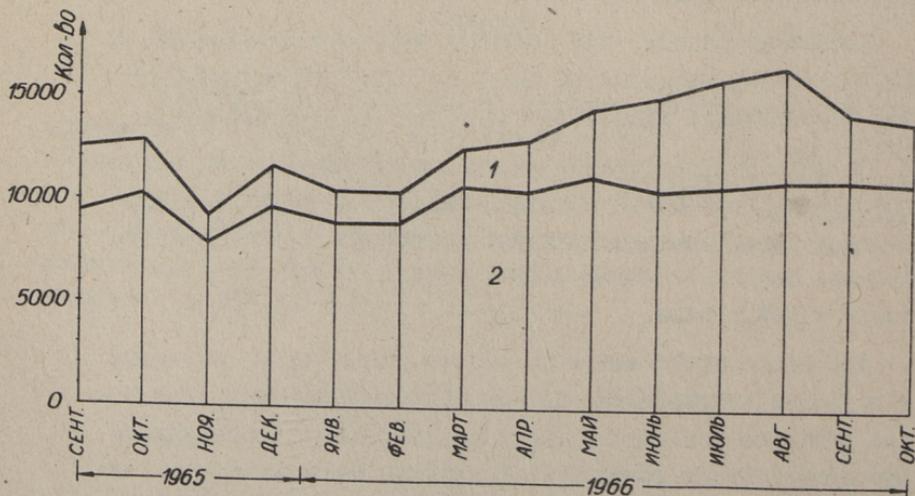
Для этого нужно знать не только общее число легковых и грузовых автомобилей, которые будут обращаться на данной сети, но и закономерности их движения — распределение транспортных потоков по отдельным составляющим и участкам этой сети, а также по часам суток в различные дни недели и сезоны года.

Для прогноза размеров движения на городских улицах и на внегородских дорогах вблизи города необходимы многие исходные данные. В числе этих данных находятся характеристики размеров и состава транспортных потоков, как прибывающих извне, так и городских машин, пробег которых за расчетные сутки проходит по внегородским дорогам.

В настоящей статье рассматриваются именно эти два вопроса, в частности, с точки зрения легкового транспорта.

В статьях, посвященных пассажирскому транспорту в пригородной зоне, основное внимание уделялось движению по субботним и воскресным дням [3, 4] Однако суммарная суточная интенсивность движения в приведенных единицах в эти дни сейчас ниже, чем в будни.

По длительным наблюдениям УШОСДОР-а в ЭССР максимальные интенсивности движения на дорогах наблюдаются в августе месяце. Колебания интенсивностей движения (без мотоциклов) суммарно на шести вылетных дорогах (в направлениях Ленинграда, Тарту, Вильянди, Пярну, Кейла и Клоога) за 1965/66г. представлены на фиг. 1.



Фиг. 1. Суммарная интенсивность движения на шести вылетных дорогах: 1 - легковые автомобили, 2 - грузовые машины и автобусы

Состав движения в августе 1966 г. на шести дорогах суммарно распределялся следующим образом: грузовые машины и автобусы - 57,0%, легковые автомобили - 28,5% и мотоциклы - 14,5%.

По вышеуказанным причинам изучение выезжающего из Таллина легкового транспорта было проведено в августе 1966 г. С 16 до 19 августа (включительно) обследовались все шесть вылетных дорог.

На каждой дороге обследование производилось в течение двух дней - в первый с 700 по 1400, во второй с 1400 по 2100. Три главные магистрали обследовались во вторник и среду, остальные три в четверг и пятницу.

В пункте учета движения стояли два учетчика - один из них жезлом общественного автоинспектора останавливал все выезжающие из города Л и М, а другой задавал каждому водителю 5-6 вопросов из 7 возможных (в зависимости от места регистрации машины) и заносил ответы в специальный бланк учета в сокращенном виде (начальными буквами ответов и цифрами при количественных вопросах).

Применение сплошного обследования объясняется отсутствием исходных данных для назначения необходимой численности выборки.

В течение 14 часов на шести дорогах суммарно было опрошено 2322 водителя Л и 1178 водителей М.

Бланк учета содержал следующие вопросы:

1) марка Л (Волга, Москвич 402-408, Запорожец, Победа и Москвич 400, 401; остальные марки) или тип М (соло или с коляской);

2) принадлежность - индивидуальный, государственный, такси, прокат;

3) место регистрации - в Таллине (с целью поездки в пределах республики (ТЭ) или за пределы республики (ТС)), в республике (Э), вне республики (С);

4) число пассажиров (вместе с водителем), за исключе-

нием детей в возрасте до 5 лет;

5) дорога прибытия в Таллин (у Э и С);

6) количество дней пребывания в Таллине (у Э и С);

7) продолжительность поездки в днях (у ТЭ и ТС).

Ответы на первый, четвертый и частично на второй вопрос отмечались учетчиком по визуальным признакам. Позднее ответы зашифровывались в таблицу на правом краю бланка, которая имела 10 колонок. Последние 3 колонки использовались для обозначения дороги обследования (одна колонка) и часы опроса (две колонки). Ответы кодировались цифрами 0, 1, ..., 7.

Таким образом ответы одного водителя были представлены в виде десятизначной цифры.

В результате сортировки полученных данных выявились 24 взаимные зависимости между двумя признаками (шахматные таблицы).

Математическая обработка данных производилась на ЭВМ Минск-2. Для сокращения времени составления и отладки программы был использован язык автоматического программирования МАЛГОЛ [5,6], разработанный на основе АЛГОЛ. Для данного языка в Институте кибернетики АН ЭССР составлен транслятор для использованной ЭВМ.

С перфоленты вводился массив KONSTANT, определяющий рассматриваемые 24 комбинаций вопросов по два, и 140 массивов ANKEET, каждая из которых содержала ответы 25 водителей.

Результаты получаются в массиве PAARID - суммы одинаковых пар ответов на рассматриваемые пары вопросов.

Подготовительные работы - шифровка данных опроса, нанесение информации на перфоленты, составление и отладка программы были выполнены за 15 человеко-дней. Для отладки программы и решения задачи на Минск-2 потребовалось 5 часов машинного времени.

Описание программы на языке МАЛГОЛ:
COMMENT' SOIDUKID.13

```

M:ARRAY' KONSTANT. (1:24, 1:2).Э
READAR' (KONSTANT.)Э
ARRAY' ANKEET.(1:25, 1:10)., PAARID. (1:24, 0:7, 0:7).Э
FOR'I: = 1 STEP' 1 UNTIL' 24 DO'
FOR'J: = 0 STEP' 1 UNTIL' 7 DO'
FOR'K: = 0 STEP' 1 UNTIL' 7 DO'
PAARID. (I,J,K).: = 0Э
FOR'K: = 1 STEP' 1 UNTIL' 140 DO'
BEGIN' READAR' (ANKEET.)Э
FOR'I: = 1 STEP' 1 UNTIL' 25 DO'
FOR'L: = 1 STEP' 1 UNTIL' 24 DO'
PAARID. (L, ANKEET. (I, KONSTANT. (I, 1).).,
ANKEET. (I, KONSTANT. (L, 2).).).
: =
PAARID. (L, ANKEET. (I, KONSTANT. (L, 1).).,
ANKEET. (I, KONSTANT. (L, 2).).). + 1Э
END'Э
PRINTARRAY' (PAARID.)Э
STOP'Э
START'M Э
FINISH'Э

```

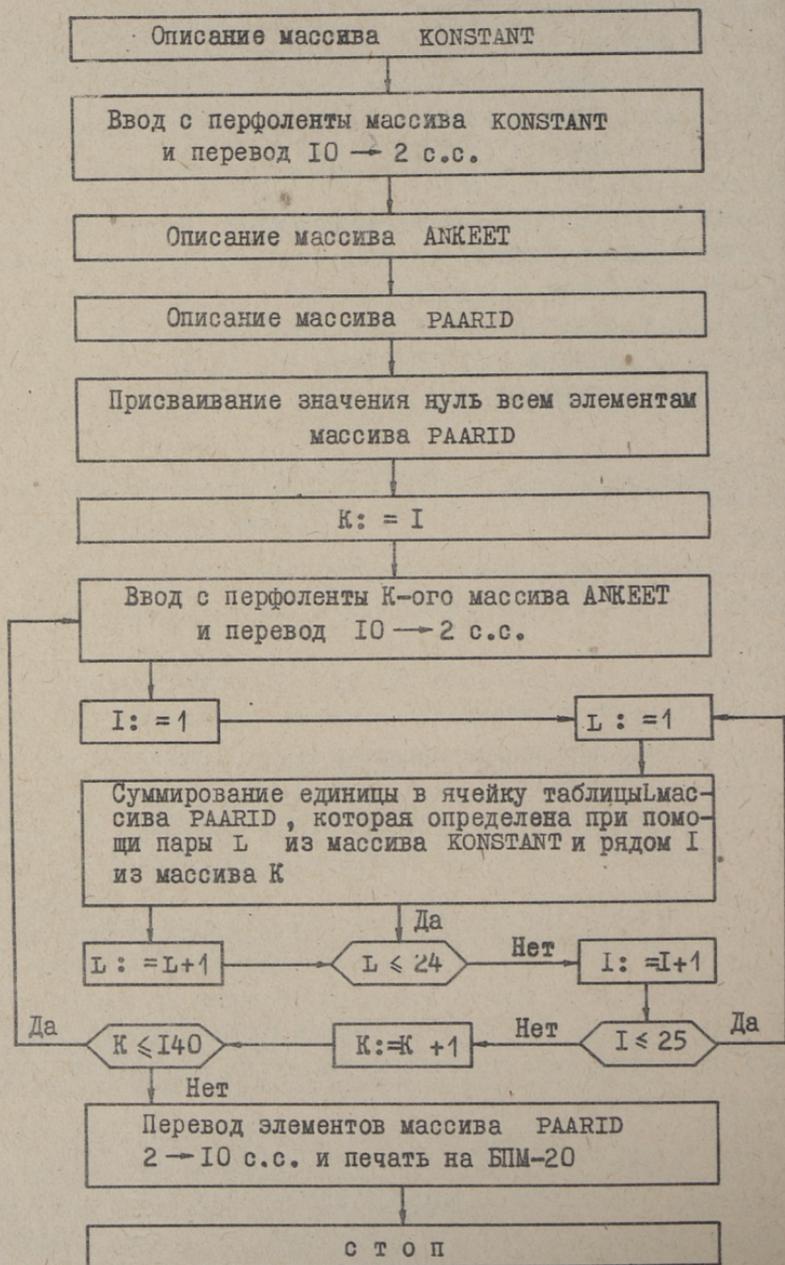
Блок схема программы представлена на фиг. 2.

Данную программу можно считать универсальной для такого рода задач, так как в ней можно изменять количество констант, одновременно вводимых анкет, вопросов и возможных ответов на предлагаемые вопросы, не изменяя сущности самой программы.

Полученные на ЭВМ Минск-2 данные подвергались статистической обработке. Ниже излагаются некоторые результаты обследования и выводы из них.

Наполнение машины для различных марок дано в табл. I.

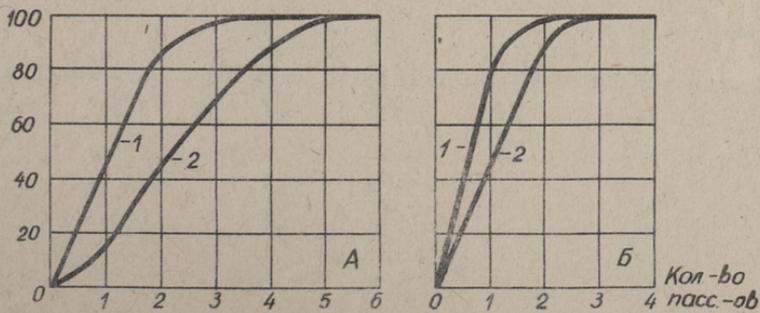
На фиг. 3 представлен полигон накопленных частот для количества пассажиров, который напоминает усеченное нормальное распределение.



