

р. 6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED  
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Серия А

№ 170

1960

СТУДЕНЧЕСКОЕ НАУЧНОЕ ОБЩЕСТВО

СБОРНИК НАУЧНЫХ  
ТРУДОВ СТУДЕНТОВ  
III

ТАЛЛИН, 1960



Ep. 6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED  
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Серия А

№ 170

1960

СТУДЕНЧЕСКОЕ НАУЧНОЕ ОБЩЕСТВО

СБОРНИК НАУЧНЫХ  
ТРУДОВ СТУДЕНТОВ  
III

ТАЛЛИН, 1960

СОДЕРЖАНИЕ

1. Р. Я. Айре, «О возможности производства строительных материалов на базе золы диктонемового сланца» Научн. руководитель канд. техн. наук Н. М. Герасимов . . . . .	3
2. А. Ю. Арро, Э. П. Вахтер, В. К. Меспак, Э. В. Суурорг, Л. А. Тари, «Использование полукокса заполнителем в асфальто-бетоне» . . . . . Научн. руководители: доц. канд. техн. наук Р. А. Амброс и доцент канд. техн. наук К. А. Каск	13
3. П. П. Хорма «Технические дополнения к тестеру» . . . Научн. руководитель асс. Х. А. Таммемяги	30
4. Ю. М. Канн, В. Е. Милли «Использование ионообменных методов при отделении и определении железа и алюминия в сланцевой золе» . . . . . Научн. руководитель доц. канд. техн. наук Х. О. Вильбок	43
5. В. К. Нутт, Г. А. Самуел «Некоторые вопросы определения и проектирования удобоукладываемости бетона» . . . Научн. руководитель канд. техн. наук О. А. Вахелайд	52
6. В. Т. Паометс «Определение радиоактивности методов ионизации» . . . . . : : . . . Научн. руководитель ст. преподаватель И. Г. Мейтре	65
7. В. А. Сельг «Теплопередача эмалированных труб водяного экономайзера» . . . . . Научн. руководитель доц. канд. техн. наук И. П. Эпик	70
8. Х. Х. Йыги «Исследование возможности производства асфальтовой мастики из сланцевого битума и полукокса» . . . Научн. руководитель доцент, канд. техн. наук К. А. Каск	77

P 51833



Студент V курса горно-химического  
факультета Р. Я. АЙРЕ  
Научный руководитель:  
ст. преп. канд. хим. наук.  
Н. М. ГЕРАСИМОВ

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА БАЗЕ ЗОЛЫ ДИКТИОНЕМОВОГО СЛАНЦА

Все возрастающие темпы строительства в нашей стране настоятельно требуют использовать все возможности для расширения производства и для внедрения новых эффективных строительных материалов из местного сырья. Не меньшую актуальность имеет также и комплексное использование некоторых видов местных полезных ископаемых, которые до сих пор еще не нашли себе промышленного применения. К числу их принадлежит и диктионемовый сланец.

Как известно, по плану развития народного хозяйства предусматривается в 1960 г. добывать в Маарду до 1 млн. тонн диктионемового сланца, удаляя его с поверхности залежей фосфорита.

Диктионемовый сланец принадлежит к горючим сланцам с низкой теплотворной способностью ( $Q = 1295$  ккал/кг) и небольшим содержанием органического вещества (15,32—16,75%) [1].

С исследованиями термической переработки диктионемового сланца необходимо разрешить и проблему использования отходов от термической переработки и сжигания его, т. е. проблему использования золы диктионемового сланца. Одним из вариантов решения этого вопроса могло бы быть использование золы диктионемового сланца для производства строительных материалов.

Настоящая работа была предпринята с целью получить предварительные данные по этому вопросу и, конечно, ни в какой мере не может претендовать на его полное решение.

В данной работе исследовались некоторые возможности производства силикатных материалов на базе минеральной части диктионемового сланца.

Известно, что в Швеции диктионемовый сланец давно уже используется для производства газосиликата под названием «Ytong» и газобетона марки «Syporex». При этом органическая часть сланца служит в качестве топлива при обжиге извести, являющейся одним из компонентов исходного сырья для этих изделий. Вопрос о том, какова должна быть технология переработки нашего сланца, требует еще исследования, так как теплотворная способность его ниже, чем у шведского. Содержание органического вещества в шведском диктионемовом сланце составляет 28%, что почти вдвое превышает содержание его в наших сланцах, однако состав минеральной части шведского сланца близок к составу нашего (см. таблицу 1).

Состав минеральной части диктионемовых сланцев

Таблица 1

Наименование сланца	Составные части в %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Маарду ЭССР	65,92	15,05	7,57	0,7	0,68	8,35	0,26	0,08
Шведский. . .	59,6	19,1	12,3	1,4	1,4	5,5	0,7	—

В опытах по получению прессованных и газоизделий мы пользовались золой диктионемового сланца месторождения Маарду ЭССР и известью.

В нашу задачу входило в случае прессованных изделий выяснение оптимального содержания CaO в исходной сырьевой смеси и минимального давления, необходимого для прессования. В случае газосиликата — выяснение оптимального содержания CaO, соотношения гашеной и негашеной извести, а также соотношение алюминиевой пудры и стабилизатора — сахара. При этом выяснилось влияние этих факторов на прочность, объемный вес, водопоглощение, морозостойкость и пористость изделий. На основании полученных данных были сделаны заключения о целесообразности применения диктионемовой золы для изготовления силикатных изделий.

## 1. Исходные материалы

### Зола диктионемового сланца.

Химический состав золы согласно литературным данным [1] приведен в таблице 1. В своих опытах мы пользовались сланцем, полученным из карьера химкомбината Маарду. Часть этого сланца была сожжена в лабораторной газовой печи при температурах 800°, 900°, 1000°C. Другая и большая часть полученного сланца была сожжена в туннельной печи Таллинского керамического завода, где максимальная температура озоления могла составлять 900°—1000°C.

Зола представляла собой твердый материал кирпичного цвета. Зола дробилась сначала в щековой дробилке, а затем размалывалась в лабораторной шаровой мельнице и просеивалась через сито № 0,25.

Удельная поверхность золы определялась пневматическим прибором Товарова и составляла 4000 см<sup>2</sup>/г.

Удельный вес золы равнялся 2,55 г/см<sup>3</sup>.

### Гашеная известь

Гашеная известь была получена от Государственного Опытного завода. Она просеивалась через сито № 0,25.

Содержание активных  $CaO + MgO$  составляло в ней 57%. Оно определялось путем титрования 0,1 N раствором  $HCl$ .

### Негашеная известь

В качестве негашеной извести применялась известь кольцевых печей известкового завода Ракке. Подходящие куски этой извести были отобраны со склада Опытного завода. С поверхности этих кусков были удалены слой шлака и «пережег».

После этого известь была размолота в шаровой мельнице и просеяна через сито № 0,25.

Содержание активных  $CaO + MgO$  в ней составляло 80%. Скорость гашения — 16|+ 18 минут.

## 2. Методика и результаты исследований

### а) Приготовление прессованных изделий

Для опытов применялись цилиндрические образцы с диаметром и высотой, равными 30 мм. Образцы готовились следующим образом. Известь и зола смешивались в определенном отношении в лабораторной шаровой мельнице в течение 20 минут.

Пробные тела прессовались из смеси с влажностью 21% с помощью ручного пресса.

Режим пропаривания образцов в автоклаве состоял в следующем:

подъем давления пара до 12 атм	— 1 час,
выдерживание под давлением	— 7,5 часов,
понижение давления	— 1 час.

В порядке исследования было проведено три серии опытов. Одна из них предназначалась для выяснения оптимального содержания извести в смеси, вторая — для выяснения оптимального давления при прессовании и третья для выяснения влияния режима озоления сланца на свойства получаемых изделий.

При изготовлении образцов 1-й серии, служивших для выяснения оптимального содержания СаО в смеси, пользовались золой диктионемового сланца, обожженного в лабораторной газовой печи при температуре 800—900°C.

Удельная поверхность золы составляла 4270 см<sup>2</sup>/г.

В качестве второго компонента служила гашеная известь. Давление при прессовании составляло 444 кг/см<sup>2</sup>.

Активность смеси определялась титрованием 1 н раствором HCl.

После пропаривания в автоклаве у образцов данного состава производилось определение предела прочности при сжатии ( в трех образцах), после чего те же образцы служили для определения объемного веса, водопоглощения удельного веса и пористости. Результаты определений приведены в таблице 2.

Следует заметить, что в случае образцов с неповрежденной поверхностью, т. е. тех, которые не подвергались сжатию с целью определения прочности и, следовательно, не были разрушены, водопоглощение оказалось равным 8—12%.

Опыты по определению оптимального содержания извести в прессованных изделиях из золы диктионемового сланца, обожженного в лабораторной печи при 800—900 С

Таблица 2

Содержание акт СаО в смеси %	Давление при прессовании кг/см <sup>2</sup>	Предел прочности при сжатии кг/см <sup>2</sup>	Объемный вес г/см <sup>3</sup>	Водопоглощение %	Удельный вес г/см <sup>3</sup>	Пористость %
3,1	444	186,5	1,46	28	2,5	39
5,2	„	242,5	1,5	27	2,6	39,7
10,1	„	252,5	1,45	27,5	2,8	40
15,1	„	285	1,5	28	2,47	38,5
20,2	„	371	1,55	26	2,6	38,5
23,2	„	432	1,64	21,9	2,65	41,2
25,3	„	396	1,53	25	2,49	38,6
28,3	„	390	1,6	24	2,54	37,8
30,2	„	420	1,6	23	2,53	37

В случае II-й серии опытов, которая служила для установления оптимального давления при прессовании, пробные тела изготавливались аналогично предыдущему.

Результаты этих опытов приведены в таблице 3.

Опыты по определению оптимального давления при прессовании образцов из золы диктионемового сланца

Таблица 3

Содерж. акт. СаО	Давление при прессовании кг/см <sup>2</sup>	Прочность при сжатии кг/см <sup>2</sup>	Объемный вес г/см <sup>3</sup>	Водопоглощение %	Удельный вес г/см <sup>3</sup>	Пористость %
20,1	562	360	1,63	25	2,6	38
20,1	444	357	1,5	26	2,6	38,5
20,15	354	343	1,37	27	2,5	42
20,1	299	304	1,35	28	2,45	45
20,2	177	281	1,29	29,5	2,5	48
20,1	106	240	1,24	30	2,54	50

Как было упомянуто выше, целью III-й серии опытов было выяснение влияния режима озоления диктионемового сланца на свойства изделий, получаемых из него.

В этом случае для приготовления образцов пользовались золой, полученной при обжиге диктионемового сланца в туннельных печах Таллинского Керамического завода. Максимальная температура обжига составляла 900—1000°C.

Тонкость размола была такой же, как и в предыдущем случае.

Результаты опытов приведены в таблице 4.

Опыты с золой диктионемового сланца, обожженного в туннельной печи при 900—1000°C

Таблица 4

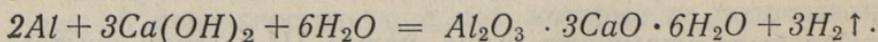
Содерж. акт. СаО %	Давление при прессовании кг/см <sup>2</sup>	Предел прочности при сжатии кг/см <sup>2</sup>	Объемный вес г/см <sup>3</sup>	Водопоглощен. %	Уд. вес г/см <sup>3</sup>	Пористость %
15,1	444	292	1,37	34	2,6	48
20	„	359	1,39	34	2,6	47
22,9	„	375	1,4	33	2,5	46
25,2	„	397	1,41	31	2,5	43

#### б) Изготовление газосиликата

В качестве материалов для изготовления газосиликата применялась зола зиктионемового сланца, гашеная и негашеная известь. Al-пудра и сахар. Целью опытов служило выяснение оптимальных соотношений между всеми компонентами.

В опытах применялись кубические образцы с размерами 30×30×30 мм.

Приготовление смеси производилось вручную. Смешивали сначала сухую диктионемовую золу с известью, алюминиевым порошком и сахаром, затем прибавляли воду и снова тщательно перемешивали. Смесь с консистенцией сметаны выливали в формы, в которых она выстаивала около 24 часов. Выделение газа происходило по реакции:



и продолжалось 1 час. В течение этого времени смесь поднималась и затвердевала.

Перед помещением в автоклав с форм срезались «гайки». Режим пропаривания в автоклаве не отличался от вышеописанного.

При изготовлении образцов пользовались золой обожженной в туннельной печи Таллинского Керамического завода, а также гашеной и негашеной извести вышеупомянутого происхождения.

Результаты опытов приведены в таблице 5; при этом мы пользовались следующими обозначениями:

$$K = \frac{\text{количество гашеной извести}}{\text{количество негашеной извести}}$$

$$A = \frac{\text{количество сахара}}{\text{количество Al-пудры}}$$

### 3. Анализ результатов опытов

Как видно из данных таблицы 2, наилучшими строительными-техническими показателями в случае прессованных изделий обладают образцы с содержанием активной  $CaO$  23—25%; однако и образцы с минимальным содержанием активной  $CaO$ , равным 3%, оказываются вполне приемлемыми.

Сравнивая данные, приведенные в таблицах 2 и 4, можно сказать, что режим обжига диктионемового сланца не оказывает существенного влияния на свойства изделий. Небольшие расхождения в показателях находятся в пределах ошибок опытов.

Данные, приведенные в таблице 3, показывают, что с уменьшением давления прессования такие свойства изделий, как прочность водопоглощение и пористость, ухудшаются, причем объемный вес изделий понижается до  $1,4 \text{ г/см}^3$ .

Согласно данным таблицы 5 оптимальным содержанием активной  $CaO$  в смеси в случае газосиликата так же, как и в случае прессованных изделий, является 25%. Образцы с этим содержанием активной  $CaO$  обладают максимальной прочностью, причем остальные их свойства, такие как объемный вес, водопоглощаемость и пористость практически остаются такими же, как и в других случаях.

Замена гашеной извести негашеной заметно отражается на свойствах получаемых изделий. Увеличение количе-

Опыты по выяснению оптимального соотношения между исходными материалами при изготовлении газосиликата из золы диктионового сланца

Таблица 5.

Содержан. акт. СаО %	Влажность смеси %	К	Содержан. Al-пудры %	А	Предел прочности на сжатие кг/см <sup>2</sup>	Объемный вес г/см <sup>3</sup>	Водопоглощение %	Удельный вес г/см <sup>3</sup>	Пористость %
30	71	1:1	0,3	1:1	25,1	0,7	103	2,56	72,5
30,1	66,5	1:2	"	"	43,3	0,82	83,5	2,51	72
30	62,6	1:3	"	"	48,4	0,83	82	2,6	69,8
30,2	58,5	1:4	"	"	56,1	0,84	78	2,61	68
30,1	58	1:5	"	"	66,0	0,87	76	2,64	67,5
30	54,2	негашеная известь гашеная известь	"	"	74,0	0,91	68,8	2,6	64
30,2	97,4	"	"	"	6,68	0,56	139,5	4,5	75,4
30,15	62,6	1:3	0,2	1:1	49,6	0,84	79,2	2,56	67,0
30,1	"	"	0,3	"	44,5	0,804	79,5	2,57	68,5
29,8	"	"	0,4	"	41,7	0,79	85,7	2,57	69,5
30,2	"	"	0,5	"	35,6	0,75	88,8	2,55	69,2
30,1	62,6	1:3	0,2	2:1	82,3	0,97	61,0	2,58	62,8
30,2	"	"	"	1:1	50,0	0,8	79,8	2,63	69,8
29,9	"	"	"	1:2	49,0	0,78	87,2	2,63	72,4
30,1	"	"	"	1:3	37,1	0,72	93,7	2,59	70,6
15,2	54	1:5	0,3	2:1	42,3	0,82	83	2,58	67,3
20	56	"	"	"	50,0	0,83	82	2,57	67,5
24,9	57	"	"	"	53,4	0,83	82	2,54	67,4

ства негашеной извести в смеси вызывает увеличение объемного веса и вместе с тем увеличение прочности. При большем содержании гашеной извести в смеси процесс газовой выделения становится более интенсивным.