Фиг. 2. Блок-схема программы

Таблица I

Марка машины	Доля данной марки %	Среднее кол-во пассажиров	Среднее число мест для сидения	Коэффициент наполнения	
Л	Волга	28,7	2,97	5	0,59
	Москвич 402-408	26,2	2,77	4	0,69
	Запорожец	11,7	2,72	4	0,68
	Победа, Москвич 400, 401	22,1	2,84	4,5	0,63
	Остальные марки	11,3	2,79	4	0,70
В среднем		100,0	2,84	4,40	0,65
М	Соло	62,4	1,48	2	0,74
	С коляской	37,6	1,97	3	0,66
	В среднем	100,0	1,66	2,38	0,70

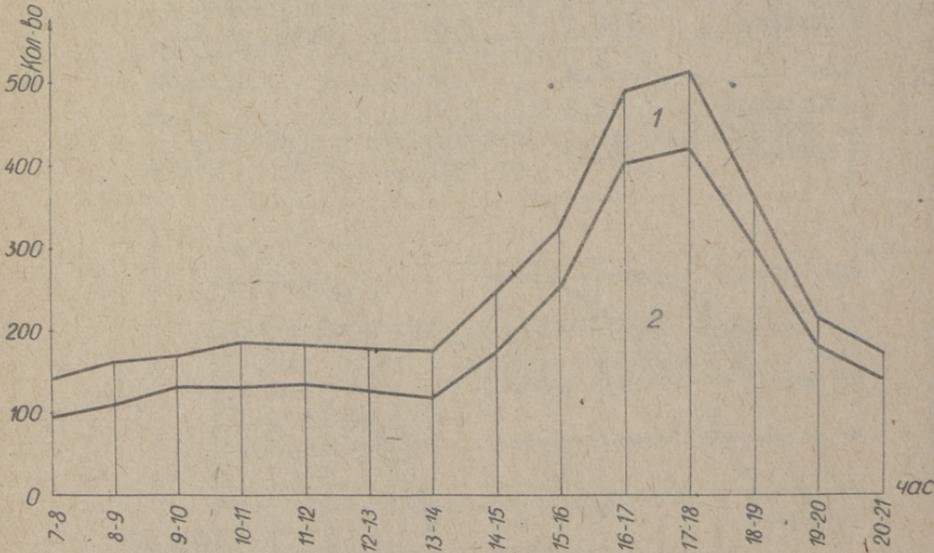


Фиг. 3. Полигон накопленных частот для количества пассажиров:
 А - на легковом автомобиле, Б - на мотоцикле
 1 - при городских поездках, 2 - при внегородских поездках

В табл. 2 приведены наполнения Л и М при городских и внегородских поездках.

Таблица 2

Тип	В городе			Вне города			
	По обслед. автора [7]	В США [8,9]	Рекомен- дуемый для рас- четов	По об- след. автора	В ГДР [10]	В США [9]	Реко- мендуе- мый для расчетов
Л	1,71	1,5 - -1,7	1,7	2,84	2,96	1,9 - -2,3	2,8
М	1,24	-	1,2	1,66	1,64	-	1,6



Фиг. 4. Интенсивность движения выезжающего из Таллина легкового транспорта:
1 - государственного пользования, 2 - индивидуального пользования

В странах с высоким уровнем моторизации наблюдается тенденция сокращения среднего числа пассажиров. Исходя из этого рекомендуем принять нормы наполнения несколько ниже, чем получено в результате обследования.

Данные о среднем наполнении Л и М необходимы для составления перспективной структуры поездок населения города по видам транспорта.

На фиг. 4 представлено распределение выходящего из города легкового транспорта по часам суток. Для легкового транспорта характерно наличие только одного пика между 1500-2000, который обусловлен увеличением потока индивидуального транспорта в послеобеденное время.

В табл. 3 даны характеристики видов транспорта в зависимости от вида принадлежности.

Относительный поток государственного легкового транспорта больше в утренней половине дня. Поток такси и прокатных автомобилей относительно стабилен.

Т а б л и ц а 3

Вид принадлежности	Доля между 700-1400 %	Доля между 1400-2100 %	Среднее количество пассажиров		Средняя продолжительность поездки Таллинских Л и М в днях
			Л	М	
индивид.	70,8	80,4	2,84	1,66	1,52
госуд.	24,0	14,3	2,84	1,66	1,24
такси	4,2	4,5	2,92	-	1,01
прокат	1,0	0,8	2,71	-	2,61
в среднем	100,0	100,0	2,84	1,66	1,47

Из городских Л и М в день выезда возвращаются 81,3%, в следующий день 9,1% и только 9,6% выезжают на три и более дней.

Из общего числа опрошенных 77,1% были таллинские Л и М, цель поездки которых находилась в пределах республики; 0,6% - с целью за пределами республики; 16,1% - республиканские и 6,2% - туристы из других республик. 92,8% из последних прибывают в город по Ленинградскому и Пярнускому шоссе. Рес-

публиканские машины прибывают пропорционально доле данной дороги в общей интенсивности движения. Средняя продолжительность поездки таллинских Л и М в пределах республики - 1,44 дня, за пределы республики - 3,95 дня. Республиканские Л и М находятся в Таллине в среднем 1,38 дня, а вне-республиканские - 2,54 дня.

2713 таллинских Л и М выезжают за 1 день суммарно на 3976 дней, а 781 внегородских Л и М пребывают в Таллине 1319 дней. При условии, что средний суточный пробег внегородских Л и М на улицах города меньше или равен среднесуточному пробегу городских Л и М на внегородских дорогах, можно написать:

$$W_{2л.п.} \cdot \beta_{л.} > W_{п.л.} \quad (1)$$

где: $W_{2л.п.}$ - общий пробег городских Л (М) за расчетные сутки по внегородским дорогам;

$W_{п.л.}$ - Общий пробег Л (М), прибывающих извне, по сети магистральных улиц города за расчетные сутки, маш/км,

$\beta_{л.}$ - доля пробега городских Л (М) по магистральным улицам и дорогам.

А.А. Поляков II предложил для определения общего размера ожидаемого внутригородского движения Л по сети магистральных улиц города за расчетные сутки $W_{о.л.м.}$ следующую формулу

$$W_{о.л.м.} = (\sum n w_c k_c - W_{2л.п.}) \beta_{л.} + W_{п.л.} \quad (2)$$

где $\sum n w_c k_c$ - сумма среднесуточных пробегов городских Л в маш/км с учетом соответствующих коэффициентов сезонной неравномерности пробега (k_c).

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что в больших городах, которые не находятся на пересечении транзитных магистралей, при приближенных расчетах $W_{о.л.м.}$ (на перспективу 5 - 15 лет и при отсутствии данных $W_{2л.п.}$ и $W_{п.л.}$) формулу (2) можно упростить в сторону запаса к следующему виду:

$$W_{0.л.м.} \geq \beta_1 \sum n w_c k_c. \quad (3)$$

Дольше всего находятся в Таллине те внегородские Л и М, которые прибывают в город по Ленинградскому, Пярнускому и Тартускому шоссе — 1,69 — 1,96 дня, то есть по основным маршрутам движения внереспубликанских Л и М. Легковой транспорт, прибывающий по остальным трем дорогам, возвращается в основном в день приезда.

Из общего числа внеталлинских Л и М 63% возвращаются по шоссе прибытия — для них Таллин является целью поездки, и только 27% являются транзитными (или 8,3% от общего числа опрошенных). Этот факт доказывает, что для легкового движения нет необходимости строить в близости города кольцевую магистраль (так как большинство из этих 8,3% останавливаются для ознакомления с городом, приема пищи и заправки бензином).

Продолжительность поездки таллинских Л и М, выезжающих по трем главным дорогам, в среднем 1,42 — 1,75 дня, а по трем местным дорогам 1,12 — 1,34 дня.

На основе собранных данных произведен анализ обследованной интенсивности движения. Эти данные сопоставлены с величинами соответствующих автомотопарков.

Для расчета (на перспективу 5 — 15 лет) перспективной суточной интенсивности движения на шоссеиных дорогах в сезон максимальных интенсивностей (см. фиг. I) можно предложить следующую формулу:

$$N = K_{np} \sum_{i=1}^k \frac{N_i^{(u)} \cdot n_i^{(\delta)} \cdot p_i^{(\delta)} \cdot l_i^{(\delta)}}{P_i^{(u)} \cdot n_i^{(u)} \cdot p_i^{(u)} \cdot l_i^{(u)}} \cdot \Pi_i^{(u)} + \\ + K_{np} \sum_{j=1}^l \frac{N_j^{(u)} \cdot n_j^{(\delta)} \cdot p_j^{(\delta)}}{P_j^{(u)} \cdot n_j^{(u)} \cdot p_j^{(u)}} \cdot \Pi_j^{(u)} \cdot K_j^{(n)} [\text{прив. ед./сутки}], \quad (4)$$

где N — перспективная среднемаксимальная суточная интенсивность движения в обоих направлениях;

- i - индекс вида легкового транспорта ($i = 1, 2, \dots, k$);
 j - индекс вида грузового или автобусного транспорта ($j = 1, 2, \dots, l$);
 (u) - индекс исходного года;
 (δ) - индекс перспективного года;
 $K_{пр}$ - средний коэффициент приведения (для Л и М $K_{пр} = 1,0$ [12], для грузовых машин и автобусов $K_{пр} \approx 2,0$);
 $H_{i(j)}^{(u)}$ - среднесуточная интенсивность движения $i(j)$ -ого вида транспорта в физических единицах по непосредственному учету движения в будничные дни сезона максимальной интенсивности;
 $\Pi_{i(j)}$ - величина парка $i(j)$ -ого вида транспорта;
 $n_{i(j)}$ - количество единиц $i(j)$ -ого вида транспорта на 1000 жителей;
 $P_{i(j)}$ - количество жителей (города или тяготеющего района);
 l_i - средневзвешенный месячный пробег i -ого вида транспорта в сезон макс. интенсивностей;
 $K^{(n)}$ - коэффициент, учитывающий все изменения в использовании грузовых машин (автобусов) за счет изменения среднего тоннажа, использования пробега и т.д.

Формулу (4) можно упростить, вводя следующие обозначения:

- $$P_{i(j)} = \frac{H_{i(j)}^{(u)}}{\Pi_{i(j)}^{(u)}} \quad - \text{соотношение, показывающее какая доля } i(j)\text{-ого вида транспорта обращается за сутки на данной дороге в обоих направлениях;}$$

$$K_{i(j)}^{тр} = \frac{n_{i(j)}^{(\delta)} \cdot P_{i(j)}^{(\delta)}}{n_{i(j)}^{(u)} \cdot P_{i(j)}^{(u)}} \quad - \text{коэффициент, показывающий рост парка } i(j)\text{-ого вида транспорта к расчетному году;}$$

$$K_i^l = \frac{l_i^{(\delta)}}{l_i^{(u)}} \quad - \text{коэффициент, показывающий увеличение средневзвешенного месячного пробега } i\text{-ого вида транспорта.}$$

$$N = K_{\text{пр}} \sum_{i=1}^k P_i \cdot K_i^{\text{тр}} \cdot K_i^l \cdot \Pi_i^{(u)} +$$

$$+ K_{\text{пр}} \sum_{j=1}^l P_j \cdot K_j^{\text{тр}} \cdot \Pi_j^{(u)} \cdot K_j^{(n)} \quad [\text{прив.ед/сутки}]. (5)$$

Для примера по этой формуле был произведен расчет перспективной суточной интенсивности для шести вылетных дорог г. Таллина к перспективным годам. При расчете учитывались отдельно следующие виды транспорта:

- а) Л - таллинские индивидуальные, таллинские государственные, республиканские индивидуальные, республиканские государственные;
- б) то же самое для М;
- в) грузовые машины и автобусы - таллинские и республиканские.

Табл. 4 показывает количества каждого вида транспорта на 1000 жителей, которые принимались при расчете (таблица составлена по гипотезе развития различных видов транспорта, разработанной автором)

Т а б л и ц а 4

Год	Л		М		Г + А	Всего
	индивид.	госуд.	индивид.	госуд.		
1970	32/24	6/3	40/81	2/4	18,5/17,2	98,5/129,2
$P_i(j)$ в % на шести доро- гах	<u>39,1</u> 6,9	<u>80,6</u> 15,0	<u>24,0</u> 0,94	<u>21,4</u> 0,52	<u>137,0</u> 18,5	

П р и м е ч а н и е: В числителе данные для Таллина, в знаменателе - для республики.

Сравнивая с 1966 годом к первой очереди проектирования доля легкового транспорта в интенсивности движения

увеличится в физических единицах с 43,0 % до 48,8 % (в приведенных единицах с 23,1 % до 27,4%). Суммарная интенсивность движения на шести дорогах вместе взятых увеличится в физ. единицах в 2,78 раза, а в прив. единицах в 2,65 раза. Движение легкового транспорта увеличится в 3,1 раза, а грузового транспорта в 2,5 раза.

Характерно, что интенсивность легкового движения на шоссе-ских дорогах увеличивается медленнее, чем возрастание величины парка Л и М. Причина этого явления кроется в уменьшении удельного веса государственного легкового транспорта в парке Л и М.

Расчетами установлены сроки повышения пропускной способности дорог на подступах к городу:

а) на Ленинградском шоссе требуется устройство шестиполосной дороги к 1974 году;

б) на Пярнуском шоссе устройство четырехполосной дороги к 1968 году и шестиполосной к 1977 году;

в) на Тартуском шоссе устройство четырехполосной дороги к 1975 году.

В ы в о д ы

1. Полученные данные, как-то среднее наполнение средств легкового транспорта, доля различных видов транспорта в общей интенсивности движения, средние продолжительности поездок, доля транзитных поездок и т.д. могут быть использованы при разных перспективных транспортных расчетах.

2. По предлагаемой формуле (5) можно производить расчеты среднемаксимальной перспективной суточной интенсивности движения на вылетных магистралях. Используя данные этих расчетов, можно обоснованно назначать категории вылетных дорог на перспективу.

3. Выявленные закономерности в использовании легкового

транспорта для внегородских поездок позволяют еще глубже проникнуть в изучение особенностей движения легкового транспорта.

Л и т е р а т у р а

1. О.К. К у д р я в ц е в. Перспективы развития технических средств городского транспорта. Семинар по вопросам городского движения и транспорта. Москва, 1964, стр. 5.

2. Д.П. В е л и к а н о в. Проблемы развития автомобильных перевозок в единой транспортной системе СССР. "Известия Академии наук СССР. Энергетика и транспорт", 1966, № 1, стр. 83.

3. Э.П. К о л е с н и к о в а, И.М. С л и в а к. О прогулочном движении в пригородных зонах. Вопросы градостроительства. Выпуск П. Киев, Госстройиздат УССР, 1965.

4. Э.П. К о л е с н и к о в а. Организация пассажирского транспорта в пригородной зоне Кишинева. Вопросы градостроительства. Выпуск УП. Киев, Госстройиздат УССР, 1965.

5. Программа для ЭЦВМ Минск-2. Выпуск 4. Руководство по алгоритмическому языку МАЛГОЛ. Академия Наук ЭССР, Институт кибернетики, Таллин 1966.

6. Программы для ЭЦВМ Минск-2. Выпуск 5. Транслятор МАЛГОЛа и руководство к использованию. Академия Наук ЭССР, Институт кибернетики, Таллин 1966.

7. И.О. П и х л а к. Обследование легкового транспорта индивидуального пользования в городе Таллине. Труды ТПИ, серия А, № 235. Дорожное строительство. Таллин 1966.

8. Detroit Metropolitan Area Traffic Study. Part I. Reports July 1955 and March 1956. Data summary and interpretation.

9. Traffic Engineering Handbook. I.T.E. 2 ed. 1950. New Haven, Connecticut. p. 44-46.

10. V o g t . Strassenverkehrszählung an der Ostseeküste. " Die Strasse ", 1965, 11, s.533.

II. А.А. Поляков. Организация движения на улицах и дорогах. Москва, изд-во "Транспорт", 1965, стр. 45-46.

I2. Road Research 1962, London 1963, p.15.

J. Pihlak

A Survey of Light Traffic on Highways Leading
out of Tallinn
Summary

In August 1966 a survey of light traffic vehicles was carried out on six highways leading out of Tallinn. On common weekdays from 7 a.m. to 9 p.m. 2322 car drivers and 1178 motor-cyclists going out of town were interviewed on the roadside. A questionnaire of 7 points concerning traffic characteristics was applied.

The data obtained indicate that passenger cars accounted for 28,5 per cent, motor-cycles for 14,5 per cent and lorries and buses for 57 per cent of the total number of motor vehicles.

The collected information has been coded and the data obtained are being analysed by an electronic computer Minsk-2.

The vehicles leaving the town had more passengers on them than those driving inside the town. The average passenger car occupancy in the town revealed to be 1,71, whereas outside the town it was observed to be 2,84. In motor-cycles, both solo and combinations, the occupancy was 1,24 and 1,66, respectively.

The traffic volume of light vehicles was observed to reach a peak between 3 p.m. and 8 p.m.

8,3 per cent of the interviewed were through passengers and most of them had stopped in the urban area.

A formula for determining the perspective traffic volume for roads leading out of the town has been deduced from the analysis of the investigation results.

УДК 625.711.83

В.М. Сегеркранц

РАСЧЕТ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД
НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ, ПОСТРОЕННЫХ НА
ТОРФЯНЫХ БОЛОТАХ

При проектировании экономных конструкций автомобильных дорог на торфяных болотах требуются данные о допустимых величинах упругих деформаций для разных типов покрытий. Контроль на упругие деформации является одним из трёх этапов расчета дорожных конструкций на торфяных болотах¹. Анализ литературных источников показывает, что до настоящего времени нет совершенного метода для определения устойчивости покрытий на транспортные воздействия для дорог на болотах [1].

На основе современной механики грунтов и проведенных нами экспериментальных работ сформулированы критерии предельного состояния дорожных одежд автомобильных дорог на болотах [1]. Устойчивость дорожных одежд характеризуется предельным относительным удлинением или растягивающим напряжением при изгибе. Как указывает профессор Н.Н. Иванов, для измерения этих величин нет широко доступных методов [2]. Относительное удлинение дорожного покрытия можно выразить через кривизну чаши прогибов. Зная

¹ Проектирование автомобильных дорог на болотах состоит из следующих этапов:

1. Определяется осадка за счет фильтрационной консолидации.
2. Проверяется устойчивость слабого основания.
3. Проверяется устойчивость дорожного покрытия на упругие деформации от влияния транспорта.

допустимое относительное удлинение (радиус кривизны) и величину упругих деформаций, имеем критерий устойчивости дорожных одежд на болотах.

В настоящей статье излагаются результаты измерения упругих деформаций в натуральных условиях², определения модуля упругости торфа и методика расчета упругих деформаций от действия транспорта.

I. Результаты измерения упругих деформаций в натуре

Измерения проводились в разных климатических условиях, с целью выявления характера изменения жесткости конструкции. На всех контрольных участках максимальные деформации имели место в осенних условиях увлажнения. Деформации в весеннем периоде были значительно меньше. Характер изменения радиуса кривизны чаши прогиба оставался таким же, минимальный радиус кривизны имел место осенью.

Появление максимальных деформаций в осеннем периоде объясняется некоторыми особенностями водно-теплового режима. Эстонская ССР находится в зоне интенсивного циклонального действия, которое активизируется в осенние месяцы. Осадков выпадает больше всего в ноябре или декабре, условия для испарения в это время года практически отсутствуют [3]. Поэтому в осенний период подстилающие торфы и грунты земляного полотна водонасыщены почти максимально. Геологическими работами выявлено, что оттаивание торфов происходит до июня месяца. В период, когда конструктивные слои имеют минимальную прочность, подстилающие грунты еще мерзлые. Осенью минимальные прочности как подстилающего грунта, так и конструктивных слоев совпадают. Поэтому для дорог, построенных на болотах, осенний период является расчетным.

²Методика описана в статье В.М.Сегеркранц "Исследование упругих деформаций на автомобильных дорогах, построенных на торфяных болотах в условиях Эстонской ССР. Труды ТИИ, серия А, №235, Таллин 1966.

Величина упругих деформаций зависит от таких факторов как толщина покрытия, толщина насыпного слоя и физико-механические свойства торфа.

Т а б л и ц а I

Упругие деформации в разных климатических условиях

Номер участка	Деформации в весеннем периоде		Деформации в осеннем периоде		Типы покрытия	$\frac{h_{\text{мин}}}{H}$
	l_y мм	ρ м	l_y мм	ρ м		
1	2,00	515	3,40	115	бит. грав. смесь обработ. на до-роге	0,98
2	4,10	87	4,80	36		0,50
3	3,55	36	4,30	57		0,60
4	3,15	46	3,70	23		0,60
5	2,60	124	3,60	62		0,64
6	3,65	160	3,70	39		0,57

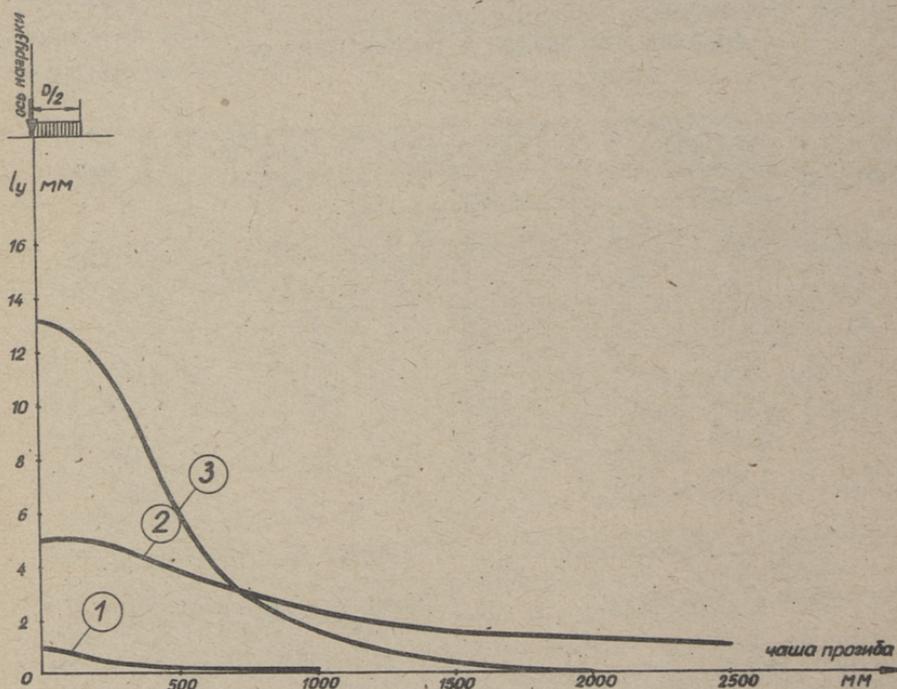
l_y - упругая деформация; $h_{\text{мин}}$ - толщина насыпного слоя
 ρ - радиус кривизны; H - толщина слоя торфа под насыпью

На фиг. I приводятся характерные чаши прогибов для гравийных и обработанных битумом гравийных покрытий на торфяном подстилающем грунте (линии 3 и 2), а также для обработанного битумом гравийного покрытия на минеральном грунте (линия 1). Материалы, обладающие свойством работать на растягивающие напряжения, распределяют напряжения на значительно большую величину по сравнению с минеральными грунтами. При равных конструкциях дорожных одежд и физико-механических свойствах торфа на контрольных участках имела место зависимость между деформациями и толщиной насыпного слоя. Это доказывает действенность теории упругости для дорожных конструкций на болотах.

Под обследованием был участок, построенный на фашинах. При равной толщине насыпи фашины уменьшают упругие дефор-

мации в 5 ÷ 8 раз. Поэтому для создания дешевых конструкций применение фашин является целесообразным.

На основании измерения деформаций и анализа состояния контрольных участков, можно сделать следующие выводы:



Фиг. 1. Характерные чаши прогибов

1. Покрытия из гравия, обработанного битумом, при интенсивности движения до 100 тяжелых автомобилей в сутки находились в хорошем состоянии, если упругий прогиб под задним колесом тяжелого автомобиля не превышал 5,0 мм и минимальный радиус кривизны чаши прогиба был больше 30 м.

2. Гравийные дороги были в хорошем состоянии, если при интенсивности движения до 10 тяжелых автомобилей в сутки упругие деформации не превышали 15 мм и минимальный радиус кривизны был больше 6 м. При больших деформациях наруша-

лась сплошность покрытия. При отсутствии в составе движения тяжелых автомобилей можно допускать упругие деформации до 25 мм и минимальный радиус чаши прогиба до 3 м (все эти величины определены под задним колесом груженого автомобиля МАЗ-200).

2. Определение модуля упругости торфа

При проектировании автомобильных дорог на болотах необходимы также показатели деформативных свойств подстилающего торфа, каковые характеризуются модулем упругости.

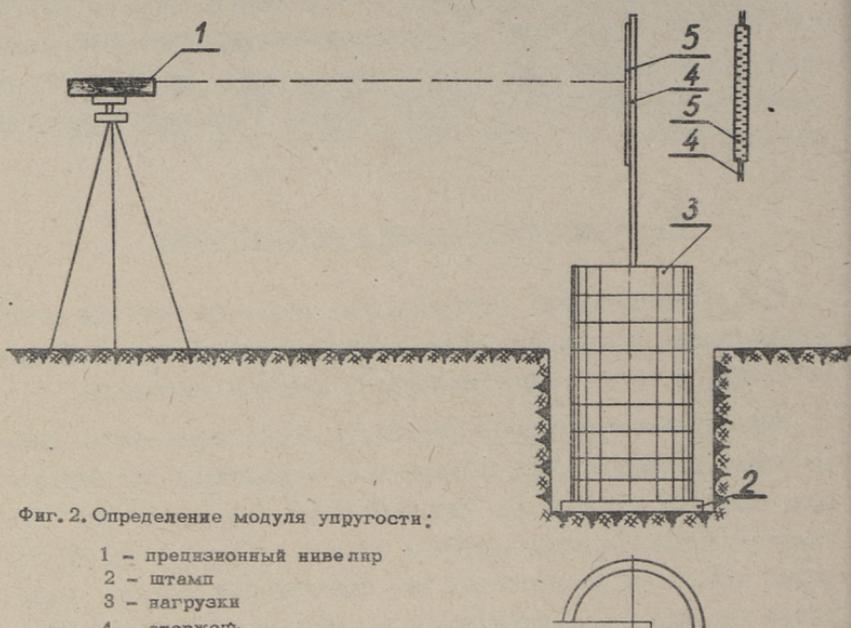
Для определения модуля упругости торфа выработана специальная методика. Модуль упругости определяли при нагрузках, которые имеют место под типичными конструкциями. Согласно теории механики грунтов применяли штамп ϕ 40 см, который считается достаточным для определения модуля упругости грунтов [4]. Напряжения и нагрузки на штамп ϕ 40 см соответствующие влиянию автомобильной нагрузки, приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Напряжения от временной нагрузки на торф
в зависимости от толщины насыпного слоя

Эквивалентная толщина конструкции, см	Напряжения на торфе, кг/см^2	Усилие на штампе ϕ 40 см
150	0,06	76
175	0,05	63
200	0,05	58
225	0,04	44
250	0,03	32

Как видно из таблицы 2, под типичными конструкциями торф испытывает давление $0,034 + 0,069 \text{ кг/см}^2$. Согласно существующим требованиям до строительства покрытия должна происходить 90% осадка основания за счет фильтрационной консолидации. Если это условие выполнено, то при



Фиг. 2. Определение модуля упругости:

- 1 - прецизионный нивелир
- 2 - штамп
- 3 - нагрузки
- 4 - стержень
- 5 - шкала

расчетах можно пользоваться модулями упругости уплотненного торфа. Поэтому модули упругости определялись также и для торфа уплотненного весом насыпи. Для таких опытов в насыпи выкапывался шурф. Штамп нагружался ступенями. Для каждой ступени определялась как упругая, так и остаточная деформация. В ходе одного испытания производилось три нагружения-разгружения штампа. Деформации определялись прецизионным нивелиром, для чего к штампу прикреплялся стержень со шкалой. Проведение опытов иллюстрируется на фиг. 2. Для проверки характера деформации торфа при значительно больших напряжениях, чем рассчитанные в табл. 2, произвели специальные опыты с напряжением на штампе до $0,12 \text{ кг/см}^2$.