Для стабилизации процесса парообразования мы пользовались сахаром. На основании данных таблицы 5 можно заключить, что, изменяя соотношение между содержанием сахара и  $Al$ -пудры в смеси, можно получить изделия с различным объемным весом и прочностью.

#### 4. Выводы

1. Зола диктионемового сланца можно использовать в качестве сырья для изготовления силикатных изделий.

2. Оптимальное содержание активной  $CaO$  в смеси, служащей для приготовления силикатных изделий, находится в пределах от 23 до 30%, при удельной поверхности диктионемовой золы, равной  $4\ 000\ \text{см}^2/\text{г}$ .

3. Применяя при прессовании высокое давление —  $444\ \text{кг}/\text{см}^2$ , можно получить прессованные изделия с приемлемыми строительно-техническими свойствами даже в случае минимального содержания  $CaO$  в смеси (ниже 10%).

4. Применяя при прессовании давление  $106\ \text{кг}/\text{см}^2$ , можно получить изделия достаточной прочности, обладающие объемным весом, не превышающим  $1,2\ \text{г}/\text{см}^3$ .

5. Режим обжига диктионемового сланца в пределах  $800^\circ\text{—}1000^\circ\text{C}$  не оказывает существенного влияния на строительно-технические показатели изделий.

6. Строительно-технические показатели полученного газосиликата настолько удовлетворительны, что можно считать перспективным использование его в качестве теплоизоляционного материала.

7. Изменение соотношений между компонентами смеси приводит к изменению объемного веса получаемых изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. С и й р д е А. К. «Некоторые новые данные о диктионемовом сланце» Труды ТПИ, серия А. № 73, ТПИ 1956.
2. З а в а д с к и й «Автоклавные газобетоны. Их свойства, производство и применение» М. Госстройиздат, 1957.
4. «Строительные материалы» № 11 и № 12 1957.
5. «Техника и производство» № 8, № 10, № 11 1957.

Студенты IV курса строительного факультета Э. В. СУУРОРГ, Л. А. ТАРИ, А. И. АРРО, Э. П. ВАХТЕР, и В. К. МЕСПАК, Научные руководители: доц., канд. техн. наук Р. А. АМБРОС и доц., канд. техн. наук К. А. КАСК.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУКОКСА ЗАПОЛНИТЕЛЕМ В АСФАЛЬТОБЕТОНЕ

### 1. О применении минерального порошка в качестве заполнителя для асфальтобетона в условиях Эстонской ССР

При изготовлении асфальтобетона большое значение имеет минеральный порошок.

Правильный выбор минерального порошка в настоящее время, в связи с развитием применения асфальтобетона является актуальной технико-экономической проблемой.

Задачей порошка как заполнителя является уменьшение пористости состава асфальтобетона и уменьшение толщины пленки битума на каменном материале, каковые свойства повышают прочность и водостойчивость асфальтобетона.

Свойства заполнителей изучали советские ученые М. В. Сухарев, П. В. Сахаров, А. М. Курнаев и др., которые придавали заполнителю в повышении качества асфальтобетона важное значение.

Во многих странах в качестве минерального порошка применяется портланд-цемент как весьма качественный материал. Дефицитность портланд-цемента и его высокая стоимость вызывают необходимость заменить его другими минеральными веществами.

В качестве заполнителя применяется минеральный порошок из молотого известняка, который имеет хорошие технические показатели. Но переработка известнякового

камня в порошок является трудоемкой работой и камне-ломни не могут обеспечить производственные нужды.

С 1950 года в Эстонской ССР в качестве минерального порошка применяется в основном кукермит. Качества кукермита как минерального порошка исследовал канд. техн. наук, доцент Р. Амброс и им внедрено использование кукермита в асфальтобетоне [2].

По данным Р. Амброса [2] до сих пор в качестве минерального порошка применялись следующие материалы:

1. Кварцевая мелочь
2. Шиферная мелочь
3. Кирпичный порошок
4. Гранитный порошок
5. Асбестовая пыль
6. Шлак
7. Известняковый порошок
8. Гашеная известь
9. Портланд-цемент
10. Доломитовая пыль
11. Отходы сжигания каменного угля
12. Асфальтовая порода.

Однако применение вышеназванных материалов в пределах нашей республики ограничено.

Целью настоящей работы является исследование возможностей применения сланцевого полукокса в качестве минерального порошка для асфальто-бетона.

В ходе настоящего исследования изучались следующие вопросы:

1. Физико-механические свойства полукокса и сравнение их со свойствами других материалов, применяемых в качестве минерального порошка.

2. Соответственность технических показателей сланцевого полукокса техническим требованиям, предъявляемым к минеральным порошкам (Технические правила устройства дорожных покрытий из асфальтобетона, применяемого в горячем состоянии, 1955 г. СОЮЗДОРНИИ).

3. Сравнение асфальтобетона, изготовленного на базе сланцевого полукокса, с другими асфальтобетонами на базе других минеральных порошков.

4. Техничко-экономические вопросы в связи с применением полукокса.

## 2. Физико-механические свойства сланцевого полукокса

Полукокс является отходом швелелования сланцевой породы при температуре  $500^{\circ}\text{C}$  и состоит, кроме остатков сланцевого масла, из двух минеральных компонентов — известняка и сланца. Соотношение этих частей в полукоксе, применяемом нами, было приблизительно 1:1. Известно, что известняк как заполнитель является весьма хорошим материалом. Наличие известняка в полукоксе повышает качества заполнителя и тем самым и прочность асфальтобетона на износ.

Данные о минералогическом составе сланцевого полукокса получены по результатам исследования, проведенного под руководством докт. техн. наук, проф. А. Аарна.

Минералогический состав различных минеральных порошков приводится в таблице 1.

Элементарный анализ органической части нижеследующий:

C	—	80,74%
H	—	5,26%
S	—	11,17%
O	— N — Q	— 2,83%

Важное значение при определении качества сцепления битума с минеральными материалами имеет наличие  $\text{SiO}_2$ .

Профессор Н. В. Окорочков считает, что содержание  $\text{SiO}_2$  непосредственно показывает гидрофильность породы. По его данным породы являются гидрофильными, если количество  $\text{SiO}_2$  в минералах составляет выше 66%; со средними гидрофильными свойствами, если количество  $\text{SiO}_2$  составляет 66—52% от общего веса, и гидрофильными, если количество  $\text{SiO}_2$  меньше 52%.

Как показывает минералогический анализ полукокса, последний является весьма гидрофильным, что способствует его хорошему сцеплению с битумом. Это подтверждается также результатами наших испытаний. Последние проводились как с нефтяным битумом, так и со сланцевым битумом по методу Ридель-Вебера и получили наивысшие показатели, т. е. 10 баллов. Испытания проводились как с промышленным полукоксом, так и с полукоксом, который был свободен от известняка. Испытания дали в обоих случаях хорошие результаты. (Данные приведены в протоколах).

Минералогический состав некоторых минеральных порошков

Таблица 1

№	Наименование	Солепрж H <sub>2</sub> O в %	Неправдо- стат. рпм. оста- ток	Потери при нагревании	Химический состав в %									
					SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	FeO + FeS	K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	
1.	Известняк . . . . .	0,10	2,76	42,20	2,10	0,40	0,85	52,43	1,05	0,54	—	—	—	—
2.	Известняк мергельный . . . . .	0,80	—	41,10	5,20	0,90	1,40	31,73	14,20	2,30	—	—	—	—
3.	Доломит . . . . .	0,75	—	45,30	1,20	0,30	0,40	51,73	1,20	0,58	—	—	—	—
4.	Зола угольная . . . . .	0,75	—	3,85	(51,40)	7,58	31,22	3,81	0,58	1,12	—	—	—	—
5.	Шлак . . . . .	0,05	—	0,10	33,80	1,40	24,60	38,48	3,60	1,10	—	—	—	—
6.	Песок кварцевый . . . . .	—	—	—	99,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.	Полукок сланцевый . . . . .	—	0,57	9,31	17,27	—	4,24	34,45	1,21	0,21	27,30	3,31	2,00	—
8.	Зола сланцевая I . . . . .	—	1,5	—	46,9	6,5	6,8	34,5	0,9	2,9	—	—	—	—
	Зола сланцевая II . . . . .	—	1,2	—	41,1	6,0	4,8	38,7	1,2	7,0	—	—	—	—

Свободной извести полукоккс не содержит, поэтому его набухание в воде не может быть значительным. По результатам испытаний видно, что набухание образцов асфальтобетона, изготовленных с полукокксом, равно 0,09.

По техническим условиям СОЮЗДОРНИИ 1948 года промышленные остатки, используемые в качестве минерального порошка, относятся к четвертому классу прочности. Предел прочности этих материалов на сжатие 600 кг/см<sup>2</sup>. В настоящее время в Советском Союзе в качестве минерального порошка употребляются также материалы, имеющие прочность на сжатие порядка 150 кг/см<sup>2</sup>. Это указывает на недооценку роли заполнителя в асфальтобетоне. Объемный и удельный веса полукоккса определены согласно техническим условиям (1). Результаты наших испытаний полукоккса приведены в таблице 2 вместе с данными исследований кандидата технических наук Ястребовой [5] и канд. техн. наук, доцента Амброса [2] по другим материалам.

Т а б л и ц а 2

№	Материал минерального порошка	Объемный вес г/см <sup>3</sup>	Удельный вес г/см <sup>3</sup>	Пористость %	Тонкость помола	Степень усадки
1	Известняк	1,61	2,69	40,0	0,67	1,32
2	Известняк минеральный	1,64	2,69	39,0	0,64	1,33
3	Известняк доломитный	1,73	2,83	38,6	0,62	—
4	Сажа каменноугольная	0,86	2,22	61,2	1,58	1,18
5	Шлак котельный	1,14	2,83	60,0	1,44	1,22
6	Кварцевый песок	1,41	2,56	46,0	0,81	1,29
7	Полукоккс	1,66	2,54	34,6	—	—
8	Зола сланцевая	1,23	2,75	56	—	—
9	Кукермит	1,04	2,64	62	—	—

Как видно из результатов испытаний, приведенных в таблице 2, пористость полукокса сравнительно малая. Из этого следует, что при использовании полукокса в качестве минерального порошка расход битума будет несколько меньше.

Гранулометрический состав полукокса определен ситовым анализом с промыванием. Результаты двух параллельных испытаний гранулометрического анализа приведены в следующей таблице (табл. 3). Для сравнения приведены результаты гранулометрического анализа других материалов (5), используемых в качестве минерального порошка. Поскольку тонкость помола минерального порошка имеет большое значение для обеспечения прочности асфальтобетона, то в технических условиях СОЮЗДОРНИИ 1955 г. приводятся разграничения пределов количественного состава различных фракций заполнителя.

Гранулометрический состав различных заполнителей

Т а б л и ц а 3

№	Наименование материала	Проходит через сито с диаметром отв. в %				
		1 мм	0,5 мм	0,25 мм	0,15 мм	0,074 мм
1	Известняк	99,34	92,40	86,93	—	68,0
2	—, — мергелевый	100	96,5	86,60	—	64,0
3	—, — доломитовый	100	98,62	87,44	—	66,00
4	Зола каменноугольная	100	99,76	98,38	—	89,35
5	Шлак котельный	100	100	100	—	93,0
6	Кварцевый песок I	99,71	99,27	99,06	—	94,80
7	Кварцевый песок II	100	99,9	71,2	10,3	4,4
8	Раздробленный известняк	100	99,98	96,74	90,64	80,13
9	Полукокс	100	99,98	96,35	91,22	80,02

Диаграмма просеивания шлака, полукокса и мергеля

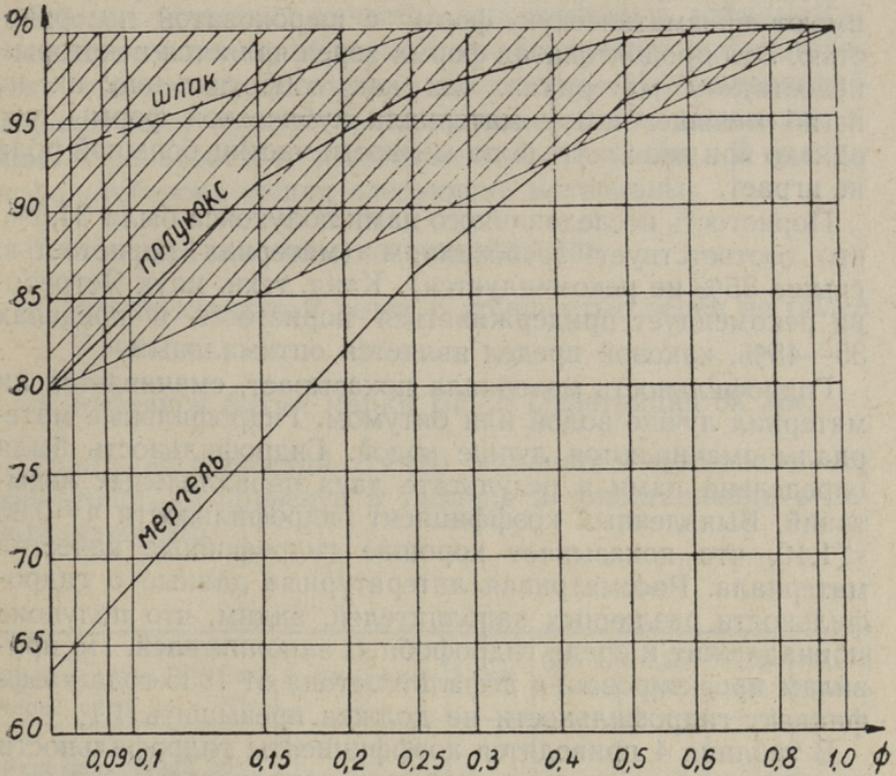


Рис. 1.

Технические условия предъявляют к гранулометрическому составу следующие требования:

Наименование	Пройдет через сетку Ø мм в процентах		
	1 мм	0,25 мм	0,074 мм
Нормы 1955 г. . . . .	100	90	70—80
Полукокс *) . . . . .	100	96,35	80,02

\*) Взято среднее двух параллельных определений.

Полукоккс при помоле раздробляется сравнительно легко и порошок имеет однородный гранулометрический состав. Изучение под микроскопом показывает, что зерна кокса имеют призматическую форму с шероховатой поверхностью. Эта продолговатая форма зерен является некоторым недостатком материала, так как сопротивление их на изгиб меньше, чем у материала кубической формы, что однако при заполнителе по мелкости частиц большой роли не играет.