Из теории упругости известна формула определения модуля упругости полупространства под жестким штампом:

$$E = \frac{\pi}{4} \frac{\rho D (1 - \mu^2)}{l_y}, \quad (1)$$

где E - модуль упругости полупространства,
 ρ - давление на штамп,
 D - диаметр штампа,
 μ - коэффициент Пуассона,
 l_y - упругая деформация.

Ниже приводятся некоторые результаты по определению модуля упругости (табл. 3).

Из табл. 3 явствует, что модуль упругости с ненарушенной структурой мало зависит от ботанического состава и типа торфа, находясь в довольно узких пределах. В ходе фильтрационной консолидации, с уменьшением пористости модуль упругости торфа повышается. В исследованных конструкциях модуль упругости подстилающего земляное полотно торфа был до 6 раз выше модуля упругости ненарушенного торфа.

Выбранные ступени нагрузки были достаточно удачными, так как при большей нагрузке (до $0,12 \text{ кг/см}^2$) модули упругости были такой же величины, как и в остальных опытах.

3. Расчет упругих деформаций

Насыпь из дискретного материала (гравий, песок) не может принимать растягивающие напряжения. Из полевых и лабораторных экспериментов данной работы и экспериментов В.П. Сельченко [5] видно, что напряжения в торфе под насыпью соответствуют вычисленным по теории Буссинеска.

Определенное при помощи суммирования деформаций слоев вертикальное смещение двухслойного полупространства равно [6]

$$l = \frac{\rho D}{\sqrt{\alpha} E_0} \left[\frac{\pi}{2} - \left(1 - \frac{E_0}{n E_1}\right) \arctg(\sqrt{\alpha} \frac{h_1}{D} \cdot n) \right], \quad (2)$$

Т а б л и ц а 3.

Модули упругости торфов

№ п.п.	Тип торфа	Влажность, %	Напряжение на штампе, кг/см ²	Модуль упругости, Е кг/см ²
1.	Малоразложившийся сфагновый торф	I200	0,02	4,75
			0,03	4,04
			0,05	3,54
2.	Малоразложившийся сфагновый торф	III0	0,02	4,96
			0,03	4,70
			0,05	3,75
3.	Среднеразложившийся сфагновый торф	I060	0,02	5,72
			0,03	5,77
			0,05	5,90
4.	Среднеразложившийся сфагновый торф	II80	0,02	6,35
			0,03	5,60
			0,05	4,80
5.	Гипновый торф хорошо разложившийся	765	0,02	3,72
			0,03	4,70
			0,05	4,14
6.	То же, уплотненный весом насыпи	346	0,02	8,76
			0,03	8,42
			0,05	8,26
7.	Гипновогостниковый, хорошо разложившийся	430	0,02	6,02
			0,03	5,94
			0,05	5,46
8.	То же, уплотненный весом насыпи	202	0,02	38,1
			0,03	13,5
			0,05	8,05
9.	Сфагновый торф, средне-разложившийся	950	0,02	3,18
			0,03	3,18
			0,05	2,73
			0,08	3,18
			0,12	3,15

где ρ — интенсивность расчетной нагрузки,
 D — диаметр следа расчетной нагрузки,
 α — коэффициент концентрации напряжений в формуле

$$\alpha = \frac{\rho}{1 + \alpha \left(\frac{h}{D}\right)^2}$$

E_0, E_1 — модули упругости нижнего полупространства и верхнего слоя,

$n = \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_0}}$ — коэффициент, учитывающий распределительную способность слоя с большим модулем упругости при слоях, обладающих свойством работать на растягивающие напряжения.

Так как в дискретных материалах отсутствует эффект плиты, то распределение напряжений соответствует однородному полупространству и показатель n , согласно профессору Н.Н. Иванову [6], равняется

$$n = \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_0}} = 1.$$

Теперь формула (2) принимает вид:

$$l = \frac{\rho D}{\sqrt{\alpha} E_0} \left[\frac{\pi}{2} - \left(1 - \frac{E_0}{E_1}\right) \operatorname{arctg} \sqrt{\alpha} \frac{h_1}{D} \right]. \quad (3)$$

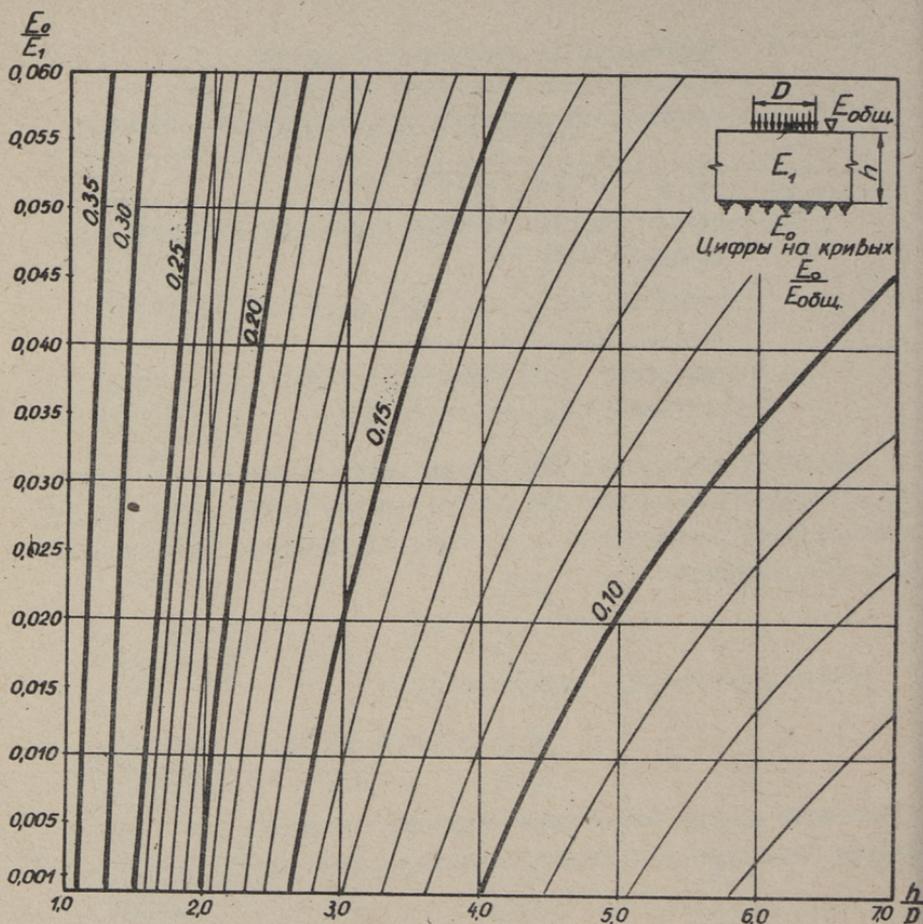
Аналогично методу Совзерини получено выражение для общего модуля упругости двухслойного полупространства

$$E_{\text{общ.}} = \frac{E_0}{1 - \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{E_0}{E_1}\right) \operatorname{arctg} \left(\sqrt{2.5} \frac{h_1}{D}\right)}. \quad (4)$$

В случае наличия в конструкции более двух слоев, общий модуль упругости первого слоя над торфом следует рассчитывать по формуле (4). При расчете общих модулей последующих слоев можно уже использовать номограмму для расчета общего модуля двухслойной конструкции, например приведенную в "Методических указаниях по конструированию и расчету дорожных одежд" [7].

Имея $E_{\text{общ}}$ на поверхности конструкции, упругую деформацию можно рассчитать по формуле

$$l_y = \frac{\rho D}{E_{\text{общ.}}} \cdot \quad (5)$$



Фиг. 3. Номограмма для определения $E_{общ}$

Для упрощения расчетов по формуле (4) дается номограмма, приведенная на фиг. 3, по которой, зная соотношения $\frac{h_1}{D}$ и $\frac{E_0}{E_1}$, можно рассчитать $E_{общ}$. Кривые на номограмме дают соотношение

$$\frac{E_0}{E_{общ}}$$

Номограмма рассчитана так, чтобы ею можно было пользоваться при соответствующих модулях упругости торфа и материалах земляного полотна. Данный метод опробован при расчетах упругих деформаций контрольных поперечников, причем получена хорошая сходимость с экспериментальными данными. М.П. Больштыанским рассчитана аналогичная номограмма для минеральных грунтов.

Пример расчета

Методами фильтрационной консолидации рассчитана осадка земляного полотна в 0,70 м, суммарная толщина насыпного слоя 1,7 м; слой торфа под насыпью 3,40 м. Конструкция дорожной одежды состоит из 8 см битумо-гравийной смеси и 10 см стабилизированного битумом гравийного песка.

Материалы слоев имеют следующие модули упругости:
битумо-гравийная смесь - 3000 кг/см^2 ,
стабилизированный битумом гравийный песок - 2000 кг/см^2 ,
гравийный песок земляного полотна - 1500 кг/см^2 ,
торф - 8 кг/см^2 .

Проверить устойчивость дорожной одежды на движение 150 нормативных машин Н-13 в сутки.

По номограмме фиг. 3 при соотношениях

$$\frac{h_3}{D} = \frac{170}{34} = 5,0; \quad \frac{E_0}{E_3} = \frac{8}{1500} = 0,005$$

получаем $E_{\text{общ}} = 98 \text{ кг/см}^2$.

Дальше ведем расчет по номограмме двухслойных конструкций [7].

$$\frac{h_2}{D} = \frac{10}{34} = 0,29; \quad \frac{E_{\text{общ}}}{E_2} = \frac{98}{2000} = 0,05; \quad E_{\text{общ}}^2 = 200 \text{ кг/см}^2;$$

$$\frac{h_1}{D} = \frac{8}{34} = 0,24; \quad \frac{E_{\text{общ}}^2}{E_1} = \frac{200}{3000} = 0,07; \quad E_{\text{общ}} = 330 \text{ кг/см}^2.$$

Упругую деформацию рассчитываем по формуле (5):

$$l_y = \frac{5 \cdot 34}{330} = 0,51 \text{ см} = 5,1 \text{ мм}.$$

В соответствии с данными полевых экспериментов такую деформацию можно считать допустимой; следовательно, конструкция устойчива на воздействие транспорта. Согласно нормам СНиП II 5-62 толщина насыпи должна быть 4,0 м. Преимущество приведенного расчетного метода очевидно.

В ы в о д ы

1. В условиях Эстонской ССР конструкции автомобильных дорог на болотах имеют минимальную прочность в осенний период, то есть этот период является для таких конструкций расчетным.

2. Получены допустимые величины упругих деформаций для разных типов дорожных одежд на торфяном подстилающем грунте в зависимости от интенсивности движения.

3. Выработана методика определения модуля упругости с применением прецизионного нивелирования.

4. Выявлено, что модуль упругости торфа в ходе фильтрационной консолидации повышается. Если до строительства гарантирована консолидация в размере 90 %, то при расчетах можно пользоваться модулями уплотненного торфа.

5. Упругие деформации следует рассчитывать по формулам теории упругости для слоистого полупространства, с учетом отсутствия эффекта плиты у дискретных материалов.

Л и т е р а т у р а

1. В.М. Сегеркранц. Исследование упругих деформаций на автомобильных дорогах, построенных на торфяных болотах в условиях Эстонской ССР. Труды ТПИ, серия А, № 235. Таллин 1966.

2. Н.Н. Иванов. Расчет жестких дорожных покрытий при повторных кратковременных нагрузках. Труды ХАДИ, вып. 25. Изд. ХГУ, Харьков 1961.

3. J. Kuit. Soode kuivendamise ja kasutamise põllumajanduses. ERK, Tallinn 1954.

4. Н.А. Цытович. Механика грунтов. Госстройиздат, Москва 1963.

5. В.П. С е л ь ч е н о в. Распределение напряжений в торфе и в двухслойной системе песок - торф. Сб. Регулирование водного режима торфяных почв. Урожай, Минск 1964.