Пористость исследованного нами полукоккса была 34,6%, что соответствует требованиям (материал пористостью свыше 35% не рекомендуется). Канд. техн. наук Ястребова рекомендует придерживаться пористости в пределах 35—45%, каковой предел является оптимальным.

Гидрофильность материала показывает, смачивается ли материал лучше водой или битумом. Гидрофильные материалы смачиваются лучше водой. Гидрофильность была определена нами в результате двух параллельных испытаний. Выявленный коэффициент гидрофильности  $\eta = 0,85 < 1,10$ , что показывает хорошие гидрофобные качества материала. Рассматривая литературные данные о гидрофильности различных заполнителей, видим, что полукоккс принадлежит к среде гидрофобных заполнителей. По правилам проектирования асфальтобетона от 1935 года коэффициент гидрофильности не должен превышать 1,1.

В таблице 4 приводятся коэффициенты гидрофильности различных материалов в качестве заполнителей.

Гидрофильность некоторых заполнителей

Таблица 4

№	Наименование	Коэффициент гидрофильности
1	Известняк . . . . .	0,78
2	„ мергелевый . . . . .	0,85
3	„ доломитовый . . . . .	1,01
4	Зола каменного угля . . . . .	0,84
5	Шлак . . . . .	0,86
6	Зола горючего сланца . . . . .	} в порошкообразном виде неопределимый
7	Кукермит . . . . .	
8	Полукоккс . . . . .	0,85

### 3. Качества асфальтобетона, изготовленного с применением полукокса

Для исследования качества заполнителя в асфальтобетоне изготавливались образцы мелкозернистого асфальтобетона смешением в горячем состоянии. Мелкозернистый асфальт дает лучшую картину о качествах заполнителя, чем асфальтобетон, изготовленный из щебня. В состав асфальтобетона вошли следующие материалы:

1. молотый полукокс как заполнитель,
2. крупнозернистый песок с крупностью зерен не более 5 мм,
3. нефтяной битум марки БН-2. Пенетрация 82 мм.

Гранулометрический состав каменного материала асфальтобетона приведен в таблице в сопоставлении с рекомендуемым.

Отверстие сита	5 мм	2 мм	1 мм	0,5 мм	0,25 мм	0,15 мм	0,074 мм
Проход через сито							
Рекомендуемый состав в процентах	100	62—80	43—67	29—55	20—45	14—37	10—30
Фактически примененный в %	100	78,4	43	31,5	29,3	27,8	24,2

В состав такого асфальтобетона входит песка 70% и заполнителя 30%. Обычное количество заполнителя в асфальтобетоне составляет 10—20%. Однако, большее количество заполнителя в данном случае поможет яснее выявить его качества. Если с увеличением количества заполнителя показатели сопротивления асфальтобетона ухудшаются, можно полагать, что данный минеральный материал не пригоден в качестве заполнителя из-за плохого сцепления или слабого сопротивления на сжатие. Так например, канд. техн. наук Л. Н. Ястребова [5] использо-

вала при опытах с асфальтобетоном мелких частиц (крупность меньше 0,074 мм) 20% по весу. Технические правила 1955 года рекомендуют сохранять количество мелких частиц в пределах 9—17%. В данном случае количество мелких частиц еще больше — 24,2%. Требуемое количество битума определили в ходе испытаний на основе показателей испытания асфальтобетона на сжатие, объемный вес, пористость, водонасыщение и пр. Исходным количеством битума при проектировании смеси асфальтобетона нами взято 8—11% по весу. Пробные образцы изготовлялись диаметром и высотой  $h = d = 5,05$  см. Агрегат, заполнитель, а также битум подогревали до 165°C. Смешивание производили в горячем состоянии. Уплотнение горячей смеси в форме производилось под давлением 300 кг/см<sup>2</sup> в протяжении 3 мин. В каждой серии изготовили 8 образцов. Для сформированных образцов определялись следующие показатели: удельный вес, объемный вес, пористость, водонасыщение, набухание, сопротивление на сжатие при температуре 20°C, 50°C, 0°C и при 20°C после водонасыщения (в вакууме 18 мм рт. ст.). Испытания дали для всех составов образцов положительные результаты, но оптимальное количество битума при подобранном составе асфальтобетона составляет 9% по весу. Поскольку битум марки БН-2 (пенетрация 82 мм) является наиболее применяемым в дорожном строительстве Эстонской ССР, то можно предполагать, что подобранный нами состав асфальтобетона будет соответствовать и производственным требованиям.

Испытание образцов на сжатие производилось при помощи 30 т гидравлического пресса. Результаты испытаний на сжатие выражены графически.

В нижеследующей таблице приводятся данные результатов испытания образцов Ø 5 см в сопоставлении их с нормативными техническими требованиями.

Полученные результаты не могут непосредственно сопоставлены с литературными данными, так как показателем качества асфальтобетона принято сопротивление его на сжатие, но последнее зависит от марки битума, свойств и состава каменного материала, а также от размеров испытываемых образцов. Поэтому приведенные в таблице 5 нормативные данные выражены в перерасчете, исходя из фактических размеров образцов.

Сопоставление полученных результатов с требованиями технических условий Таблица 5

Показатели физико-механических свойств	Правила					Результаты экспериментов			
	I	II	III	Полукок		Известняк битум 9% по весу	Угольный порошок битум 14% по весу		
				Количество битума, %	Показатель				
1	3	4	5	6	7	8	9		
1	Предел прочности на сжатие в кг/см <sup>2</sup> при 50°, не менее	10(13)	8(10,4)	6(7,8)	8	29,5	12,8	6,5	
					9	30,7			
					11	28,75			
					10	16,82			
2	То же, при 20°, не менее	25(32,5)	23(29,9)	21(27,3)	8	53,0	33,0	35,1	
					9	49,2			
					10	56,3			
					11	37,6			
3	При этом R <sub>20</sub> должно быть не более	3 <sub>50</sub>	3,5 <sub>50</sub>	4 <sub>50</sub>	8	1,82 <sub>50</sub>	2,58 <sub>50</sub>	5,4 <sub>50</sub>	
					9	1,65 <sub>50</sub>			
					10	2,06 <sub>50</sub>			
					11	2,24 <sub>50</sub>			
4	Предел прочности на сжатие после водонасыщения, не менее	0,9 <sub>20</sub>	0,85 <sub>20</sub>	0,8 <sub>20</sub>	8	0,98 <sub>20</sub>	0,98 <sub>20</sub>	1,0 <sub>20</sub>	
					9	1,0 <sub>20</sub>			
					10	0,93 <sub>20</sub>			
					11	0,92 <sub>20</sub>			

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Пористость %	3—5	3—5	3—5	8 9 10 11	3 2 1 0	—	—
6	Водонасыщенность в % по объему	1—3	1—3	1—3	8 9 10 11	1,84 1,48 0,76 0,28	—	—
7	Набухание в % не бо- лее	0,5	1,0	1,5	8 9 10 11	0,34 0,09 0,02 0,24	1,6	1,0
8	Предел прочности на сжатие при $R_0$ не бо- лее	120 (156)	120 (156)	130 (169)	8 9 10 11	79,12 72,8 93,12 66,87	—	—
9	При этом $R_0$ должно быть не более	2,5 <sub>20</sub>	2,5 <sub>20</sub>	3 <sub>20</sub>	8 9 10	1,5 <sub>20</sub> 2,37 <sub>20</sub> 3,25 <sub>20</sub> 4 <sub>20</sub>	—	—

Для пересчета применена формула Ястребовой [5], выражающая относительные показатели  $K_B$  и  $K_T$ :

Потеря прочности на сжатие в водонасыщенном состоянии образцов выражена нижеследующей формулой:

$$K_B \quad K_B = \frac{R_{20} - R_{20}^B}{R_{20}} \cdot 100\%$$

и потеря прочности от температуры:

$$K_T = \frac{R_{20} - R_{50}}{R_{20}} \cdot 100\%$$

Результаты отдельных экспериментов весьма различные, но, пользуясь коэффициентами  $K_T$  и  $K_B$ , можно их сопоставлять. Коэффициент теплоустойчивости асфальтобетона  $K$  зависит не только от количества битума в смеси и от его вязкости, но и от породы каменного материала и от сцепления его поверхности с битумом. Коэффициент водоустойчивости  $K_B$  зависит от сцепления поверхности каменного материала с битумом и от пористости образцов.

Как видно из таблицы 6, асфальтобетон, где в качестве минерального порошка применяется полукокс, является водоустойчивым и теплоустойчивым. Сравнивая с другими минеральными порошками видим, что показатели полукокса как минерального порошка более-менее средние. Но, как известно, у всех других минеральных порошков имеются свои слабые места (несоответственность нормам). У асфальтобетона, где в качестве минерального порошка применен полукокс, показатели очень равномерные. Из этого следует, что полукокс вполне пригоден в качестве минерального порошка.

Свободная таблица результатов испытаний различных смесей  
асфальтобетона

Т а б л и ц а 6

№	Состав смеси		Объем- ный вес	Водона- сыще- ние	Набуха- ние	Потеря прочности от темпер.	Потеря прочности от водона- сыщения
	Каменный материал	Вяжущее вещество					
1	Кварцевый песок 100%	Баку II 10%	1,75	14,6	0,5	7,2	37,5
2	„	Баку III 10%	1,74	13,7	0,1	32	34
3	Известняк 100%	Баку II 14%	2,2	0,2	0	54	5
4	„	Баку III 14%	2,2	0	0	раз- руш.	2
5	Угольный по- рошок	H-III 14%	2,11	1,0	—	82	0
6	Шлак	H-III 12%	2,25	0,8	—	79	2,5
7	Песок 70%	H-II 8%	2,265	1,84	0,34	44,4	1,32
8		„ 9%	2,255	1,48	0,09	37,5	0
9		„ 10%	2,270	0,76	0,02	51,5	1,58
10		„ 11%	2,245	0,29	(0,24)	55,0	1,33

Внешний вид картины разрушения образцов позволяет прийти к следующим выводам:

1) Предел прочности на сжатие при 0° остается в допустимых пределах. Разрушение не хрупкое, образец сохраняет первоначальную форму даже после предельной нагрузки.

2) При 20°С образец выдерживает нагрузку. При нарастании нагрузки разрушение нехрупкое. Деформация образца при этом равномерная и пропорциональна росту напряжения.

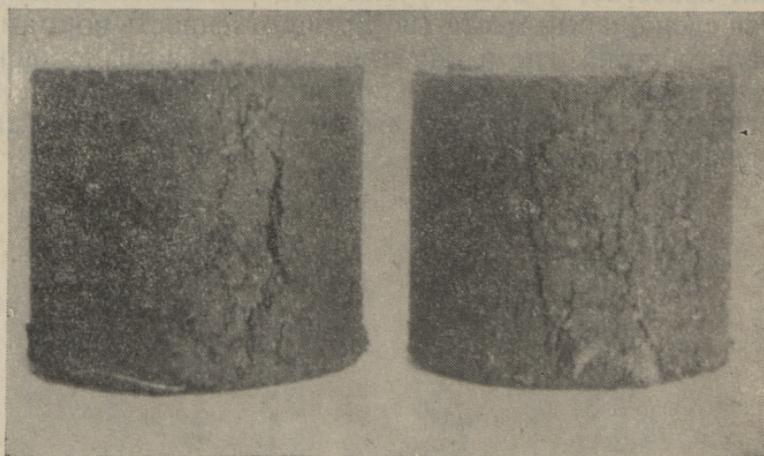


Рис. 2. Образцы из асфальтобетона, сжатые при 0°С.

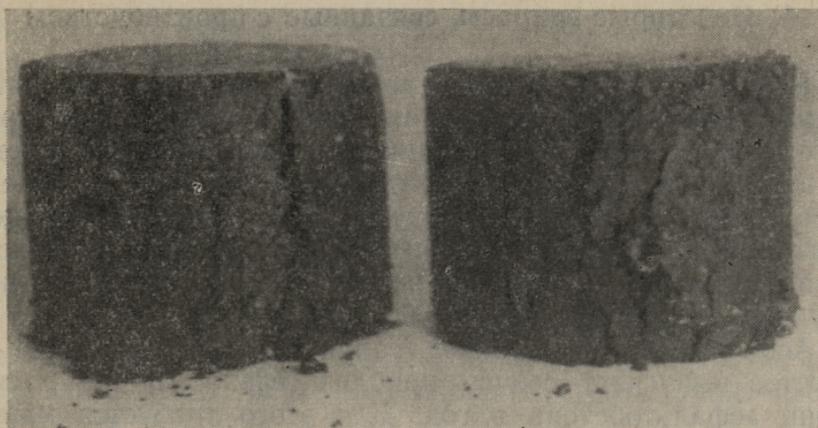


Рис. 3. Сжатие при 20°C

3) Разрушение образца при 50°C происходит частичным рассыпанием. Сердцевина образца сохраняет свою форму. Поверхность образца искривляется вогнуто под углом 70°.

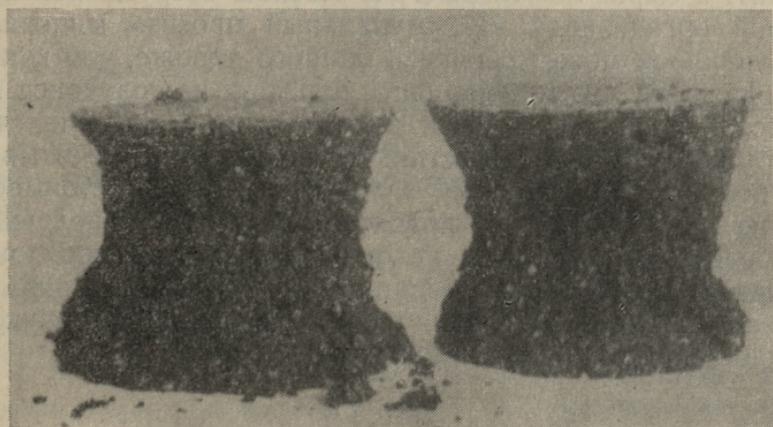


Рис. 4. Сжатие при 50°C.

В результате наблюдения образцов можно заключить, что асфальтобетонная смесь является достаточно плотной, имеет хорошее сцепление и некоторую пористость, какая необходима для окончательного уплотнения асфальтобетона в течение эксплуатации дороги.

#### 4. Некоторые вопросы, связанные с производством

В связи с проблемами комплексного использования сланца можно полагать, что изучение полукокса как строительного материала не ограничивается тем, что изложено в этом труде, но имеет значительно более распространенное значение. Следует отметить, что запасы полукокса для использования его в качестве минерального порошка неисчерпаемые. По мнению некоторых авторов запасы полукокса достигают до 300 000 тонн в год.

Асфальто-бетонный завод Таллинского Треста дорог и мостов выпускает сейчас приблизительно 10—20 тысяч тонн асфальтобетона в год. Для этого требуется минерального порошка 3000—4000 тонн в году. Кроме названного завода в Эстонской ССР имеется еще несколько асфальтобетонных заводов с такой же и меньшей производительностью. Но их общая потребность в минеральном порошке составляет лишь незначительную долю от общих запасов полукокса.