6. Н.Н. И в а н о в и др. Новый метод оценки прочности нежестких дорожных одежд. Высшая школа, Москва 1967

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

V. Segarkrantz

Calculation of Elastic Deflections for Roads on Muskeg

Summary

The deflection influenced by the wheel load occur over a distance up to 10 m. On highways constructed on muskeg on inorganic soil the deflection was found not to extend over 1 m from the wheel. The maximum deflection occurs in autumn (Nov., Dec.), when moisture content in construction is maximum. A special method was developed for determining the modulus of elasticity of the muskeg. The maximum deflection and radius of curvature for several types of pavement are given. A method based on the theory of elasticity for calculating the elastic deflection for roads on muskeg is described.

А.П. Тальтс

О ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ ТРЕБОВАНИЯХ ТОЧНОСТИ
К ТОПОГРАФИЧЕСКИМ ПЛАНам

Под точностью планов надо понимать степень соответствия во взаимном положении идентичных точек плана и местности. Эта точность для различных видов съёмок различна и зависит от применяемых инструментов и технологических процессов, но в то же время и от назначения снимаемого плана, то есть от предъявляемых требований к нему.

Эстонская республика находится в такой климатической зоне, где количество выпадающих осадков превышает испарение. Это способствует при равнинном характере местности заболачиванию грунта. Для развития расширенного строительства на таких грунтах требуется предварительное осушение. Самый распространенный и целесообразный способ для осушения дорог, аэродромов и сельскохозяйственных угодий — осушение дренажем.

В настоящей работе рассматриваются и анализируются некоторые требования точности, предъявляемые к топографическим планам проектирования и строительства сельскохозяйственного дренажа, как самого распространенного в условиях республики.

I. О существующих требованиях точности

Съёмка местности на территории Эстонской ССР для проектирования осушения дренажем выполняется в масштабе 1:5000 с сечением рельефа через 0,5 м и оформляется в виде планов масштаба 1:2000*.

* Далее масштаб оформления указывается в скобках рядом с масштабом съёмки.

Согласно техническим условиям [I] такие планы должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) средняя ошибка ~~же~~ m_p в положении предметов и контуров местности относительно ближайших точек съемочного обоснования не должна превышать 2 метров;
- 2) предельные ошибки в положении наиболее важных предметов и контуров не должны превышать 4 метров;
- 3) предельные ошибки в положении прочих предметов и контуров местности не должны быть более 6 метров;
- 4) ошибки высот точек местности, рассчитанных по горизонталям, не должны превышать $1/3$ принятого сечения.

Последующим анализом попытаемся установить взаимосвязь между вышеизложенными требованиями.

Отметки, полученные для точек местности при помощи интерполяции между горизонталями на плане, имеют фактически две ошибки:

- а) ошибка m'_z , вызванная неточностью вертикального положения горизонтали, и
- б) ошибка m''_z , которая возникает вследствие допускаемого горизонтального сдвига контуров, а также горизонталей.

Величину первой ошибки можно вывести из четвертого требования, где по допускаемой ошибке, то есть $1/3$ сечения горизонталей (эти горизонтали вычерчены через 0,5 м), найдем среднюю квадратическую ошибку отметки точки местности.

$$\text{Здесь учтено условие, что } \Delta h_{\text{пред}} = \pm 2 m'_z \quad (1)$$

Чтобы вычислить величину второй ошибки m''_z исходим из средней квадратической ошибки m_p , которая охарактеризована в первом требовании. Таким образом

$$m''_z = \pm 200 \operatorname{tg} \gamma \quad \text{см}, \quad (2)$$

где γ — угол наклона местности.

~~же~~ Здесь под "средней ошибкой" следует понимать "среднюю квадратическую ошибку".

Анализ по формулам (1) и (2) осуществлен для углов наклона от $30'$ до 5° , что дает достаточно хорошую характеристику для объектов осушения в условиях Эстонской ССР. Кроме того, к рекомендуемым в технических условиях [1] масштабу и точности съемки в табл. I для сравнения даны аналогичные результаты по плану в масштабе 1:2000, где $m_p = \pm 80$ см, $m'_z = \pm 8,3$ см и $m''_z = \pm 80 \text{ tg } \gamma$ см.

Т а б л и ц а I

Вычисление ошибок m''_z

Масштаб съемки плана	m_p , в см	m''_z , в см					
		$0,5^\circ$	1°	2°	3°	4°	5°
I:5000 (I:2000)	200	1,7	3,5	7,0	10,4	14,0	17,4
I:2000	80	0,7	1,4	2,8	4,2	5,6	7,0

Через ошибки m'_z и m''_z находим среднюю квадратическую ошибку отметки точки местности, интерполированную по горизонталям:

$$m_z = \pm \sqrt{m'_z{}^2 + m''_z{}^2} \quad (3)$$

Результаты вычисления приведены в табл. 2.

Средняя квадратическая ошибка m'_z при одинаковом сечении рельефа (в данном случае через 0,5 м) остается неизменной, а изменяется только средняя квадратическая ошибка m''_z соответственно формуле (2). Учитывая вышесказанное можно среднюю квадратическую ошибку отметки точки местности m_z для масштабов плана I:5000 (I:2000) и I:2000 выразить соответственно следующим образом:

$$m_z = \pm \sqrt{68,9 + 4 \cdot 10^4 \cdot \text{tg } \gamma^2} \quad \text{см} \quad (4)$$

и

$$m_z = \pm \sqrt{68,9 + 6,4 \cdot 10^3 \text{tg } \gamma^2} \quad \text{см.} \quad (5)$$

Т а б л и ц а 2

Средние квадратические ошибки при разных
углах наклона

Масштаб съемки плана	Угол накло- на	Средние квадратические ошибки, в см			
		m_z^2	$m_z'^2$	$m_z^2 + m_z'^2$	m_z
I:5000. /I:2000/	0 ^o ,5	68,9	2,9	71,8	8,5
	1 ^o	68,9	12,3	81,2	9,0
	2 ^o	68,9	49,0	117,9	10,8
	3 ^o	68,9	108,5	177,4	13,3
	4 ^o	68,9	196,0	164,9	16,4
	5 ^o	68,9	304,0	372,9	19,3
I:2000	0 ^o ,5	68,9	0,5	69,4	8,3
	1 ^o	68,9	2,0	70,9	8,4
	2 ^o	68,9	7,8	76,7	8,7
	3 ^o	68,9	17,6	86,5	9,2
	4 ^o	68,9	31,4	100,3	10,1
	5 ^o	68,9	49,0	107,9	10,3

Средние квадратические ошибки, вычисленные по формулам (4) и (5), имеют соответствие с результатами, полученными по формуле профессора А.С. Чеботарева [2], стр. 479 :

$$\Delta h_{\text{пред}} = \pm (1,2 + 8 \lg \gamma), \quad (6)$$

где величина $\Delta h_{\text{пред}}$ дана для масштаба I:10000.

Сравнение формул (4) и (5) также с аналогичными и общеизвестными формулами, приведенными в статье В.Г. Селихановича [4], дает некоторое расхождение при одинаковых числовых данных. Причина такого отличия заключается в несходстве первых членов формул, так как они приводятся для конкретных местных условий и сечения рельефа.

По результатам табл. 2 видно, что точность перенесения горизонталей на план и точность отметок точек местности, полученных по интерполяции между горизонталями, зависят в большей мере от средней квадратической ошибки m_p . На основе произведенного анализа можно сделать непосредственный вывод, что запись отметок на план с точностью сантиметра, как этого требуют технические условия [1] для проектирования, не имеет практического значения, так как уже ошибки отметок при наклонах $1^0 - 5^0$ соответственно 9 - 19 см, а предельные ошибки - 27 - 57 см. При такой точности съемки запись отметок с точностью дециметра вполне достаточна.

2. Выбор масштаба

При выборе масштаба плана (также и при выборе сечения между горизонталями) нужно учитывать требование, чтобы точность плана соответствовала точности расчетов проектирования. Определяющим элементом проектирования при расчетах точности плана является расстояние между дренами, которое в условиях Эстонской ССР вычисляется по формуле Кюммик [5] :

$$E = 4270 \sqrt{\frac{k_1 (h - 0,5) + 0,86 a k_2 (h - 0,5)}{\bar{q}}}, \quad (7)$$

- где E - определяемое расстояние между дренами (в метрах);
h - глубина дрена (в метрах);
 k_1 - коэффициент фильтрации в слоях грунта, которые находятся выше дна дрена (в см/сек);
 k_2 - аналогичный коэффициент в слоях грунта, которые находятся ниже дна дрена;
 \bar{q} - долговременный среднегодовой модуль стока (л/сек на кв. км);
a - глубина водопроницаемого слоя грунта, который находится ниже дрена (в метрах).

Формулу (7) используют при составлении проектов осушения для пашни и пастбища. Из этой формулы следует, что расстояние между дренами E зависит от гидравлических аргументов k_1, k_2, h, a и \bar{q} . В действительности к этим аргументам должны еще прибавиться геодезические, которые возникают вследствие использования топографического плана. По вычисленным расстояниям строят на плане или на копии плана дренажные системы, в результате измерения которых находят данные для перенесения осушительного проекта в натуру. Естественно, что все ошибки плана, как плановые, так, в некотором смысле и высотные, влияют на расстояние E . Назовем эти влияния плана на E геодезическими аргументами.

Учитывая указанное обстоятельство, расстояние E можно представить как функцию общего вида

$$E = f(k_1, k_2, h, a, \bar{q}, x, z), \quad (8)$$

где x и z аргументы геодезического характера.

Среднюю квадратическую ошибку m_E , которая зависит от аргументов негеодезического характера, можно выписать следующим образом:

$$m_E^2 = \left(\frac{\delta E}{\delta k_1}\right)^2 \cdot m_{k_1}^2 + \left(\frac{\delta E}{\delta k_2}\right)^2 \cdot m_{k_2}^2 + \left(\frac{\delta E}{\delta h}\right)^2 \cdot m_h^2 + \left(\frac{\delta E}{\delta a}\right)^2 \cdot m_a^2 + \left(\frac{\delta E}{\delta \bar{q}}\right)^2 \cdot m_{\bar{q}}^2, \quad (9)$$

где $\frac{\delta E}{\delta k_1}; \frac{\delta E}{\delta k_2}; \dots; \frac{\delta E}{\delta \bar{q}}$ — являются частными производными по аргументам k_1, k_2, \dots, \bar{q} ,

$m_{k_1}; m_{k_2}; \dots; m_{\bar{q}}$ — средние квадратические ошибки этих аргументов.

Значения частных производных вычисляем подстановкой в них конкретных данных, характеризующих условия, наиболее близкие к условиям республики, которые влияют на расстояние между дренами:

Грунт — легкий суглинок на супеси, этому составу соответствуют коэффициенты фильтрации $k_1 = 0,00041$ и $k_2 =$

0,00069 см/сек; глубина дрена $h = 1,00$ м, глубина водопроницаемого слоя $a = 0,80$ м и среднегодовой модуль стока $\bar{q} = 10$ л/сек на кв.км.

Подставляя вышеуказанные числовые значения в формулу (9), получаем

$$m_E^2 = (9250 \cdot m_{k_1})^2 + (12700 \cdot m_{k_2})^2 + (43 \cdot m_h)^2 + (11 \cdot m_a)^2 + (1,2 \cdot m_{\bar{q}})^2 \text{ м.} \quad (10)$$

В ходе вычисления по формуле (10) окончательного результата использованы руководство для практических целей* и материалы исследований в сборнике [3], где рассматриваются вопросы о точности определения гидравлических данных. По этим материалам получены средние квадратические ошибки, выраженные в процентах:

$$\frac{m_{k_1}}{k_1} = \pm 50\%; \quad \frac{m_{k_2}}{k_2} = \pm 50\%; \quad \frac{mh}{h} = \pm 10\%; \quad \frac{m_a}{a} = \pm 6\%;$$

$$\frac{m_{\bar{q}}}{\bar{q}} = \pm 2\%.$$

Учитывая выбранные значения гидравлических аргументов и их вышеуказанные ошибки, получаем:

$$m_{k_1} = \pm 0,000205 \text{ см/сек}; \quad m_{k_2} = \pm 0,000345 \text{ см/сек};$$

$$m_h = \pm 0,1 \text{ м}; \quad m_a = \pm 0,05 \text{ м} \quad \text{и}$$

$$m_{\bar{q}} = \pm 0,2 \text{ л/сек на кв.км.}$$

Далее, используя формулу (10), имеем

$$m_E = \pm 6,8 \text{ метров.} \quad (11)$$

Затем устанавливаем условие, что геодезические аргументы x и z в формуле (9) не вносят значительной ошибки в гидравлические расчеты, если

* Временное указание ГПИ "Эстсельхозпроекта" по определению модулей стока дренажных систем и расстояний между дренажами. Рукопись.

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\delta E}{\delta k_1}\right)^2 m_{k_1}^2 + \left(\frac{\delta E}{\delta k_2}\right)^2 m_{k_2}^2 + \left(\frac{\delta E}{\delta \bar{q}}\right)^2 m_{\bar{q}}^2 = \\ & = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\delta E}{\delta x}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\delta E}{\delta z}\right)^2 m_z^2 \right] \end{aligned} \quad (12)$$

Левая часть уравнения равна m_E^2 , а правая часть выражает точность требуемого плана. Учитывая это обстоятельство получаем, что

$$m_E = \pm \frac{1}{2} m_p \quad (13)$$

или учитывая полученный результата в (II)

$$m_p = \pm 3,4 \text{ м.}$$

Вычисленная средняя квадратическая ошибка m_p практически может быть гораздо больше, так как коэффициент фильтрации в данном грунте колеблется в довольно больших пределах. Так, по данным Р. Пант, такое колебание составляет иногда 100 - 200 % от арифметического среднего [3]. Из формулы (9) можно установить, что при увеличении коэффициента фильтрации увеличивается и средняя квадратическая ошибка расстояния между дренами m_E , а вследствие этого увеличивается и m_p .

Соответственно вышеизложенному можно констатировать, что для каждого отдельно снимаемого объекта надо вычислять точность требуемого плана. Такие расчеты позволяют избежать лишних затрат на выполнение требований точности при составлении планов. По этим расчетам можно также судить о возможностях использования имеющихся аэроснимков в каждом отдельном случае съемки планов. Оформление плана должно выполняться в масштабе 1:2000 для удобства нанесения числовых и графических данных проектирования.

Л и т е р а т у р а

1. Технические условия по производству топографо-геодезических работ для детального осушения земельных участков площадью до 5 кв.км, Москва 1958.

2. А.С. Чеботарев и др. Геодезия П. Геодезиздат, М., 1962.

3. Teaduslik-tehniline kogumik. Maaparandus. Tallinn 1961.

4. В.Г. Селиханович. Некоторые вопросы точности изображения рельефа горизонталями. "Геодезия и картография", №9, 1958.

5. К. Номмик. Põllumajanduslike maade kuivenduse intensiivsus. Tartu 1964.

A. Talts

The Accuracy Required of Topographic Plans

Summary

The accuracy required of topographic plans used in designing drainage at a given site is analysed. The mean-square errors m_z' and m_z'' of the altitude of a point found by interpolation have given the value of the summary mean-square error of altitude $m_z = \pm 19.3$ cm. The requirement that the accuracy of the plan should correspond to the accuracy of design calculations was kept in mind in choosing the scale. The determining factor in design calculations is the spacing of drains, which is computed from formula 7. Analysis of pipe drainage plans show that in conditions of Estonian SSR the most suitable scale is 1:5000 with accuracy for horizontal control 1:1000.

УДК 625. 874:691.316

Т.Р. Таммеяги

СИЛИКАТНЫЙ БЕТОН В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Применение силикатных бетонов в качестве материала для дорожных покрытий позволяет:

1) заменить цемент известью, как более дешевым во многих районах СССР строительным материалом;

2) снизить расход извести по сравнению с расходом цемента на 10-40%;

3) заменить щебень, являющийся во многих районах дефицитным материалом, песком.

Это основные факторы, благодаря которым стоимость силикатобетонных дорожных плит по сравнению с цементнобетонными на 20-40% ниже.

Силикатный бетон применим в дорожном строительстве только для возведения сборных покрытий. Это несколько ограничивает применение силикатного бетона для строительства дорожных покрытий, так как сборные покрытия уступают монолитным покрытиям из-за повышенной стоимости и пониженной ровности.

Экономически обосновано применение силикатного бетона для строительства:

1) покрытий капитального типа на автомобильных дорогах общего пользования в районах с большим дефицитом природных каменных материалов, необходимых для строительства дорожных оснований и покрытий (например, Западно-Сибирская низменность);

2) покрытий городских улиц и тротуаров при наличии подземных коммуникаций;

3) временных дорог.

Последние две области применения обоснованы возможностью многократного использования сборных дорожных плит.

Это экономическая сторона вопроса. Исследования технических возможностей применения силикатного бетона в качестве материала для дорожных покрытий начаты в 1962 г. в бывшем НИПИ силикальцита (ныне НИПИ силикатобетона) и продолжаются в настоящее время при Таллинском политехническом институте. Ниже приводится краткий обзор основных результатов указанной исследовательской работы.

1. Прочностные показатели дорожного силикатного бетона

К материалам для жестких дорожных покрытий предъявляют следующие основные требования:

1) при умеренном сопротивлении на сжатие иметь возможно большее сопротивление на растяжение при изгибе, т.е. как можно большее значение соотношения сопротивлений на растяжение при изгибе и на сжатие;

2) быть хорошо деформируемыми, т.е. иметь низкий модуль упругости;

3) иметь высокую морозостойкость (погодостойкость) и износостойкость;

4) быть легкими, т.е. иметь невысокий объемный вес.

Последнее относится только в сборным плитам временных дорог, которые часто перекладываются с одного участка на другой.

Из этих требований ГОСТ 8424-63 "Бетон дорожный" нормирует только минимальные марки на сжатие и на морозостойкость и сопротивление на растяжение при изгибе, соответственно 300 кг/см^2 , 200 циклов (во второй дорожноклиматической зоне) и 40 кг/см^2 .

Определение основных прочностных показателей дорожного бетона проводилось по следующей методике. Параллельно изготовлению каждой экспериментальной партии дорожных плит на опытном заводе НИПИ силикатобетона изготавливались два образца-балки $0,5 \times 15 \times 0,15 \text{ мм}$, из которых одна балка испы-

тывалась в воздушно-сухом состоянии, а вторая в насыщенном водой состоянии (48 часов в воде при комнатной температуре).

В первую очередь балки испытывались на изгиб под одной, приложенной в середине пролета, сосредоточенной нагрузкой. Затем оставшиеся половинки каждой балки испытывались на раскалывание. Раскалывание производилось на линии 0,15 мм от торца балки. Таким образом, после раскалывания образовались кубики 0,15x0,15x0,15 м, которые подвергались испытанию на сжатие. Схема испытаний показана на фиг. 1. После окончания испытаний от каждого образца отбирали по пять проб для определения влажности образца во время испытания, объемного веса и водопоглощения.

Таким образом, при испытании каждой балки получались следующие данные: сопротивление на растяжение при изгибе; сопротивление на раскалывание, что равноценно сопротивлению на осевое растяжение; сопротивление на сжатие; объемный вес; водопоглощение и влажность испытываемого образца.

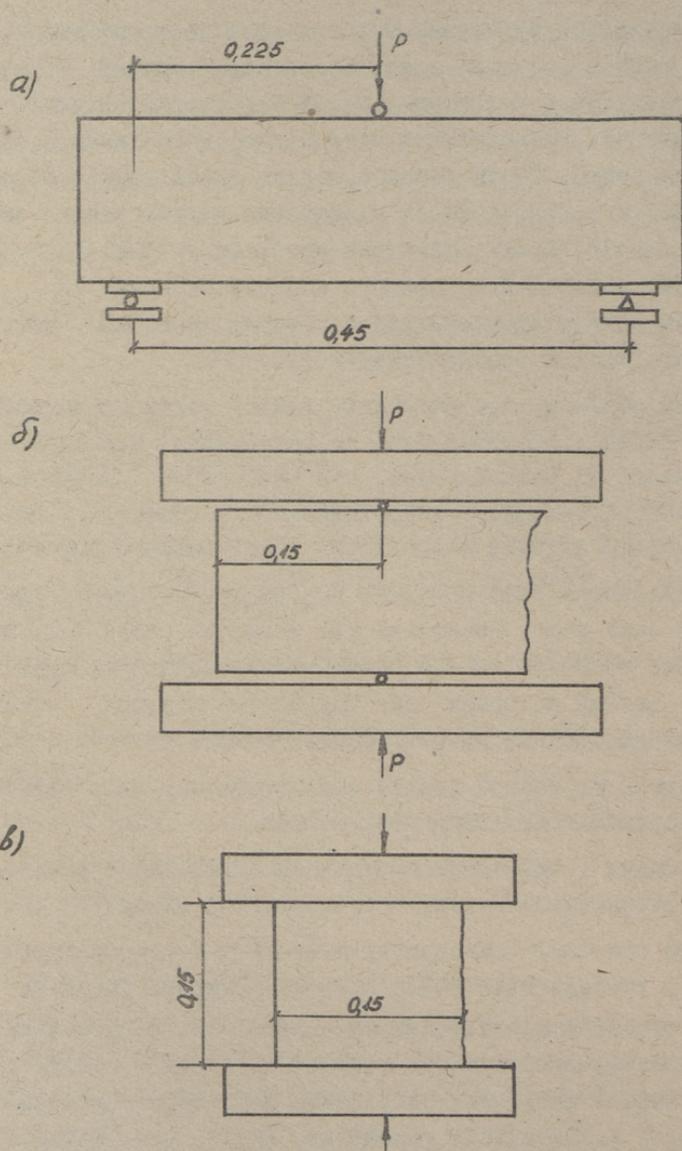
По описанной выше методике проводятся испытания уже начиная с 1963 года. Поскольку уже испытано свыше 1000 образцов-балок примерно из 500 различных промышленных смесей, накоплен ценный материал для подробного анализа основных прочностных свойств дорожного силикатного бетона.

В рамках настоящей статьи ограничиваемся лишь общей характеристикой полученных результатов.

В таблице I приведены результаты испытаний в виде среднеарифметических величин, вычисленных по годам.

Чтобы сравнить приведенные в таблице I сопротивления на сжатие с требованиями ГОСТа 8424-63, следует умножить табличные значения на коэффициент перехода 0,9, поскольку марка бетона определяется испытанием образцов 0,2x0,2x0,2 м, а в таблице I приведены результаты испытания образцов 0,15x0,15x0,15 м. Произведя умножение, видим, что силикатный бетон по сопротивлению на сжатие соответствует требованиям ГОСТа 8424-63 "Бетон дорожный" независимо от того, испытаны образцы в воздушно-сухом или водонасыщенном состоянии.

Требованиям того же ГОСТа по сопротивлению на растя-



Фиг. 1. Схема испытаний: а) испытание на изгиб, б) испытание на раскалывание, в) испытание на сжатие

Наименование показателя	Образцы из промышленных смесей, изготовленные в	
	1963-1964 гг.	1965 г.
сжатие R_c кг/см ²	$\frac{332}{371} = 0,90$ ж	$\frac{330}{393} = 0,84$
растяжение при изгибе $R_{\text{ги}}$ кг/см ²	$47,5 = 0,85$ 56,0	$48,8 = 0,82$ 59,4
осевое растяжение R_p кг/см ²	$18,4 = 0,88$ 20,9	$16,8 = 0,87$ 19,4
воздушно-сухом состоянии	0,151	0,151
водонасыщенном состоянии	0,143	0,148
Объемный вес, в кг/м ³	-	1761

Примечание. В числителе приведены среднеарифметические величины сопротивления образцов, испытанных в водонасыщенном состоянии, в знаменателе — водно-сухом состоянии; путем деления получается соответствующий коэффициент размягчения.

жение при изгибе силикатный бетон также соответствует, причем со значительным резервом.

Третий показатель - сопротивление на осевое растяжение ГОСТом 8424-63 не нормируется. Приведенные в таблице I значения сопротивления на осевое растяжение следует считать вполне удовлетворительными, учитывая особенно тот факт, что они получены испытанием образцов относительно большого поперечного сечения - 0,15 x 0,15 м.

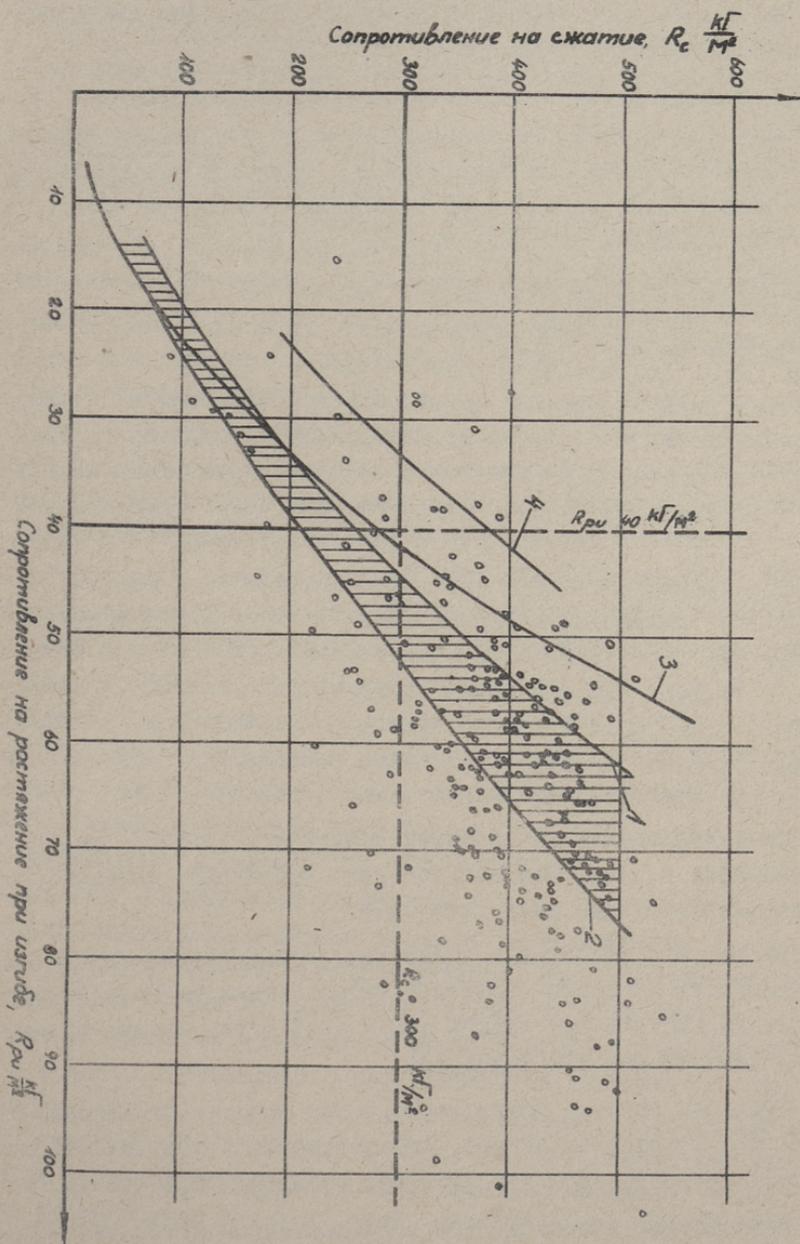
По литературным данным [I] материалы конструкций, работающие во влажных условиях, должны иметь коэффициент размягчения $K_{рм}$ (соотношение прочности материала в водонасыщенном и в воздушно-сухом состоянии) не ниже 0,8.