Стоимость минерального порошка, изготовленного из полукокса, невысокая, так как размол его требует мало затрат, а сырье бесплатное. По мнению сотрудников проектной организации «Коммунальный проект» минеральный порошок может обойтись немного дороже, чем кукуермит. Но ясно, что минеральный порошок из полукокса является по своей стоимости во много раз дешевле, чем портландцемент или известняковый порошок. Учитывая, что полукокс качественнее кукуермита, вопрос стоимости его не может оказаться препятствием при его внедрении. Особенно благоприятны условия применения полукокса в сланцевом бассейне. Созданный в последнем центральный завод для изготовления заполнителя на базе полукокса удовлетворил бы все нужды республики.

#### 5. Выводы

1) Химический и минералогический состав, а также физико-механические свойства полукокса весьма приемлемы для использования его в качестве минерального порошка в асфальтобетоне.

2) Минеральный порошок из полукокса соответствует всем требованиям, предъявляемым к минеральным порош-

кам; имеет хорошее сцепление с битумом, являясь материалом с гидрофобными свойствами.

3) Асфальтобетон, в состав которого входит минеральный порошок из полукокса, соответствует всем требованиям, предъявляемым к асфальтобетонам.

4) Сравнивая другие материалы, применяемые в качестве минерального порошка, можно заключить, что минеральный порошок из полукокса имеет стабильные показатели.

5) Результаты данного исследования необходимо до внедрения этого материала в широкое производство проверить в производственных условиях, путем строительства опытных участков.

6) Помол полукокса в порошок не должен представлять особых трудностей.

7) Исполнители настоящей работы считают своим долгом заявить, что объем проделанных работ не является исчерпывающим, исследования в этой области необходимо продолжить.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Технические правила устройства дорожных покрытий из асфальтобетона, применяемого в горячем состоянии. (НиТУ, 1955)

2. Канд. техн. наук Р. Амброс «Использование кукуермита в асфальтобетоне в качестве минерального порошка». Труды ТПИ, 34, 1950.

3. Канд. техн. наук Р. Амброс «Об исследовании влияния химических добавок на сцепление битума с каменными материалами». Труды ТПИ, 69, 1956.

4. Ф. Н. Ломаков «Опыт применения минеральных порошков из местных материалов в асфальтовом бетоне» (1952).

5. Исследование органических вяжущих материалов и физико-технических свойств асфальтовых смесей». Дориздат, 1949.

Студент III курса П. П. ХОРМА  
Научный руководитель асс. Х. Я.  
ТАММЕЯГИ.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОПОЛНЕНИЯ К ТЕСТЕРУ

Настоящий измерительный прибор в основном предназначен для радиотехнических измерений; его можно использовать вообще в случаях, где нужно измерить слабые токи и напряжения и сопротивления средних величин.

Основой идеи было конструировать универсальный измерительный прибор (тестер), который был бы свободен от некоторых существенных недостатков наших промышленных тестеров ТТ-1 и ТТ-2 и некоторых других типов.

Пределы измерения следующие:

Постоянный ток:

- 1) 0 — 100 *мк*а
- 2) 0 — 1 *м*а
- 3) 0 — 10 *м*а
- 4) 0 — 100 *м*а
- 5) 0 — 1 *а*

Максимальная погрешность в этих пределах не превышает  $\pm 0,5\%$ .

Постоянное напряжение:

- 1) 0 — 1 *в*
- 2) 0 — 10 *в*
- 3) 0 — 30 *в*
- 4) 0 — 100 *в*
- 5) 0 — 300 *в*
- 6) 0 — 1000 *в*

Максимальная погрешность в этих пределах не превышает  $\pm 0,5\%$ .

Внутреннее сопротивление 10 000 ом на 1 вольт.  
Измерение сопротивлений:

ом × 1	5 — 500 см
ом × 100	500 — 50 000 ом
ом × 10 000	50 кг — 5 мом

Максимальная погрешность не превышает 2%.

Переменное напряжение:

1) 1 в	внутреннее сопротивление	4720 ом	на 1 вольт
2) 10 в	„	4660	„
3) 30 в	„	4820	„
4) 100 в	„	4836	„
5) 300 в	„	4850	„
6) 1000 в	„	4880	„

Максимальная погрешность  $\pm 1\%$ .

Переменный ток:

- 1) 1 ма
- 2) 10 ма
- 3) 100 мс
- 4) 1 а

Максимальная погрешность  $\pm 1\%$ .

Эти, для тестера очень высокие качественные показатели можно было осуществить потому, что:

1) используется индикатор, максимальная основная погрешность которого — 0,2% (нелинейность шкалы; так как погрешность по всей шкале односторонняя, то, используя отклонения на 0,1% больше, получим погрешность  $\pm 0,1\%$ );

2) при измерении переменного тока и напряжения используется выпрямитель, выдержанный с 1942 г.

## Отдельные узлы

### 1. Индикатор

Индикатор типа М24 с первичным пределом измерения 100А и первичной погрешностью 1,0.

У наших тестеров является существенным недостатком надобность перерасчитания показаний, так как при различных пределах измерения пользуются одной шкалой.

Например у тестера ТТ-1 при пределах измерения 10; 20; 200 в непосредственно имеется шкала только для предела 50 в. При практической работе тестером это неудобно и требует много времени; возможность неправильного чтения показаний увеличивается. Для предотвращения этого автор для каждого типа пределов пользовался соответствующим типом шкалы. Типы пределом 30 и 100 избирались для предотвращения надобности перерасчитания.

Так как измерительные системы типа М24 изготавливаются со сравнительно короткой ножевидной стрелкой, длина которой недостаточна, если имеется большое число типов шкал (как и в настоящем случае), то необходимо было удалить фабричную стрелку и заменить ее новой. Кроме того у измерительных систем типа М24 стрелки очень мягки и после некоторого пользования (особенно при случайной перегрузке) искривляются. Была использована дуралюминиевая стрелка круглого сечения, которая достаточно эластична.

Можно пользоваться и стеклянными стрелками, — только они слишком легки. При использовании стеклянных стрелок пригодной толщины время затухания колебаний стрелки слишком коротко, — она останавливается почти моментально. Это увеличивает возможность погрешности при некачественных подшипниках или при случайном мусоре в подшипниках или между рамкой и магнитом. Этот серьезный недостаток у измерительных систем типа М24 можно видеть у ламповольтметров ВЛУ-2 и ВЛУ-2м, в которых система сильно шунтирована, вследствие чего стрелка успокаивается почти моментально.

Так как примененный экземпляр М-24 имеет индивидуальную шкалу, то и основная погрешность очень мала и не превышает — 0,2%. Используя чувствительность на 0,1% больше, получаем погрешность меньше  $\pm 0,1\%$ .

Желая пользоваться при амперметре универсальным шунтом, одновременно взяв предварительным условием, чтобы наименьшим пределом было бы 100 мкА, автор был вынужден увеличивать чувствительность системы, начальное значение которого было 100 мкА, настолько, чтобы чувствительность вместе с присоединенным универсальным шунтом была бы 100 мкА. Чувствительность без универсального шунта в данном случае 93,1 мкА.

Увеличение чувствительности было достигнуто, уменьшая рабочий угол стрелки. Общая длина шкалы при этом

сохранилась, так как конструкция измерителя позволила перенести шкалу несколько выше.

Ниже представлена фотокопия новой шкалы в том же масштабе, как на системе.

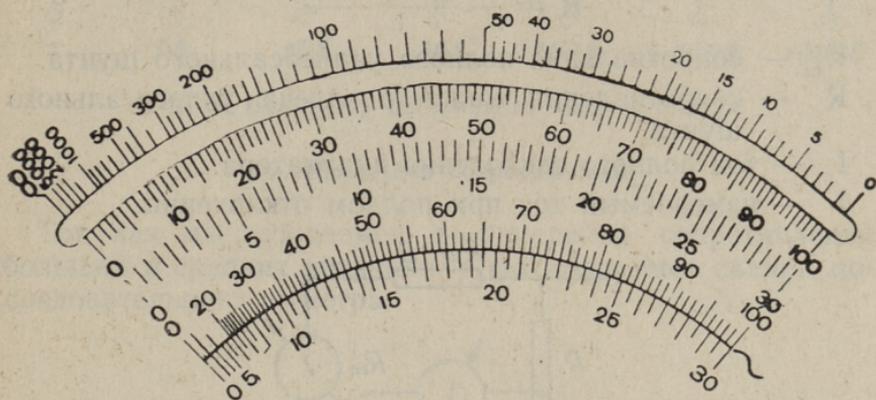


Рис. 1. Шкала тестера

## II. Измерение постоянного тока

Для измерения был использован универсальный шунт, преимуществами которого являются:

- 1) погрешность не зависит от сопротивления переходящего контактов переключателя пределов;
- 2) устранена опасность перегрузки индикатора при случайном нехорошем контакте выключателя.

Недостатком универсального шунта сравнительно с параллельным шунтом является увеличенное падение напря-

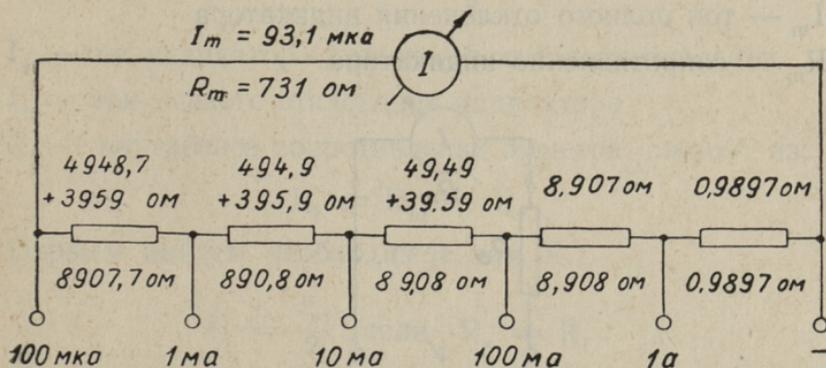


Рис. 2. Принципиальная схема шунта.

жения в амперметре. Но это при радиотехнических измерениях в большинстве случаев не мешает.

Теоретическое включение шунта и формула вычисления его

$$R = \frac{I_m(R_{ш} + R_m)}{I}$$

$R_{ш}$  — сопротивление полного универсального шунта.

$R$  — сопротивления нижнего плеча универсального шунта.

$I_m$  — ток полного отклонения индикатора.

$I$  — измеряемый ток при полном отклонении.

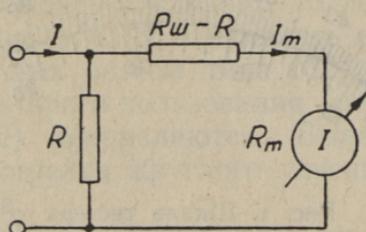


Рис. 3. Схема шунта в тестере

### III. Постоянное напряжение

Использовано последовательное включение предварительных сопротивлений и формула вычисления предварительного сопротивления:

$$R_e = \frac{V}{I_m} R_m$$

$V$  — измеряемое напряжение при полном отклонении

$R_e$  — предварительное сопротивление

$I_m$  — ток полного отклонения индикатора

$R_m$  — сопротивление индикатора

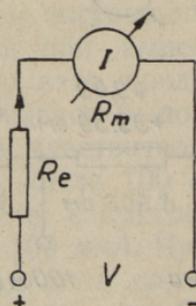


Рис. 4. Принципиальная схема вольтметра

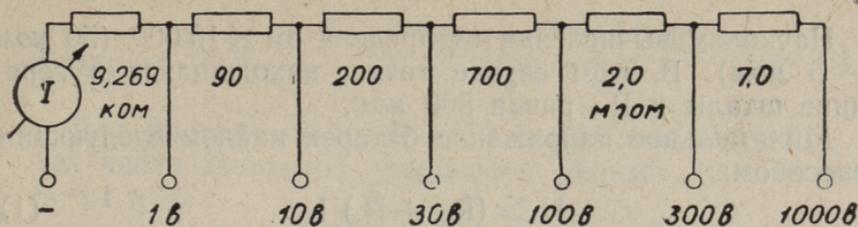


Рис. 5. Вольтметр постоянного тока в тестере

#### IV. Измерение сопротивлений

Так как мы нуждаемся в измерении сопротивлений больших и средних величин, то воспользуемся схемой последовательного омметра.

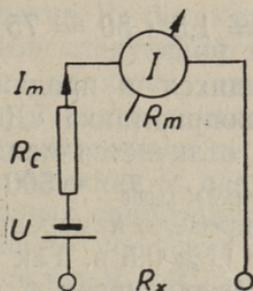


Рис. 6. Принципиальная схема омметра

Шкалу омметра вычисляем по следующей формуле:

$$\frac{I_x}{I_m} = \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_i}}$$

$I_x$  — ток индикатора при измерении сопротивления

$I_m$  — ток полного отклонения индикатора.

$R_i$  — внутреннее сопротивление омметра, состоит из:

$$R_i = R_m + R_e$$

Первым найдем необходимое нам  $R_i$ :

$$I_x = \frac{I_m}{2}, \text{ если } R_x = R_i$$

Значит точка, которая находится в середине шкалы, показывает внутреннее сопротивление омметра.

Начинаем вычисления от предела  $\text{ом} \times 10\,000$  (50 *ком* — 5 *мом*). В этом случае точка, находящаяся в середине шкалы и  $R_i$ , равна 500 *ком*.

Минимальное напряжение батареи найдем следующим способом:

$$U \geq (R_m + R_e) I_m \quad (1)$$

Считая наименьшим напряжением сухого элемента 1в, получим:

$$U \geq (R_m + R_e) I_m = 50.$$

Отсюда число элементов  $n = 50$ , и напряжение батареи в случае новых элементов

$$U = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ в}$$

Из батарей, имеющих в продаже, сюда подходит анодная батарея радиоприемника «Дорожный», ЭДС которой 78 в и которая отличается малыми размерами.

$R_e$  найдем так:  $R_{e\text{ом} \times 10000} = 500\,000 - 731 = 499\,269$  *ом*. Для следующего предела измерения  $\text{ом} \times 100$ ,  $R_i = 5\,000$  *ом*, напряжение  $U \geq 0,5$  в. Так как нет элементов с таким напряжением, увеличиваем в неравенстве (1) множитель  $I_m$  в 2 раза. Получим  $U \geq 1$  в, который соответствует одному элементу и  $I_{m\text{ом} \times 100} = 0,2$  *ма*.

Для шунтирования индикатора употребляем универсальный шунт, — тот, который употребляем при измерении постоянного тока, с выводом 0,2 *ма*.