По данным таблицы I видно, что значения коэффициента размягчения дорожного силикатного бетона находятся в пределах 0,82 + 0,90, составляя в среднем 0,86.

Как было отмечено выше, материалы жестких дорожных покрытий должны иметь возможно более высокое значение отношения сопротивлений на растяжение при изгибе и на сжатие ($\frac{R_{рн}}{R_c}$). На графике (фиг. 2) нанесены в виде точек результаты испытаний на растяжение при изгибе и на сжатие образцов-балок из дорожного силикатного бетона. Испытания проводились по указанной выше методике с образцами в воздушно-сухом состоянии.

На основе литературных данных [I] на графике нанесены линии I и 2. Заштрихованная полоса между этими линиями соответствует подходящему для строительства дорожных покрытий бетону. При том результаты ниже линии 2 при цементных бетонах практически не достигаются, а выше линии I не рекомендуются из-за невысокого значения соотношения $R_{рн}/R_c$.

Из графика видно, что основная масса точек находится ниже линии 2 или на заштрихованной полосе. Следовательно, дорожный силикатный бетон имеет, по сравнению с цементным бетоном, повышенные значения соотношения $R_{рн}/R_c$. Это подтверждает также сравнение с линиями 3 и 4, ниже которых остаются почти все результаты испытания образцов из силикат-



Фиг. 2

ного бетона. Линия 3 нанесена на график на основе результатов исследования английских дорожных бетонов [2] и линия 4 - на основе результатов, полученных индийскими исследователями цементных бетонов [3].

На графике видны и достигнутые абсолютные величины результатов испытаний. По сопротивлению на растяжение при изгибе имеется целый ряд результатов в пределах 80-100 кг/см², т.е. результаты, превышающие требования ГОСТа 8424-63 в 2 - 2,5 раза. Большое рассеивание точек на графике объясняется, вероятно, тем, что точки нанесены на основе испытания образцов из промышленных смесей, изготовленных за сравнительно длинный период (1963-1966 гг.).

В своих исследованиях к.т.н. Л.Ванаселья пришел к выводу, что у силикатного бетона дезинтеграторной обработки соотношение $R_{\text{пр}}/R_c$ повышается с повышением удельной поверхности песка в смеси, следовательно, для изготовления дорожного силикатного бетона необходимо применять смеси с повышенной удельной поверхностью. Но с повышением удельной поверхности (тонины) ухудшается уплотняемость смеси и вместе с тем снижается объемный вес силикатного бетона, что приводит к снижению его строительно-технических свойств. Таким образом, начиная с каких-то определенных значений удельной поверхности смеси эффект повышения удельной поверхности сводится из-за снижения уплотняемости смеси на нет.

Для установления оптимальной величины удельной поверхности песка в смеси при изготовлении дорожного силикатного бетона был проведен следующий опыт.

Из смесей с различными удельными поверхностями песка и оптимальными по морозостойкости активностями формовали призмы 0,3х0,1х0,1 м, из каждой смеси по 5 штук. Призмы уплотняли вибрированием с пригрузом.

Такой же способ применяется и при формировании дорожных плит из силикатного бетона. Интенсивность пригруза 60 Г/см², частота вибрирования около 50 гц, амплитуда 0,4-0,6 мм.

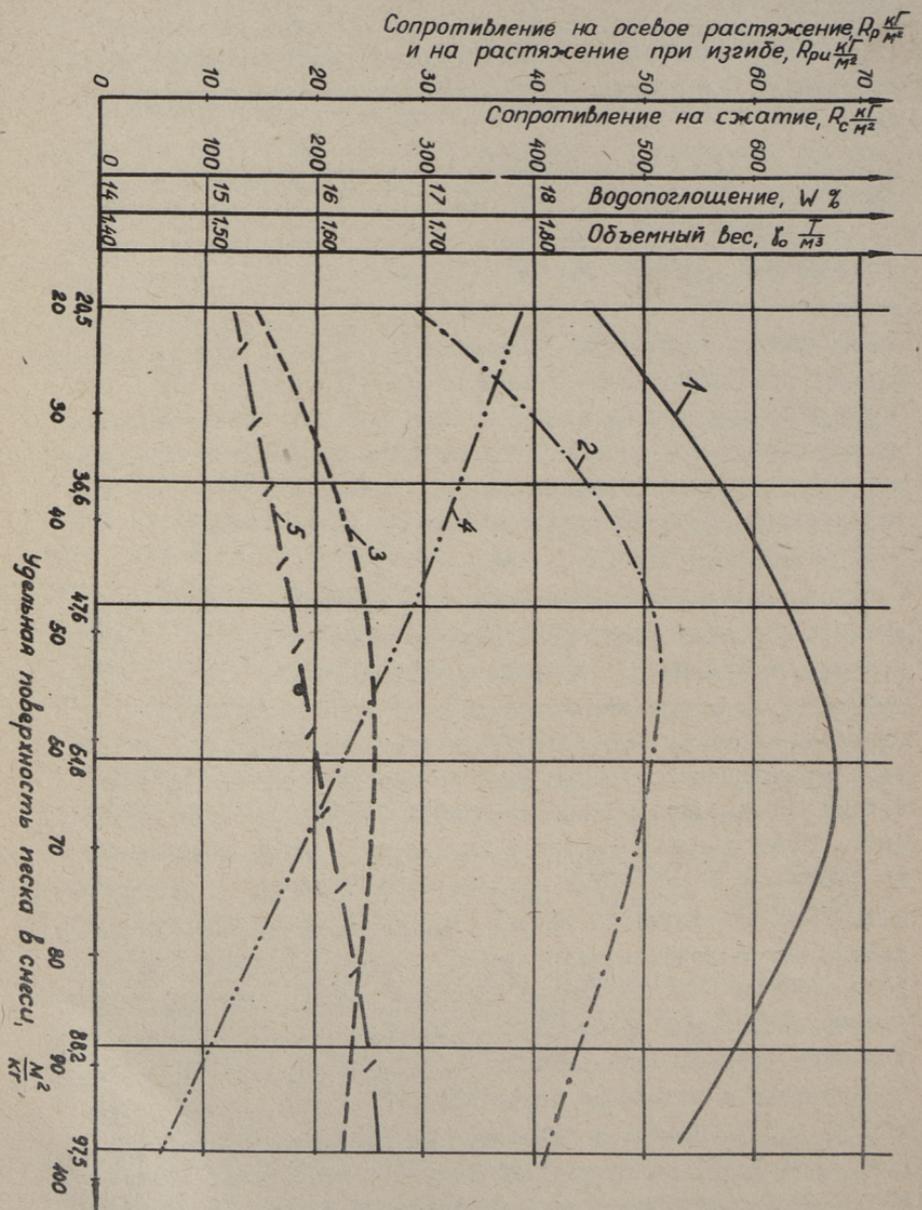
Запаривание производилось в промышленном автоклаве - выдержка под давлением 10 атм 12 часов. Испытание производилось по описанной в начале настоящего пункта методике, но только в воздушно-сухом состоянии.

Результаты опыта представлены в виде кривых на графике (фиг. 3).

Кривая 1 изображает зависимость между сопротивлением на растяжение при изгибе и удельной поверхностью песка в смеси.

Сопротивление на растяжение при изгибе становится максимальным при удельных поверхностях песка в смеси $e = 60 + 65 \text{ м}^2/\text{кг}$. Дальнейшее повышение удельной поверхности песка в смеси приводит к снижению сопротивления на растяжение при изгибе. Кривая 2 изображает зависимость между сопротивлением на сжатие и удельной поверхностью. Оптимум этой кривой находится при удельных поверхностях $e = 50-55 \text{ м}^2/\text{кг}$, т.е. при более низких удельных поверхностях, чем при сопротивлении на растяжение при изгибе. Это является косвенным подтверждением результатов исследований к.т.н. Ванаселья: с повышением удельной поверхности песка в смеси повышается и соотношение $R_{\text{пр}}/R_{\text{с}}$.

Учитывая то обстоятельство, что при более низких удельных поверхностях песка требуемая активность смеси (расход извести) также ниже, можно на основе кривых 1 и 2 для практического производства дорожных плит применять смеси с удельной поверхностью в пределах $e = 30 + 45 \text{ м}^2/\text{кг}$. Это даст при экономии извести дорожный силикатный бетон, отвечающий прочностным требованиям ГОСТ 8424-63 "Бетон дорожный". Такие пределы удельной поверхности песка в смеси были применены в 1963-1965 гг. при изготовлении дорожных плит. Как явствует из данных таблицы 1, полученный силикатный бетон действительно удовлетворяет основным требованиям ГОСТа 8424-63 "Бетон дорожный". При производстве экспериментальных дорожных плит в 1966 г. применялись повышенные удельные поверхности песка в смеси ($e=40-55 \text{ м}^2/\text{кг}$), что привело к повышению сопротивлений на растяжение при изгибе ($67,5 \text{ кг/см}^2$) и на осевое растяжение ($23,3 \text{ кг/см}^2$) (см. таблицу 1). Кривая 3 на фиг. 3 изображает зависимость между сопротивлением на осевое растяжение и удельной поверхностью песка в смеси. Оптимум этой кривой соответствует приблизительно тем же удельным поверхностям, что и оптимум кривой сопротивления на растяжение при изгибе, следовательно, также более высоким удельным поверх-



Фиг. 3. 1. сопротивление на растяжение при изгибе.
 2. сопротивление на сжатие,
 3. сопротивление на осевое растяжение,
 4. объемный вес,
 5. водопоглощение

ностям, чем оптимум кривой сопротивления на сжатие. Этим, наверно, и объясняется тот факт, что в 1966 году при производстве дорожного силикатного бетона из смесей с повышенными удельными поверхностями песка повышались сопротивление на осевое растяжение и на растяжение при изгибе, но сопротивление на сжатие осталось на прежнем уровне. Линия 4 на фиг. 3 изображает зависимость между объемным весом и удельной поверхностью песка в смеси, а линия 5 - зависимость между водопоглощением вибрированного силикатного бетона и удельной поверхностью. Из графика явствует, что объемный вес вибрированного силикатного бетона при повышении удельной поверхности песка в смеси уменьшается, а водопоглощение повышается. Для того, чтобы прочностные показатели силикатного бетона повышались и при дальнейшем увеличении удельной поверхности песка в смеси, необходимо стремиться к тому, чтобы уменьшение объемного веса материала было при этом минимальным. Для этого надо улучшить уплотняемость высокодисперсных смесей, что может быть достигнуто улучшением гранулометрического состава силикатобетонных смесей и введением в эти смеси пластифицирующих добавок. Эти исследования, особенно исследования по гранулометрическому составу силикатобетонных смесей, являются наиболее важными в области технологии дорожного силикатного бетона.

В качестве примера приведем результаты одной серии полупромышленных опытов. Применяя в дезинтеграторе роторы специальной конструкции, получили смеси с удельной поверхностью около $60 \text{ м}^2/\text{кг}$. Результаты испытания 12 образцов-балок $0,55 \times 0,15 \times 0,15 \text{ м}$ из трех смесей приведены в таблице 2.

Сравнивая результаты, приведенные в таблице 2, с требованиями ГОСТ 8424-63 "Бетон дорожный", видим, что по сопротивлению на сжатие полученные нами результаты превышают минимум - требование ГОСТ 8424-63 более чем в 1,5, а по сопротивлению на растяжение при изгибе - более чем в 2 раза.

Так как методика изготовления и испытания образцов в данном случае была такой же, как и у образцов, результаты испытания которых приведены в таблице 1, проведем сравнение обеих таблиц.