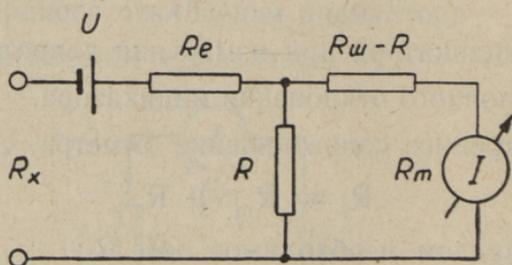


Рис. 7. Принципиальная схема омметра в тестере

$$R_{\text{ом} \times 100} = \frac{I_m (R_{\text{ш}} + R_m)}{I_{m\text{ом} \times 100}} = 4948,5_{\text{ом}}$$

$$R_{e_{OM \times 100}} = R_i - \frac{R_{ш} - (R_{OM \times 100} + R_m) R_{OM \times 100}}{R_{ш} + R_m} = 2315_{OM}$$

Для предела  $OM \times 1$   $R_i = 50$   $OM$   $U \geq I_m(R_m + R_e)$ , так как число элементов уменьшить нельзя; ( $n = 1$ ) тогда  $U = 1$  и

$$1 \geq I_m \cdot R_{e_{OM \times 1}}; I_{m_{OM \times 1}} = 20 \text{ МА}$$

$$R = \frac{I_m(R_{ш} + R_m)}{I_{m_{OM \times 1}}} = 49,497_{OM} \text{ и}$$

$$R_{e_{OM \times 1}} = R_i - \frac{(R_{ш} + R_{OM \times 1} + R_m)}{R_{ш} + R_m} = 0,82 \text{ OM}$$

Здесь сопротивления  $R_e$  были вычисленные, но в практике оправдывает себя следующий метод их определения. Преимуществом его является учитывание внутренних сопротивлений батарей, включаемых последовательно с  $R_e$ .

Так погрешность омметра в середине шкалы наименьшая, найдем сопротивления  $R_e$  следующим путем.

Изготовим 3 точных сопротивления, которые соответствуют серединам шкал пределов омметра. Это 500 000  $m$ , 5000  $om$  и 50  $om$ . Так как  $R_i > R_e$ , можем начальной величиной  $R_e$  взять  $R_i$ . Уменьшим эти сопротивления, пока получим на середине шкалы погрешность 0%. Желательно употреблять батарею напряжением 1,25 в на 1 элемент (не свежая батарея) реостат  $R_{шт}$  для уменьшения напряжения батареи до тех пор, пока напряжение на 1 элемент пре-взойдет 1 в.

$$R_{шт} \geq \frac{R \cdot R_{шю}}{R - R_{шю}}, \text{ причем } R_{шю} \equiv \frac{R \cdot R_{шт}}{R + R_{шт}}$$

Приравнивая первое неравенство и решая оба уравнения как систему, получим  $R_{шт} > 968$   $om$ .

Выберем  $R_{шт} = 3,3$   $ком$ .

#### V. Измерение переменного тока напряжения

Для выпрямления переменного тока выберем двухтактный выпрямитель, так как это позволяет увеличить внутреннее сопротивление вольтметра и уменьшить внутреннее сопротивление амперметра.

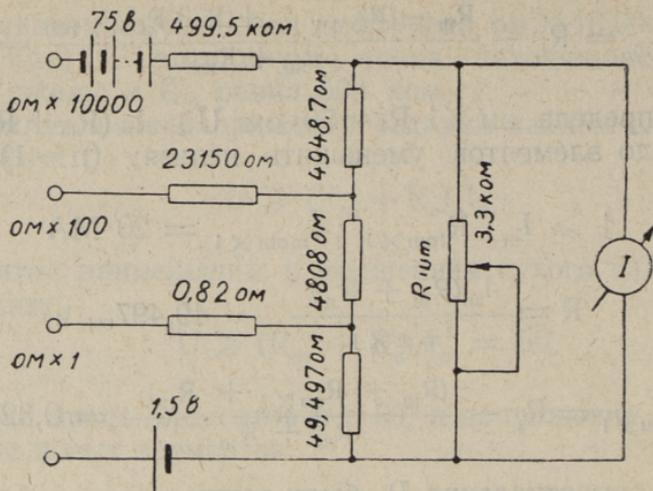


Рис. 8. Общая схема омметра

Большим недостатком является у наших промышленных тестеров несовпадение пределов на шкале при измерении малых и больших величин напряжения: при измерении малого напряжения деления в начале шкалы более сомкнуты, чем при измерении большого напряжения. Поэтому, например, невозможно совмещение шкал 1 в и 100 в, и поэтому мы не находим у промышленных тестеров предела меньше 7,5 в (ТТ-2). И даже измерение такого сравнительно большого напряжения можно осуществлять только при сравнительно большой погрешности: у ТТ-2 например  $\pm 4\%$ .

Это несовпадение вытекает из нелинейного характера выпрямления. Устранить это можно только тогда, когда, считая со стороны выпрямителя, сопротивление внешней цепи остается постоянным на любом пределе измерения.

Если на каждом пределе пользуемся одним предварительным сопротивлением, которые конечно в зависимости от предела неодинаковы, тогда и сопротивление внешней цепи изменяется. Но если мы включаем параллельно выпрямителю сопротивление с предположением, что равняется сопротивлению внешней цепи, то значит сумма сопротивлений предварительного сопротивления и нашего нового сопротивления остается неизменной на всех пределах (считаем, что сопротивление источника переменного тока ничтожно мало); тогда остается неизменным и

сопротивление, которое действует на выпрямитель и все пределы совпадают.

Единственным недостатком этого метода является то, что при изменении предела измерения необходимо переключать два сопротивления вместо одного.

Вольтметр конструируем по следующей схеме:

$U_1$  — измеряемое напряжение;

$I_1$  — ток вольтметра;

$I_2$  — ток выпрямителя вместе с индикатором;

$U_2$  — падение напряжения на выпрямителе при полном отклонении индикатора;

$Z''_v$  — предварительное сопротивление вольтметра;

$Z'_v$  — сопротивление, включаемое параллельно к выпрямителю вольтметра:

$$Z_2 = \frac{U_2}{I_2}$$

$U_2$  и  $I_2$  измеряются экспериментально.

При измерении  $I_2$  нужно учитывать, что он не синусоидальный (из-за реактивности выпрямителя):

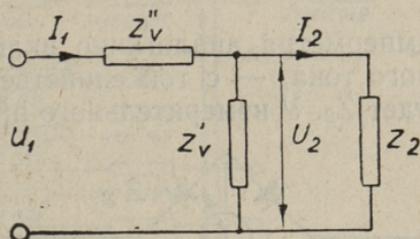


Рис. 9. Принцип измерения переменного напряжения

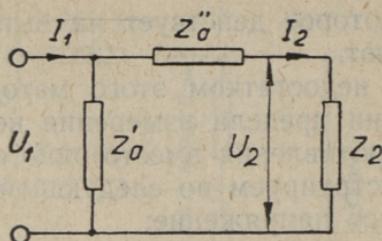
Формулы вычисления сопротивлений вольтметра:

$$Z'_v = Z_2 \frac{N}{N-2}; \quad Z''_v = Z_2 \frac{N}{2}$$

$$Z'_v + Z''_v \equiv Z_2 \frac{N_2}{2(N-2)}$$

$$N = \frac{U_1}{U_2}$$

Амперметр, как и амперметр постоянного тока, имеет универсальный шунт.



10. Принцип измерения переменного тока

$Z'_a$  и  $Z''_a$  части универсального шунта и они аналогичны  $R$  и  $(R_{ш}-R)$  у постоянного тока.

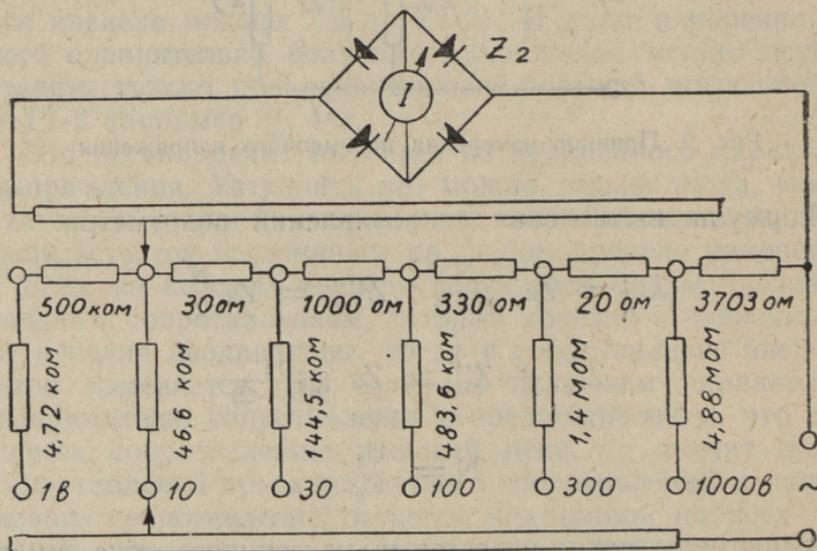
Остальные обозначения те же, что и у вольтметра.

Формулы для вычисления шунтов амперметра:

$$Z'_a = Z_2 \frac{2}{n}; \quad Z''_a = \frac{n-2}{n} Z_2$$

$$n = \frac{I_1}{I_2} \quad Z'_a = Z_2 - Z''_a$$

Включение амперметра аналогично включению амперметра постоянного тока, — с той единственной разницей, что вместо  $R$  будет  $Z_2$ . У измерительного прибора как еди-



11. Вольтметр переменного тока в тестере

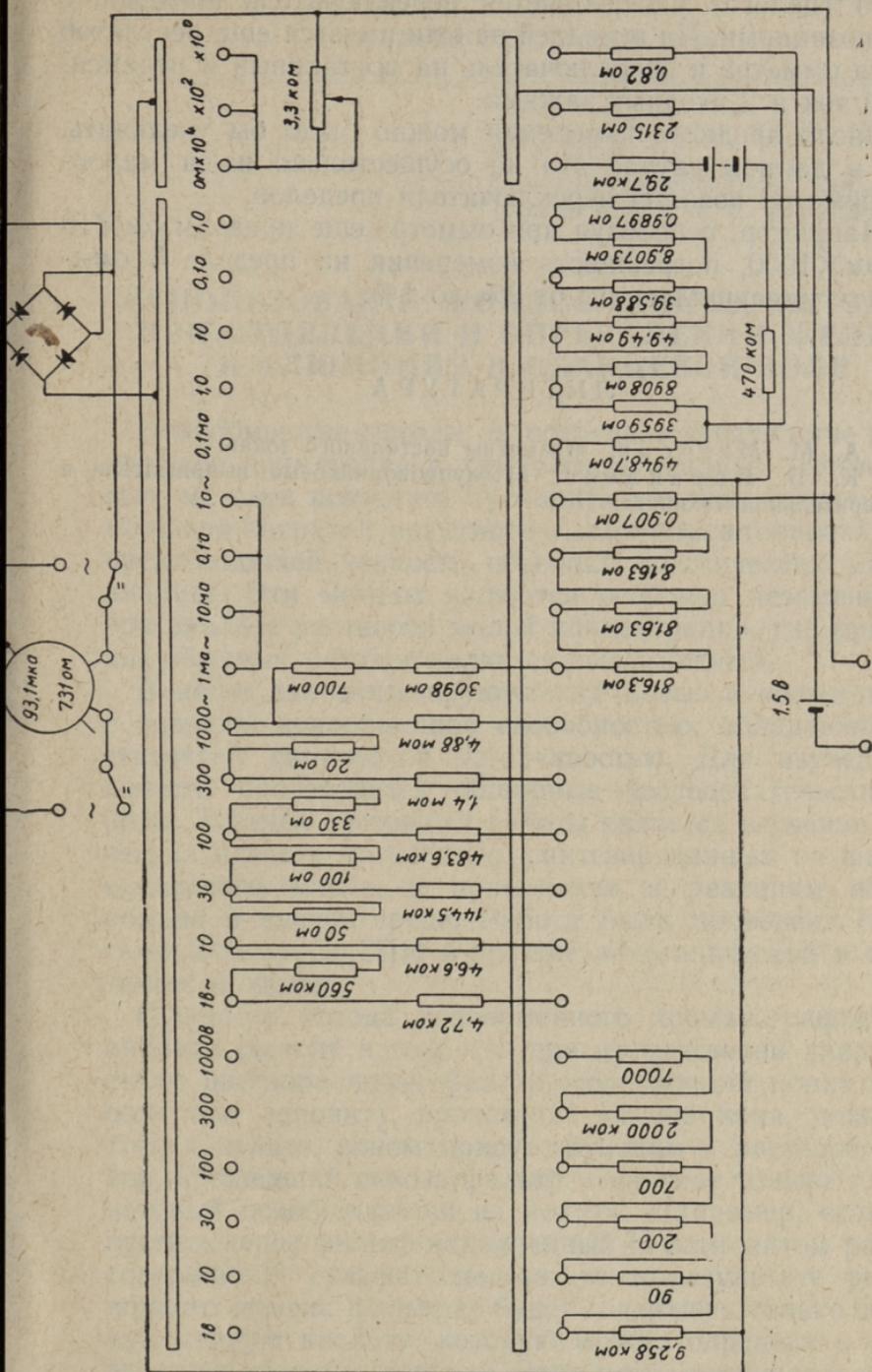


Рис. 12. Комплексная схема тестера.

ного (целого) употребляется переключатель пределов с 24 позициями. На передней панели имеется еще регулятор нуля омметра и переключатель на постоянный и переменный ток и 2 входных зажима.

Число пределов измерения можно было бы увеличить, но в данном случае это не осуществлено из-за малого количества позиций переключателя пределов.

Например, используя при омметре еще пределы  $ом \times 10$  и  $ом \times 1000$ , погрешность измерения на пределе  $5\text{ ом} \div 5\text{ мом}$  уменьшилась бы от 2% до 1%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Меерсон. «Омметры постоянного тока».
2. К. Б. Карандеев. «Полупроводниковые выпрямители в измерительной технике».

Студенты II курса Ю. М. КАНН и  
В. Е. МИЛЛИ.

Научный руководитель канд. техн.  
наук и. о. доц. Х. О. ВИЛЬБОК.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИОНООБМЕННЫХ МЕТОДОВ ПРИ ОТДЕЛЕНИИ И ОПРЕДЕЛЕНИИ ЖЕЛЕЗА И АЛЮМИНИЯ В СЛАНЦЕВОЙ ЗОЛЕ

Ионообменные методы за последнее десятилетие нашли широкое применение в химическом анализе. Применение этих методов позволяет проводить анализы быстро, с небольшой затратой реактивов и добиваться точности, часто превосходящей точность обычных классических методов анализа. Эти методы являются особенно незаменимыми при анализе растворов малой концентрации, где применение обычных методов является невозможным.

В наши дни синтезируются всё новые и новые иониты с большой ионообменной способностью, обладающие достаточной химической устойчивостью. Для изучения их качеств производятся обширные исследовательские работы. Задачей настоящей работы является изучение химических качеств катионитов, синтезированных из фенолов сланцевого масла, в применении к реакциям ионного обмена в кислой среде. Работа была проведена студентами 2-го курса ТПИ в кружке неорганической и аналитической химии.

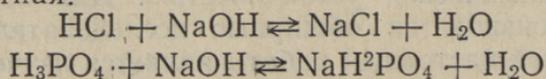
Сущность метода ионообменного хроматографического анализа состоит в том, что при прохождении анализируемого раствора через фильтр, содержащий ионит (катионит или анионит), происходит замена иона, находящегося в ионите, ионом присутствующим в растворе. Раствор, прошедший сквозь фильтр, содержит только тот ион, который освобождается из ионита. Например, если пропустить через фильтр наполненный Н-катионитом раствор, содержащий сульфат железа, то в результате реакции ионного обмена фильтрат будет содержать только свободную серную кислоту, которую можно определить объемным или весовым методом. Этот метод отличается просто-

той и легко осуществим при наличии как железа, так и других катионов. Следует иметь в виду также и то, что обычно при определении сульфата весовым путем в присутствии железа ошибка определения получается отрицательной.

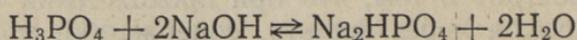
А. И. Коудии и В. М. Римани разработали метод для определения  $P_2O_5$  в фосфоритовых минералах. Согласно этому методу навеска минерала растворяется в концентрированной соляной кислоте, выпаривается досуха и выдерживается при  $110^\circ C$  для отделения кремнекислоты. Сухой остаток растворяется в разбавленной соляной кислоте и фильтруется через фильтр, наполненный Н-катионитом. Все катионы, находящиеся в минерале, заменяются ионом водорода, имеющимся в катионите, и в результате фильтрат содержит наряду с соляной кислотой фосфорную кислоту в количестве, соответствующем фосфатам.

Содержание  $P_2O_5$  определяется объемным методом следующим путем:

Часть фильтрата, прошедшего колонну (напр. 100 мл), титруется раствором едкого натра в присутствии бромкрезолзеленого индикатора ( $pH = 4,6$ ), при этом нейтрализуется соляная кислота и фосфорная кислота как одновалентная:



Другая часть фильтрата, прошедшая колонну (100 мл), титруется в присутствии смешанного индикатора, состоящего из фенолфталеина + метилкрасного ( $pH = 9$ ), причем нейтрализуется соляная кислота и фосфорная кислота как двухвалентная:



Содержание пятиоксида фосфора в минерале вычисляется, исходя из разности количества  $NaOH$ , затраченных при титрованиях.

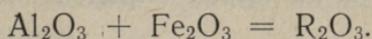
Определение осуществляется быстро, требует мало реактивов и весьма пригодно для производства серийных анализов. Например, при весовом определении  $P_2O_5$  в фосфоритах на каждое определение затрачивается примерно 17 грамм лимонной кислоты, молибдат аммония и другие

реактивы, которые при определении вышеописанным путем отпадают.

На кафедре неорганической и аналитической химии нашего института разработан метод определения сульфатов в сланцевой золе с помощью ионообменного хроматографического анализа [3]. Согласно этому методу навеска зола совместно с катионитом обрабатывается водою, причем в результате ионообменных реакций сама собой возникает кислая среда, необходимая для растворения сульфатов.

Одним из самых трудных определений в количественном анализе является отделение железа от алюминия.

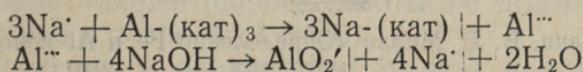
Обычно при анализе минералов (4) определяется сумма



Содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  определяется в отдельной пробе путем объемного анализа и содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  находится по разности между  $\text{R}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Результат может отличаться от истинного содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в минерале на величину двойной ошибки, возникающей при определении  $\text{R}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . В случае минералов, содержащих фосфорную кислоту, следует считаться с возможностью тройной ошибки. В этом случае обычно определяется сумма  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{P}_2\text{O}_5$ . Содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  определяется в отдельных пробах и содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  рассчитывается по разности.

Применение ионообменного хроматографического метода позволяет непосредственно определить как содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , так и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в минерале. Согласно методу, разработанному И. И. Лурье и Н. А. Филипповой [5], навеска минерала растворяется в соляной кислоте, кремневая кислота отделяется путем выпаривания досуха, остаток растворяется в слабой соляной кислоте и полученный раствор ( $\text{pH} = 2,2 - 2,3$ ) фильтруется через катионитовый фильтр ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$  или  $\text{NH}_4^+$  — катиониты). При этом ионы  $\text{Al}^{+++}$  и  $\text{Fe}^{+++}$  замещаются ионами  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$  или  $\text{NH}_4^+$ , имеющимися в катионите.

В дальнейшем ионы  $\text{Al}^{+++}$  выделяются из катионита с помощью 5% раствора  $\text{NaOH}$  согласно уравнениям:



В результате получается раствор, в котором алюминий присутствует в виде ионов алюмината. Раствор этот подкисляется соляной кислотой и затем осаждается аммиаком в виде гидроокиси  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и определяется после прокаливания в виде  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

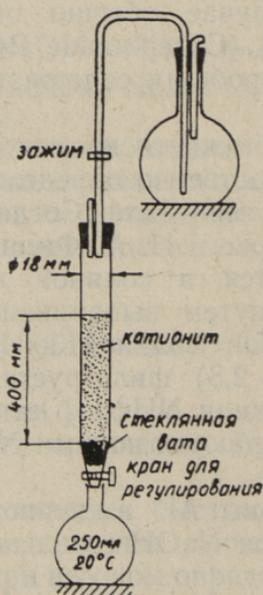
Для определения железа катионитовый фильтр промывается 6—7% раствором соляной кислоты и в полученном фильтрате железо определяется весовым путем, с помощью осаждения аммиаком в виде гидроокиси и взвешивания после прокаливания в виде  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

### Опытная часть работы

Задачей работы являлось определение Fe и Al в золе горючего сланца.

В качестве катионитов мы пользовались «эспатитом», уже ранее применявшемся для аналитических работ, а также катионитом, синтезированным из сланцевых фенолов.

Иониты перед применением обрабатывались в течение 8—10 часов 1% раствором соляной кислоты с целью набухания и очистки от железа. После этого они промыва-



Ю. М. Канн, В. Е. Милли «Определение Fe и Al ионообменным методом»

лись дистиллированной водой до нейтральной реакции по метилкрасному индикатору. Для выделения воздуха из пор ионита он обрабатывался с помощью вакуума, под водой. После этого ионит помещался в лабораторный фильтр, изображенный на рисунке 1.

Ввиду того, что относительно ионообменной способности катионита, синтезированного из сланцевых фенолов, и в отношении ионов алюминия и железа в кислой среде, данные отсутствовали, нам в первую очередь пришлось выяснить, при каком значении кислотности может еще происходить полный обмен ионов Н-катионита на ионы алюминия и железа. Для этого нами была проведена серия опытов со стандартными растворами, содержащими ионы алюминия и железа, причем варьировалась кислотность этих растворов.

Для опытов мы пипетировали 25 мл ~ 1 н раствора сернокислого алюминия, содержащего серную кислоту концентрацией 0,0368 н, и разбавляли его водою до 50 мл. Для повышения кислотности в дальнейшем до разбавления водою к раствору прибавлялось соответствующее количество серной кислоты.

50 мл полученного раствора, содержавшего 0,0224 г-эквивалента  $Al^{3+}$ , пропускалось через ионитовый фильтр со скоростью 5—6 мл в минуту, после чего фильтр промывался дистиллированной водой до нейтральной реакции по метилкрасному индикатору.

Из опытов выяснилось, что промывание можно считать законченным в том случае, если фильтрат + промывание воды вместе составляют 250 мл. В полученном фильтрате алюминий определялся весовым путем с помощью осаждения аммиаком в виде  $Al(OH)_3$  и взвешивался после прокаливания в виде  $Al_2O_3$ . Перед каждым следующим опытом фильтр регенерировался 10%-ой соляной кислотой и промывался дистиллированной водой. Аналогично проводились и опыты с растворами сернокислого железа, содержащими в 50 мл-ах 0,0071 г-экв.  $Fe^{2+}$ .

Результаты опытов приведены в таблицах 1 и 2, а также изображены графически на рисунках 2 и 3.

Из приведенных опытов следует, что катионит, синтезированный из сланцевых фенолов, можно применять в кислой среде. Концентрация кислоты не должна превышать 0,4 г-экв/л литре ( $pH \sim 0,5$ ).

Для отделения и определения железа и алюминия в

сланцевой золе с помощью ионообменной хроматографии мы пользовались следующей методикой.

К навеске золы  $\sim 0,5$  добавляли  $\sim 10$  мл концентрированной соляной кислоты и выпаривали на водяной бане досуха. Сухой остаток смачивался концентрированной соляной кислотой и снова выпаривался досуха. Сухой остаток смачивался  $0,5$  мл концентрированной соляной кислоты и растворялся в  $50$  мл воды. Отделенная кремнекислота отфильтровывалась с помощью бумажного фильтра. Фильтрат собирался непосредственно в ионообменный фильтр, через который он профильтровывался со скоростью  $\sim 10$  мл в минуту. После этого фильтр промывался дистиллированной водой до нейтральной реакции, на что требовалось  $\sim 150$  мл воды. В полученном растворе отсутствовали ионы как железа, так и алюминия, что указывает на их полную замену ионами водорода в катионите.

Затем через фильтр пропускалось  $150$  мл  $5\%$ -ного раствора едкого натра, после чего он промывался дистиллированной водой, причем общий объем раствора доводился до  $250$  мл. В полученном растворе определялось содержание алюминия. Для этого раствор подкислялся соляной кислотой и после этого алюминий осаждался аммиаком в виде гидроокиси, а затем взвешивался в виде  $Al_2O_3$ .

Для определения железа сквозь фильтр пропускали  $150$  мл  $10\%$  соляной кислоты и затем промывали водой до объема в  $250$  мл. В полученном фильтрате железо определялось весовым методом. Результаты опытов приведены в таблице 3. Из этих данных следует, что ионообменный хроматографический метод приводит к результатам, хорошо совпадающим с результатами, полученными обычным весовым методом, согласно которому  $Al_2O_3$  определяется по разности между суммой  $R_2O_3$  и  $Fe_2O_3$ .

Продолжительность анализа по сравнению с обычным методом оказывается большей, так как приходится затрачивать время на многократные замещения и промывания.

## Выводы

1. Результаты работы показывают, что катионит, синтезированный из сланцевых фенолов, можно применять для полного выделения ионов железа и алюминия из раствора при значениях рН не меньших  $0,5$ .

2. В работе дана методика для отделения и количественного определения железа и алюминия в золе горючего сланца.

3. Ионообменно-хроматографический метод для определения железа и алюминия не дает преимуществ в смысле затраты реактивов или экономии времени.

4. Вышеупомянутый метод пригоден для применения в случае анализов, требующих большой точности, так как косвенный метод определения приводит к большим ошибкам.

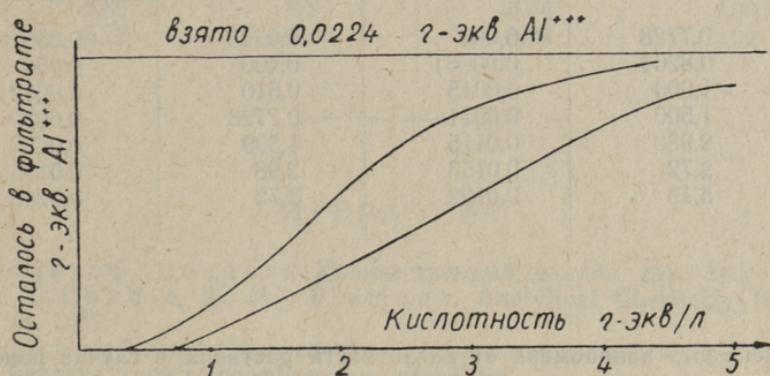


Рис. 2. Зависимость ионообмена от кислотности раствора в случае ионов алюминия.

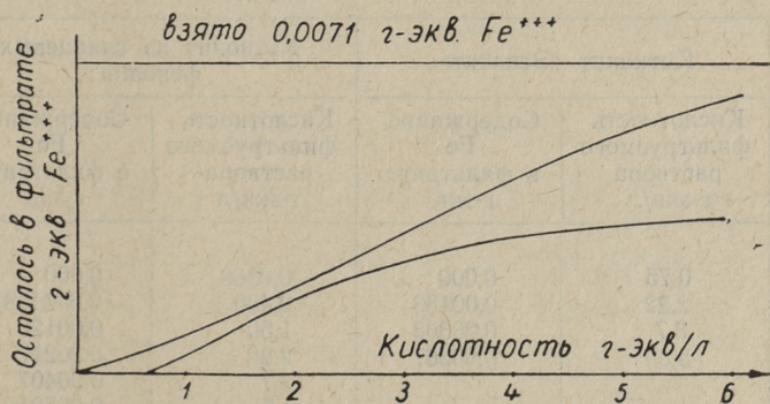


Рис. 3. Зависимость ионообмена от кислотности раствора в случае ионов железа.

Зависимость ионообмена от кислотности раствора в случае ионов алюминия в системе:

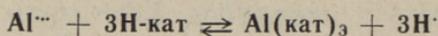


Таблица 1

Опыт №	Катионит «Эспатит»		Катионит из сланцевых фенолов	
	Кислотность фильтруемого раствора г-экв/л	Содержание Al <sup>+++</sup> в фильтрате г-экв	Кислотность фильтруемого раствора г-экв/л	Содержание Al <sup>+++</sup> в фильтрате г-экв
1	0,7728	0,000	0,0368	0,000
2	0,8264	0,00061	0,400	0,000
3	1,000	0,0015	0,510	0,0022
4	1,500	0,0031	0,7728	0,0039
5	2,980	0,0115	1,509	0,0073
6	3,72	0,0153	2,98	0,0185
7	5,19	0,0192	3,72	0,0208

Зависимость ионообмена от кислотности раствора в случае ионов железа в системе:

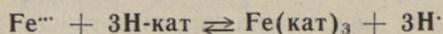


Таблица 2

Опыт №	Катионит «Эспатит»		Катионит из сланцевых фенолов	
	Кислотность фильтруемого раствора г-экв/л	Содержание Fe <sup>+++</sup> в фильтрате г-экв	Кислотность фильтруемого раствора г-экв/л	Содержание Fe <sup>+++</sup> в фильтрате г-экв
1	0,75	0,000	0,0368	0,000
2	2,22	0,00183	0,400	0,000198
3	3,7	0,00303	1,50	0,00126
4	5,89	0,00367	2,22	0,00217
5			3,7	0,00407
6			4,5	0,00501

Опытные данные, относящиеся к определению железа и алюминия в сланцевой золе с помощью ионообменного-хроматографического метода

Таблица 3

Опыт №	Получено весовым методом % %		Получено ионообменным методом % %	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	5,88	6,92	5,80	6,81
2	5,83	6,97	5,74	7,00
3	5,78	7,02	5,83	6,92

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кольтоф, Сендель. Количественный анализ, стр. 345.
2. A. I. Coudie, W. M. Riemanп. Analytical Chemistry 1952, lk. 1067.
3. X. Вильбок. «Определение сульфатов в золе сланца ионообменным хроматографическим методом».
4. Кольтоф, Сендель. Количественный анализ, стр. 764.
5. И. И. Лурье, Н. А. Филиппова. Зав. лаб. 1948 г., стр. 159.

Студенты IV курса строительного факультета В. К. НУТТ и Г. А. САМУЕЛ  
Научный руководитель канд. техн. наук О. А. ВАХЕЛАЙД

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ УДОБОУКЛАДЫВАЕМОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ

### 1. Введение

Бетон — один из самых распространенных материалов в строительной промышленности. Как к всем материалам, так и к бетону предъявляются трех родов требования:

а) конструктивные (прочность, нестираемость, водонепроницаемость, соблюдение формы и размеров изделий, качество поверхности и т. д.).