Т а б л и ц а 2

Наименование показателя	Образцы испытаны в	
	воздушно-су- хом состоя- нии	водонасыщен- ном состоя- нии
сжатие R_c , кг/см ²	-	531
растяжение при изгибе $R_{ги}$, кг/см ²	87,5	80,9
осевое растяжение R_p , кг/см ²	27,3	27,4
----- Объемный вес, кг/м ³	1804	1810

Все прочностные показатели таблицы 2 превышают соответствующие показатели таблицы I в большей степени, чем этого можно было ожидать по графику на фиг. 3. На основании этого графика объемный вес должен уменьшиться, а он, наоборот, даже несколько повысился. Это объясняется тем, что использованные в дезинтеграторе роторы специальной конструкции обеспечили получение смеси улучшенного гранулометрического состава, что привело к повышению уплотняемости смеси, тем самым и объемного веса образцов.

Полученный при описанных опытах силикатный бетон по своим прочностным показателям пригоден для производства неармированных (или армированных легкой конструктивной арматурой) дорожных плит, например, плит толщиной 0,12 м для строительства лесовозных дорог.

Кроме того, эти результаты показывают, что возможности улучшения технологии дорожного **силикатного** бетона далеко не исчерпаны.

2. Морозостойкость

Описанные в предыдущем пункте довольно высокие прочностные показатели получены испытанием силикатного бетона, объемный вес которого находился в пределах 1700-1800 кг/м³, что примерно на 20-30% ниже, чем у цементного бетона тех же марок. Низкий объемный вес материала для дорожных плит является, с одной стороны, положительным фактором, так как уменьшаются транспортные расходы, особенно при строительстве временных дорог. С другой стороны, особенно учитывая и то, что водопоглощение такого материала высокое (12-16%), возникает вопрос, обладает ли этот материал достаточной для дорожных покрытий морозостойкостью.

В области исследования морозостойкости силикатного бетона проведена большая работа. На основании результатов этой работы инженером Э. Мокс были разработаны основы технологии силикатного бетона высокой стойкости.

Исследования показали, что для производства силикатного бетона высокой морозостойкости необходимо выполнять следующие требования:

- 1) обеспечивать оптимальное соотношение между удельной поверхностью песка и активностью смеси;
- 2) соблюдать оптимальный режим запаривания;
- 3) применять полностью загашенную до запаривания изделий известь;
- 4) применять эффективные способы уплотнения, гарантирующие однородную структуру и минимальный диаметр пор у бетона. Чем выше однородность структуры и меньше диаметр пор, тем больше депрессия точки замерзания воды в порах бетона и тем выше его морозостойкость.

Выполнением первых двух требований достигается оптимальное по морозостойкости соотношение CaO и SiO_2 в но-вообразовании силикатного бетона ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,25$).

Эти требования приняты за основу при изготовлении дорожного силикатного бетона.

Нами проведен ряд испытаний образцов из дорожного силикатного бетона на морозостойкость.

Основные показатели испытанных на морозостойкость образцов 0,07x0,07x0,07 м из лабораторной смеси:

удельная поверхность песка в смеси	42,9 м ² /кг,
активность смеси	11,8% СаО + MgO,
формовочная влажность смеси	15%,
сопротивление на сжатие высушенных образцов	688 кг/см ² ,
марка силикатного бетона в воздушно-сухом состоянии	400 кг/см ² ,
средний объемный вес образцов	1730 кг/м ³ ,
среднее водопоглощение образцов	14,8%.

Образцы прошли до образования первых дефектов 1000 циклов попеременного замораживания-оттаивания. После каждых 200 циклов образцы высушивались и взвешивались для определения потери веса. Лишь после 1000 циклов потеря веса превышала 5%, после чего испытания были закончены.

По промышленным смесям испытано свыше 50 образцов 0,15x0,15x0,15 м из 22 различных смесей. Испытания были закончены после 300 циклов. Из испытанных образцов только 2 разрушились после 135 циклов. Методика испытаний соответствовала требованиям ГОСТ 10060-62, а полученные результаты полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ 8424-63 "Бетон дорожный".

В 1963 г. нами было замечено, что бордюрные камни на опытном участке около здания НИПИ силикатобетона, находившиеся под привезенной для борьбы с гололедом кучей песка, имели большие дефекты, а бордюрные камни вне кучи никаких дефектов не имели. Химический анализ показал, что песок содержал поваренную соль. Такое же сильное разрушение деталей произошло в 1965 году на опытном участке тротуара на Ратушной площади в городе Таллине. Химическим анализом выяснилось, что в борьбе с гололедом на участке применялся песок с 10%-ной примесью технической поваренной соли.

Снижение морозостойкости силикатного бетона в присутствии растворов хлоридов имеет чисто механический характер. Как показывают проведенные в НИПИ силикатобетона опыты, растворы NaCl при положительных температурах не оказыва-

ют на силикатный бетон никакого **корродирующего** влияния, а при совместном действии отрицательных температур и растворов поваренной соли начинается сильное разрушение силикатного бетона. Был проведен следующий опыт. Из промышленной смеси изготавливались кубики 0, 1х0, 1х0, 1 м. Половина образцов испытывалась по обычной методике (ГОСТ 10060-62), т.е. оттаивание образцов после каждого замораживания производилось в "чистой" воде, а оттаивание второй половины образцов производилось в 10% водном растворе NaCl. На испытанных по обычной методике образцах в течение 200 циклов дефектов не появилось, а испытанные в растворе поваренной соли образцы разрушились полностью после 10-13 циклов замораживания-оттаивания.

Для повышения "солестойкости" силикатного бетона необходимо уменьшить водопоглощение деталей. Для этого есть целый ряд возможностей, которые, однако, требуют еще детальной разработки.

То обстоятельство, что присутствие растворов хлоридов снижает морозостойкость цементобетонных покрытий, общеизвестно. Поэтому по "Временным техническим указаниям на устройство сборных покрытий городских дорог, тротуаров и путей трамвая из железобетонных плит" запрещается, во избежание разрушения поверхности бетонного покрытия, производить очистку ее от снега и льда при помощи хлористых солей натрия и кальция [4]. Это требование остается целиком в силе при эксплуатации участков из силикатобетонных плит.

3. Модуль упругости

Как известно, величины внутренних **усилий**, возникающих в конструкциях, работающих на упругом (грунтовом) основании, зависят во многом от деформативных свойств материала конструкции. Чем выше деформируемость материала (ниже модуль упругости), тем меньше величина внутренних усилий, возникающих в конструкции.

Между изгибающими моментами, возникающими в одинаковых силикатобетонных и **цементобетонных** плитах, работающих в

одинаковых условиях, можно вывести следующее соотношение:

$$\frac{M_c}{M_b} = \sqrt[3]{\frac{E_c}{E_b}},$$

где M_c и M_b — изгибающие моменты в силикатобетонной и цементобетонной плите,

E_c и E_b — модули упругости силикатного бетона и цементного бетона.

Формула выведена на основании уравнения изгибающего момента, возникающего в бесконечно длинной полосе под воздействием сосредоточенной силы и выведенного Герсевановым-Мачеретом.

Начальный модуль упругости силикатного бетона дезинтеграторной обработки марки 300 составляет $E_c = 150000$ кг/см², у бетона той же марки $E_b = 315000$ кг/см². Следовательно,

$$\frac{M_c}{M_b} = \sqrt[3]{\frac{150000}{315000}} = 0,78,$$

т.е. на основании теоретических расчетов в силикатобетонных плитах в равных условиях изгибающие моменты будут примерно на 20–22% ниже, чем в цементобетонных. Это является большим преимуществом силикатного бетона как материала для дорожных покрытий.

4. Истираемость

Ранними работами было установлено, что силикатный бетон по истираемости не уступает дорожному бетону. Эти результаты были получены испытанием силикатобетонных и цементобетонных образцов на лабораторном круге истирания ЛКИ-2.

Так как испытание на круге Баушингера (ЛКИ-2) во многом отличается от действительной работы дорожного покрытия, были проведены опыты по определению истираемости силикатного бетона под повторной нагрузкой вращающихся колес автомобиля. Испытания проводились на специальной установке, сконструированной старшим преподавателем ТПИ к.т.н. Ваймель [5]. Для проведения испытаний из промышленной смеси изготовлялись образцы 0,25x0,225x0,07 м. Все параметры образцов находились примерно в тех пределах, что и приведенные в таблице I.

Давление вращающихся колес на образцы составляло ориентировочно 1000 кг. Линейная скорость движения равнялась 11,1 м/сек (40 км/час). В течение одного цикла образцы испытывались в воздушно-сухом состоянии, подвергались увлажнению и действию ультрафиолетовых лучей. Количество "солнечных" и "дождливых" дней было выбрано по средним метеорологическим условиям Эстонской ССР.

В течение одного цикла по образцам проходило 7600000 т нагрузок, что в пересчете в 1,5 раза превышает общую расчетную работу лесовозных магистральных дорог из железобетонных плит за весь период эксплуатации. При этом средний износ образцов составил лишь 6 мм. Из этого следует, что силикатный бетон по истираемости вполне пригоден в качестве материала для строительства временных дорог. Однако этот вывод можно распространить и на дороги общего пользования.

Все описанные в настоящей статье лабораторные исследования строительно-технических свойств силикатного бетона позволяют считать силикатный бетон качественным материалом для дорожных покрытий. Параллельно лабораторным исследованиям проводятся полевые исследования на опытных участках, построенных, начиная с 1962 года, в различных районах СССР. Из построенных свыше 10 опытных участков все, кроме тротуара на Ратушной площади в г. Таллине, в настоящее время находятся в хорошем состоянии и подтверждают сделанные из лабораторных исследований выводы.

В ы в о д ы

1. По основным, т.е. лимитированным нормами строительно-техническим показателям (прочность на сжатие и на растяжение при изгибе, морозостойкость) силикатный бетон с достаточным резервом отвечает требованиям ГОСТ 8424-63 "Бетон дорожный".

2. Благодаря специфическим свойствам силикатного бетона

(низкий объемный вес и модуль упругости) дорожные плиты из него имеют пониженный, по сравнению с цементобетонными плитами, вес и расход арматуры.

3. Силикатный бетон, отличающийся относительно высоким сопротивлением на растяжение при изгибе, имеет и повышенное, по сравнению с цементным бетоном, соотношение сопротивлений на растяжение при изгибе и на сжатие, что особенно выгодно для материалов дорожных покрытий.

4. По истираемости силикатный бетон пригоден для строительства дорожных покрытий.

Л и т е р а т у р а

1. Н.И. Волков и др. Дорожно-строительные материалы. Автотрансиздат, 1960.
2. Бетонные дороги. Управление научных и промышленных исследований Великобритании. Дорожная исследовательская лаборатория. Перевод с английского, Москва 1959.
3. Filippo Arredi., Wan T Chang and others, Correlation Between Tensile Splitting Strength and Flexural Strength of concrete: A.C, 1. sept. 1963, Proceeding V 60, № 9.
4. Временные технические указания на устройство сборных покрытий городских дорог, тротуаров и путей трамвая из железобетонных плит. Издательство Министерства Коммунального хозяйства РСФСР. Москва 1962.
5. А.Ю. Ваймель. Испытание асфальтобетонов из щебня малопрочных эстонских известняков на специальном стенде на длительное воздействие. Труды ТПИ, серия А, № 235, 1966.

T. Tammemägi

Silicate Concrete as Paving Material

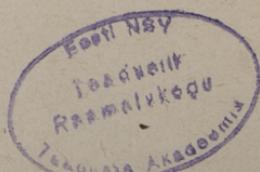
summary

The paper contains a review of the basic building properties (characteristics) of silicate concrete, a lime-sand building material.

The characteristics dealt with in this research, such as compressive strength, tensile strength at bending, resistance to tension, volume weight (density), resistance to frost and wear, and the modulus of elasticity are analysed with a view to establishing their conformity with the required properties of road paving materials.

С о д е р ж а н и е

	Стр.
1. М.К. К о п п е л ь. О возможностях оценки прилипания сланцевых битумов	3
2. Р.Ю. Л е в е т. Исследование влияния операции технического обслуживания системы смазки карбюраторного двигателя на загрязнения фильтров и масла	15
3. Р.Ю. Л е в е т. Исследование загрязнения картерного масла в зависимости от изменения технического состояния двигателей.	27
4. В.К. М е с п а к. Возможности определения вязкостных свойств сланцевых битумов	35
5. В.К. М е с п а к. Вязкостная характеристика сланцевых дорожных битумов	41
6. И.О. П и х л а к. Обследование движения легкового транспорта на шоссежных дорогах на подходах к гор. Таллину	47
7. В.М. С е г е р к р а н ц. Расчет упругих деформаций дорожных одежд на автомобильных дорогах, построенных на торфяных болотах.	63
8. А.П. Т а л ь т с. О предъявляемых требованиях точности к топографическим планам.	77
9. Т.Р. Т а м м е м я г и. Силикатный бетон в качестве материала для дорожных покрытий.	87



ДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
СБОРНИК СТАТЕЙ

II

Таллинский политехнический институт

Редактор Р. Амброс

Технический редактор Л. Лоопер

Сдано в печать 21/1У 1987. Подписано к печати 7/1Х 1987.
Бумага 60x90, 1/16. Печ.л. 6,75 + Приложение. Уч.изд.л. 5,75.

Тираж 500, МВ-08517. Зак. №461
Ротапринт ТПИ, Таллин Пикк ялг, 14.
Цена 39 коп.

Цена 39 коп.