б) технологические (простота изготовления, неизменяемость состава на транспорте, удобоукладываемость и т. д.).

в) экономические (удовлетворение вышеуказанных требований с минимальным расходом материалов и раб-силы). Экономичность бетонов в большой степени определяется расходом цемента на  $1 \text{ м}^3$  бетона.

### 2. Содержание работы

Были сравнены удобоукладываемости серии жестких (дающих осадку конуса менее  $1,0 \text{ см}$ ) бетонных смесей с содержанием цемента  $\text{Ц} = 300 \text{ кг/м}^3$  и  $\text{Ц} = 350 \text{ кг/м}^3$  с двумя водоцементными отпотениями:  $\frac{\text{В}}{\text{Ц}} = 0,45$  и  $\frac{\text{В}}{\text{Ц}} = 0,55$ , при условии приблизительной неизменяемости конструктивных и экономических показателей, в зависимости от изменения коэффициента избытка раствора в бетоне  $K_{\text{изб}}$ .

### 3. Материалы и методика испытаний

Испытываемые бетоны были приготовлены на лабораторной бетономешалке принудительного перемешивания с вертикальной осью вращения. Было приготовлено четыре серии бетонов. В каждой серии водоцементное отношение и расход цемента на  $1 \text{ м}^3$  бетона — постоянные. Все серии начинали с приготовления бетона  $K_{изб} = 1,05$ . Последующие бетоны серии ( $K_{изб} = 1,1 \div 1,7$ ) готовились путем добавки воды, цемента и песка к первоначальному бетону и дополнительным перемешиванием.

Удобоукладываемость бетонных смесей была определена для каждой серии в отрезке времени от 10 мин. до 70 мин. с момента затворения первого бетона серии. Для предотвращения испарения влаги применялась влажная тряпка для покрытия бетонной смеси и дна мешалки во время технологических перерывов. Относительная влажность помещения — 75%; температура помещения —  $+ 12^\circ$ .

Удобоукладываемость определялась техническим вискозиметром (ГОСТ — 6901—54) на виброплощадке с амплитудой 0,45 мм и частотой колебаний 3000 колебаний в минуту.

Чтобы иметь возможность оценивать качества неудобоукладываемых бетонных смесей, было определено время достижения в кольце двух промежуточных уравниений: 12 мм выше нулевой отметки и 23 мм выше нулевой отметки.

Состояние бетонной смеси после вибрирования оценивалось на глаз и описывалось.

### 4. Материалы

1. Известняковый щебень  $\varnothing 10\text{—}20 \text{ мм}$ , пустотность = 0,458.
2. Кварцевый песок карьера «Мяннику», Таллин.
3. Портландцемент завода «Пунане Кунда» марки «400».

## 5. Сущность понятия удобоукладываемости

Удобоукладываемостью (жесткостью) бетонной смеси называется время в секундах, в течение которого стандартный бетонный усеченный конус, поставленный в стандартный вискозиметр, под действием вибрирования вискозиметра на стандартном вибростоле превратится в равновеликий цилиндр.

Описание вискозиметра и методики пользования им изложено в ГОСТ 6901—54.

Ход определения удобоукладываемости изображен на рис. 1.

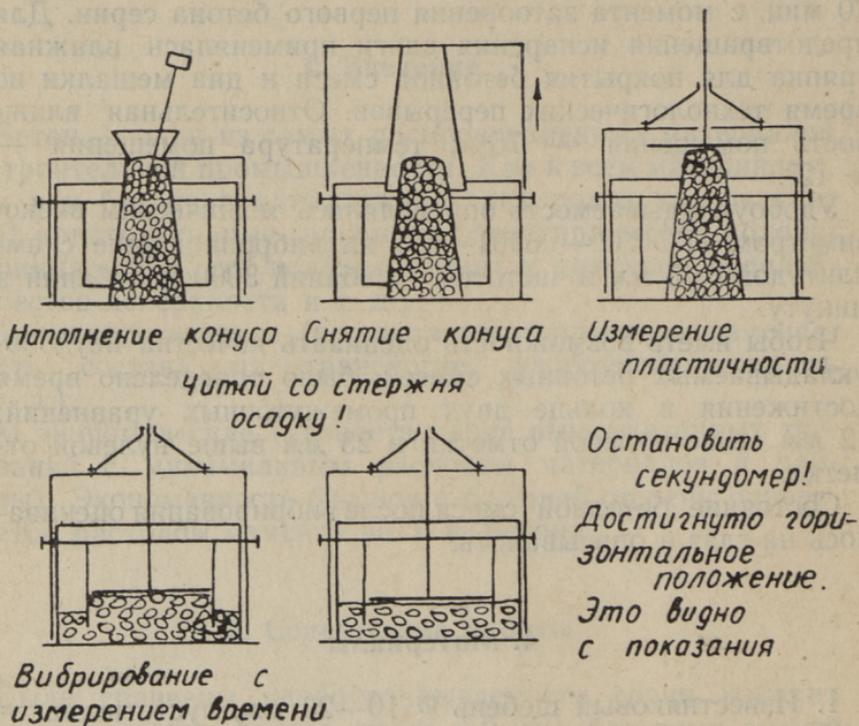


Рис. 1.

Применение стандартного вискозиметра позволяет сравнивать удобоукладываемость бетонных приготовленных в разных местах в разное время.

Остановимся на техническом смысле удобоукладываемости.

При укладке бетона в опалубку монолитных конструкций или при изготовлении бетонных изделий мы применяем формы различной конфигурации, в которых располагаются арматура, пробки, пуансоны, закладные части, трубы и т. д. Для приготовления изделий или конструкций укладываем в формы свежеприготовленную бетонную смесь и уплотняем ее. При этом требуется, чтобы бетонная смесь под действием уплотнения: 1) двигалась во все пространства формы, преодолевая препятствия, созданные конфигурацией формы и предметами внутри формы; 2) вытеснила воздух из этого пространства и всех его частей; 3) образовала гладкие поверхности с опалубкой; 4) не расслаивалась; 5) свободная поверхность бетона была бы легко сглаживаемая.

Технический вискозиметр представляет частный случай такой формы. Он имеет определенную поверхность «опалубки» с определенной формой, количеством граней, определенную свободную поверхность бетона, толщину «де-

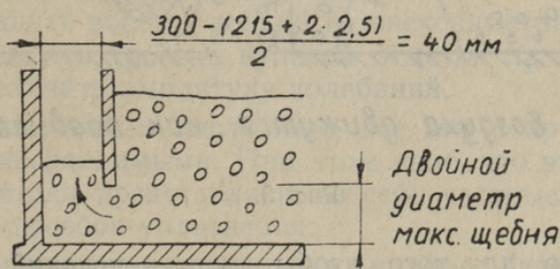
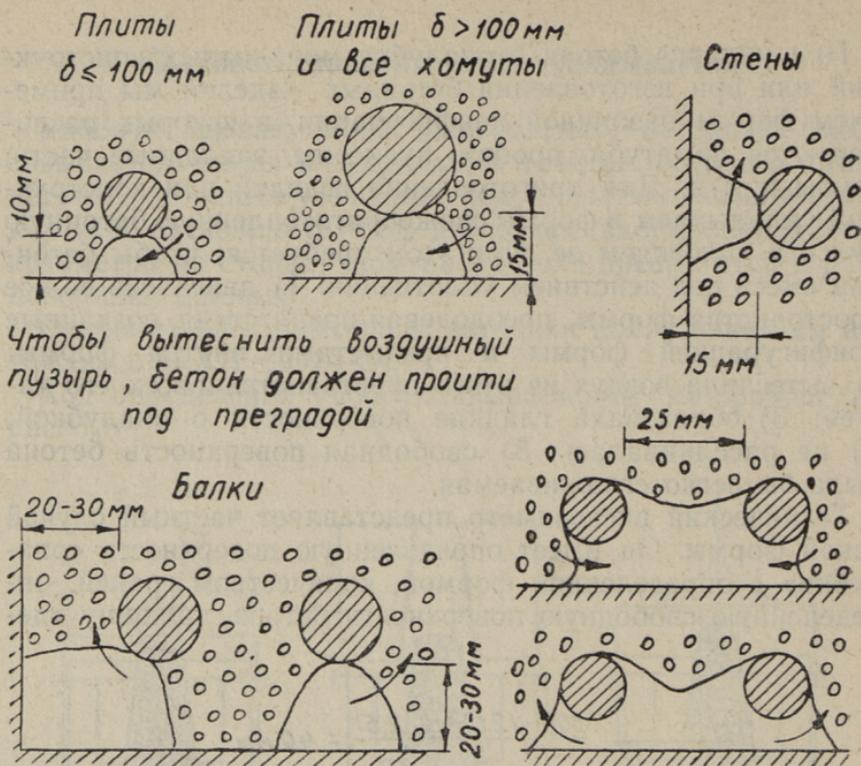


Рис. 2.

тали» и одно стандартное препятствие. Как видно по рис. 2, бетон должен протекать под влиянием собственного веса через 2 зазора, из которых первый расположен горизонтально и образован над плоским дном сосуда и острым краем кольца. Размер зазора — два диаметра максимального зерна. Другой зазор вертикален, образован двумя параллельными цилиндрическими поверхностями и с постоянной шириной 40 мм.

Для сравнения препятствий вискозиметра с препятствиями, встречающимися в конструкциях, на рис. 3 изображены некоторые минимальные зазоры согласно НИТУ 123—55.



Чтобы вытеснить воздушный пузырь, бетон должен пройти под преградой

Пузырьки воздуха движутся, как правило, вверх

Рис. 3.

Как видно, для того, чтобы достичь условий уплотнения в вискозиметре, в строительной промышленности следовало бы применять, в зависимости от конструкции, щебень с максимальным размером зерна от 5 до 15 мм. Кроме этого, бетонная смесь должна быть уложена достаточно тонкими слоями, чтобы воздушные пузыри могли бы выйти.

Из вышеизложенного явно, что препятствие в вискозиметре весьма скромно по сравнению с препятствиями, преодоляемыми бетоном в производственных условиях.

Из этого следует, что время вибрации на вибростолах, как правило, должно быть больше удобоукладываемости (для железобетона). Данные об удобоукладываемости могут служить лишь приближенными исходными данными для непосредственного определения времени вибрации в производственных условиях.

Разумеется, при применении других способов уплотнения (другая частота и амплитуда колебаний, виброрейки, внутренние вибраторы, поверхностные вибраторы, трамбование) удобоукладываемость дает весьма туманное, а возможно и неправильное представление о необходимой степени уплотнений (У 110—56).

Применение вискозиметра вызвало целый ряд возражений. Самым существенным из них является факт, что при некоторых бетонных смесях удобоукладываемость получалась бесконечно большой, т. е. в кольце образовался порог, не изменяющий своего уровня.

Это явление старались обойти различными путями:

а) ГОСТ 6901—54 дает упрощенный метод определения удобоукладываемости (Бетонный конус вставляют в форму куба  $200 \times 200 \times 200$  мм и определяют время вибрации, в течение которого поверхность бетона займет горизонтальное положение).

б) Применять пригрузку, которая устанавливается на диск штанги вискозиметра.

Другие (неофициальные) советы:

в) удалить вообще кольцо из вискозиметра,

г) повысить уровень нулевой отметки на стержне,

д) увеличить амплитуду колебаний.

За исключением последнего, все эти поправки делают данные несравнимыми. При этом явно, что эти видоизменения метода представляют из себя частные случаи различных способов уплотнения:

уплотнения неармированных бетонных изделий,  
бетонирование с вибрацией с пригрузом, и т. д.

Кажется, что самое верное решение этого вопроса дает кандидат техн. наук И. М. Френкель («Строительная промышленность» № 6, 1957 г.).

Френкель утверждает, что образование порога в вискозиметре указывает на потерю бетонной смесью текучести (пластичности) в состоянии вибрации и является ее недостатком; бетонная смесь является удобоукладываемой (по отношению к определенному виду формы и виду уплотнения).

Френкель рассуждает так: для того, чтобы бетонная смесь могла течь из одного сосуда в другой, она должна иметь текучесть (пластичность) под воздействием вибрации.

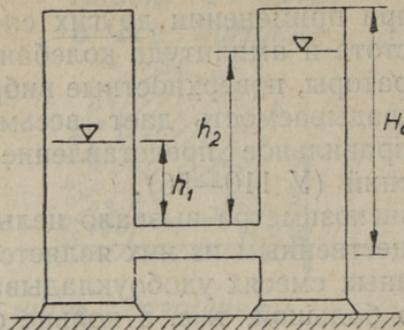


Рис. 4.

Френкель рассматривает два сосуда равных диаметров, соединенных между собою (рис. 4). Один из сосудов заполнен на высоту  $H_0$  вязкой жидкостью с коэффициентом вязкости  $\eta$  и удельным весом  $\gamma$ .

Скорость течения может быть представлена дифференциальным уравнением

$$\frac{dh}{dt} = -k \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \gamma (h - h_1) \quad (1)$$

решение которого дает

$$t = -2k \frac{\eta \left( \frac{2h - H_0}{H_0} \right)}{\gamma}, \quad (2)$$

при помощи формулы (2) ход изменения уровня жидкости в сосуде может быть легко изображен графически (рис. 5).

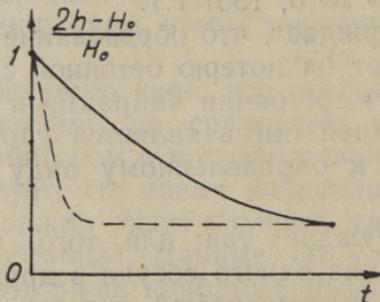


Рис. 5.

В техническом вискозиметре происходит аналогичное течение, отличны лишь размеры сосудов; в случае пластичности вибрируемой смеси ход понижения уровня должен быть аналогичен.

В противном случае ход понижения уровня показан пунктиром (рис. 5).

В произведенных нами опытах мы, придерживаясь формулировки Френкеля, разделили все подопытные бетоны на удобоукладываемые и неудобоукладываемые. При этом признаком неудобоукладываемости считалось отсутствие прироста понижения уровня более 1 мм за 30 секунд вибрации, что совпадает со свойством графика Френкеля (пунктир).

## 6. О предпосылке равной прочности

В нижеизложенных опытах сравнивается удобоукладываемость бетонных смесей, имеющих один и тот же расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона и одно и то же водоцементное отношение.

Проф. Малюга и проф. Беляев доказали экспериментально, что при одном и том же способе уплотнения прочность бетона зависит только от водоцементного отношения и марки цемента. Эти выводы были сделаны ими как для пластичных бетонов (с весьма большим избытком раствора), так и для некоторых жестких бетонов. Надо отметить, что нижеизложенные опыты не могли (ввиду многократного увеличения объема опытов и потребных материалов) проверить это предположение. Справедливость этого утверждения, по нашему мнению, должна быть или проверена или опровергнута на основе весьма большого числа опытов, либо проверяться при каждом случае проектирования бетонов как и при обычном проектировании бетонов.

В дальнейшем мы условимся говорить об условной и приблизительной равной прочности.

## 7. Результаты опытов

1. В зависимости от избытка раствора в бетоне бетоны разделялись на удобоукладываемые и неудобоукладываемые (рис. 6).

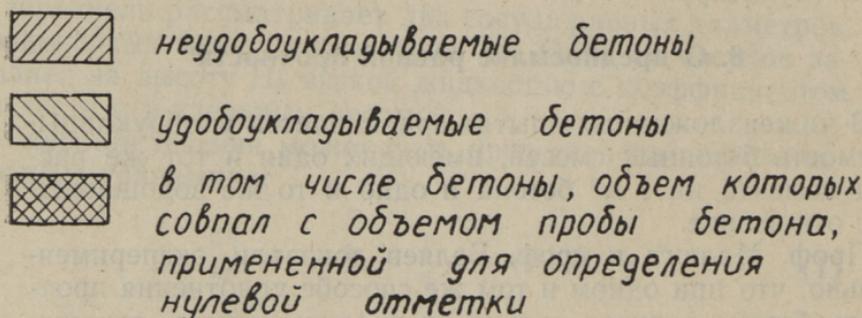
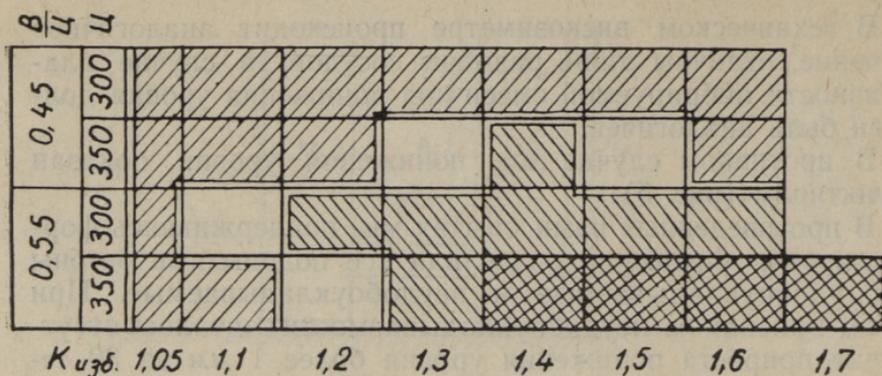


Рис. 6.

2. Следует отметить, что и при удобокладываемых бетонных смесях имелся после вибрирования порог между кольцом и остальной поверхностью.

Это указывает, что объем стандартного конуса не был полностью заполнен (в связи с различной уплотняемостью бетонов штыкованием). Следовательно, данные, получаемые на вискозиметре, приближительны и зависят от уплотняемости другим видом уплотнения — штыкованием. Эта неточность может быть устранена путем весового дозирования или путем объемного дозирования после вибрации, как и указано в У 110—56.

3. С прилагаемого графика (рис. 7) видно, что при данных опытах удобокладываемость бетонов имела минимум в зависимости от избытка раствора. При поступлении от минимума в сторону удобокладываемость бетонной смеси повышалась, а в ряде случаев бетонная смесь превращалась в неудобокладываемую.

Для изучения поведения неудобокладываемых бетон-

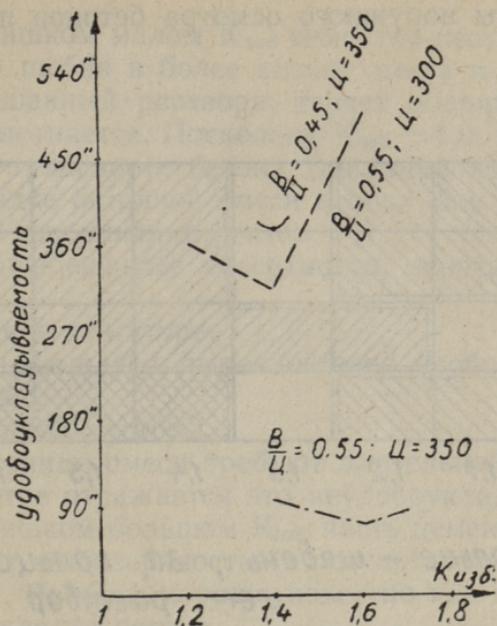


Рис. 7.

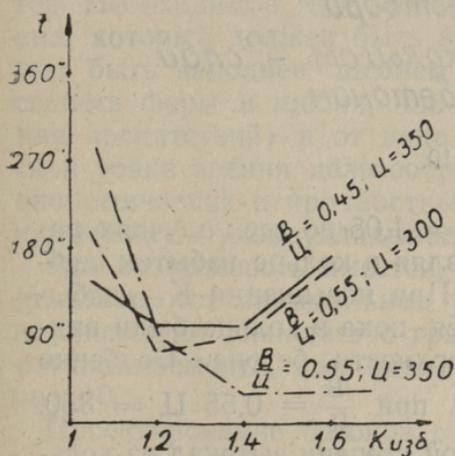


Рис. 8.

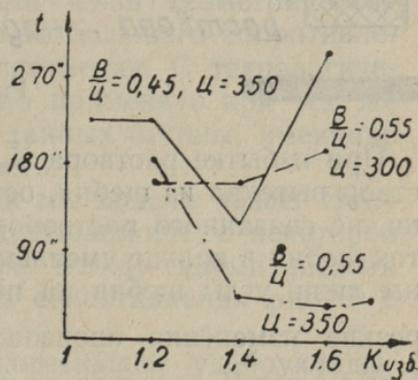


Рис. 9.

ных смесей были засечены два промежуточных уровня бетона в кольце 13 мм выше ноля (рис. 8) и 23 мм выше ноля (рис. 9). Как видно из рис. 8 и рис. 9, при промежуточных значениях уровня бетонной смеси в вискозиметре также наблюдался минимум удобоукладываемости.

Результаты наружного осмотра бетонов приведены на рис. 10.



Рис. 10.

При избытке раствора  $K_{изб} = 1,05$  во всех случаях раствор вытекал из щебня, оставляя в кольце избыток щебня, не связанного раствором. При повышении  $K_{изб}$  избыток щебня в кольце уменьшался, пока в кольце были видны лишь углы щебня на поверхности бетона. Особенно резкие изменения произошли при  $\frac{B}{C} = 0,55$  Ц = 350. При малых  $K_{изб}$  раствор до такой степени вытекал из кольца, что обнажалась поверхность зерен щебня в кольце (можно было различить цвет известнякового камня). Но уже при  $K_{изб} = 1,4$  слой раствора покрывал поверхность бетонной смеси как в кольце, так и вне кольца. При более высоких  $K_{изб}$  этот слой увеличивался.

На наш взгляд мы имели дело с двумя видами расслаивания бетона:

а) при слишком малом  $K_{изб}$  цементно-песчаный раствор вытекает из щебня в более низкие места и за преграды. Щебень, лишенный раствора, теряет подвижность и поэтому не уплотняется. Поскольку  $K_{изб} > 1,0$ , то явление не опасно при транспорте бетона (раствору некуда убыть), но при укладке бетонной смеси в опалубку это вызывает ряд хорошо известных дефектов:

1. Крупнощебенчатые поверхности, особенно по бокам форм.

2. Оголенная арматура.

3. Не поддающаяся выравниванию свободная поверхность бетона.

4. Внутренние пустоты.

Такие бетонные смеси требуют длительной вибрации, а в вискозиметре отражается это неудобоукладываемостью.

б) при слишком большом  $K_{изб}$  часть цементного раствора всплывает на поверхность (в результате ударов, вибрации и т. д.). Явление хорошо известно как в транспорте, так и при укладке бетона.

Следовательно минимальное  $K_{изб}$  необходимо для уплотнения выбранным образом и предотвращения дефектов. Необходимое  $K_{изб}$  зависит от свойств форм (от объема, который должен быть заполнен раствором и не может быть заполнен щебнем или из-за геометрических свойств форм и щебня, или из-за большого сопротивления препятствий) и от вида уплотнения. С технологической точки зрения целесообразно применять при тех же экономических и прочностных данных бетоны, имеющие наименьшую удобоукладываемость.

Эта возможность имеется, как мы видели выше. Надо отметить, что минимальная укладываемость с некоторой неточностью совпадает с гранью между двумя видами расслаиваемости, как видно из сопоставления рис. 7 с рис. 10.

Проектирование бетонов с наименьшей удобоукладываемостью легко осуществимо. Авторы затратили на 4 серии, всего 28 бетонов, лишь 8 часов, за исключением вычислений и подготовки материалов. Проверка понижения прочности обязательна.

## Выводы

1. Бетоны могут быть в зависимости от избытка раствора в бетоне удобоукладываемые и неудобоукладываемые, применительно к определенному виду формы и уплотнения.

2. При средних значениях расхода цемента ( $\frac{Ц}{В} = 300 - 350 \text{ кг/м}^3$ ) и водоцементных отношениях  $\frac{В}{Ц} = 0,45 - 0,55$  бетоны имеют при равном водоцементном отношении и равном расходе цемента на  $1 \text{ м}^3$  бетона минимум времени удобоукладываемости.

3. Целесообразно и возможно проектирование бетонов с минимальным временем удобоукладываемости при неизменяемом расходе цемента и водоцементного отношения. Такие бетоны близки к наименее расслаиваемым (в обоих отношениях) бетонам, а их поверхность обрабатываема. Предпосылка о равной прочности требует или дальнейших исследований или ежекратной проверки.

4. Вышеизложенное не исключает возможности и необходимости поправки состава бетонов подбором зернового состава крупного и мелкого заполнителя, применения пластификаторов и т. д., а является лишь дополнением к этому методу, применяемому в конкретных производственных условиях (оборудование, материалы) для сокращения времени обработки бетона и повышения качества конструкции и изделий. Поскольку вискозиметр есть лишь частный случай уплотнения и формы, полученные данные обязательно необходимо проверять в производственных условиях.

Студент III курса механического факультета В. Т. ПАОМЕТС.  
Научный руководитель ст. преп.  
И. Р. МЕЙТРЕ.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ МЕТОДОМ ИОНИЗАЦИИ

Радиоактивное превращение элементов сопровождается  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  излучениями.  $\alpha$ -лучи являются потоком ядер гелия.  $\beta$ -излучение при  $\beta^-$ -распаде состоит из электронов, при  $\beta^+$ -распаде из позитронов.  $\gamma$ -излучение является жестким электромагнитным излучением.

При определении радиоактивности методом ионизации основное значение имеет  $\alpha$ -излучение, так как оно имеет самую большую ионизирующую способность (около 100 раз большую, чем  $\beta$ -излучение). Это объясняется большой кинетической энергией  $\alpha$ -частиц (несколько миллионов электрон-вольт) и большим зарядом и диаметром. Длина пробега  $\alpha$ -частиц в воздухе  $2,5 \div 8,6$  см и на этом пути они создают  $10^5$  до  $2 \cdot 10^5$  пар ионов. Например  $\alpha$ -частицы радиотория имеют энергию 5,6 миллионов электрон-вольт, длину пробега в воздухе  $4,02$  см и создают  $1,75 \cdot 10^5$  пар ионов.

Для измерения ионизационных токов применяют ионизационные камеры. Ионизационная камера представляет собой воздушный конденсатор, в котором одним электродом является закрытый металлический кожух, вторым электродом пластина, на которую помещают исследуемое вещество. Второй электрод соединен с нижней нитью электрометра, которым измеряют напряжение между электродами.

Ионизационные токи очень малы, порядка  $10^{-10} \div 10^{-15}$  ампер. Для их измерения применяются специальные приборы.

В данной работе ионизационные токи измерялись по

скорости разрядки электрометра Вульфа через ионизационную камеру. Электрометр Вульфа состоит из тонкой проводящей нити диаметром  $2\mu$ , натянутой между электродами (ножами). Нижний конец нити прикреплен при помощи кварцевой дужки к микрометрическому винту, которым можно изменить натяжение нити. Чувствительность электрометра зависит от натяжения нити, от расстояния ножей от нити и от напряжения, приложенного между ножами.

Для удобства отсчета электрометр снабжен микроскопом с окулярной шкалой, дающим увеличение в 80 раз.

Для сушки внутренности камеры и электрометра служат 2 навинчивающиеся колбочки, куда помещается сушащее вещество. В настоящей работе для этого применялся металлический натрий.

В данной работе расстояния ножей от середины электрометра были следующие: левый 5,42 мм, правый 12,28 мм. Правый нож был соединен с кожухом электрометра, левый был под напряжением  $+50$  вольт. Натяжение нити было 6,1 по микрометрическому винту.

Прежде чем приступить к измерениям, необходимо провести калибровку электрометра, которая даст зависимость между напряжением на нити и делениями шкалы (рис. 1).

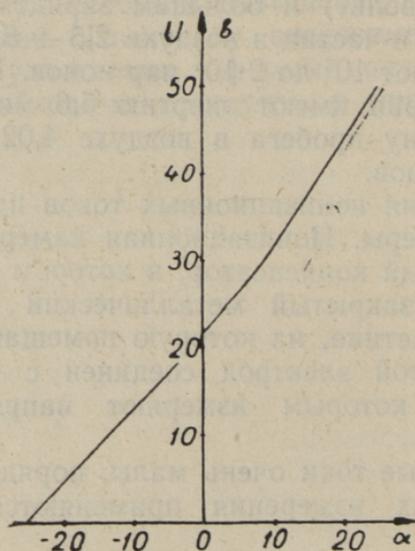


Рис. 1.

Измерить емкость ионизационной камеры из-за ее малости и недоступности довольно трудно. Автор измерил эту ёмкость при помощи Q-метра и получил 7,5 мкмкф. Учитывая, что при прикосновении проволокой к стержню электрометра напряжение падало на 10%, т. е. ёмкость увеличивалась на 10%, ёмкостью камеры с электрометром считалось 6,8 мкмкф. Точнее можно определить ёмкость препаратом известной активности, что надо непременно использовать при точном определении радиоактивности.

Ионизационными камерами лучше всего работать в области токов насыщения. Тогда все ионы, возникающие в воздухе, попадают на электроды. Рекомбинации практически не происходит. Это во многом упрощает расчеты. Как видно из рис. 4, можно считать токи не зависящими от напряжения (токи насыщения) при напряжении выше 44 вольт.

Вследствие космических лучей в воздухе всегда возникают ионы, а также имеется некоторая проводимость изоляции. Поэтому необходимо прежде всего определить токи в камере без исследуемых веществ (холостой ток) и лишь тогда определить токи и при наличии препарата.

Отсчеты электрометра при помощи калибровочной кривой (рис. 1) переводим в вольты и получаем зависимость напряжения от времени (рис. 2 и 3).

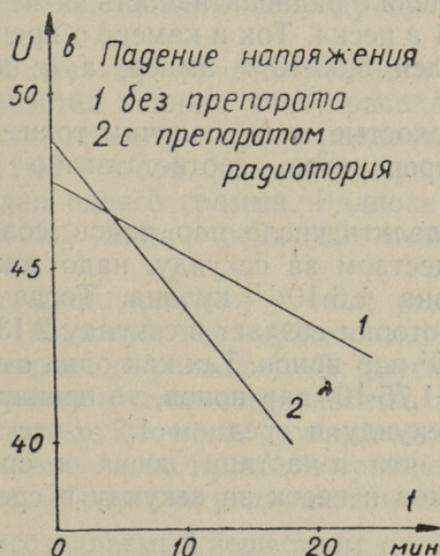


Рис. 2.

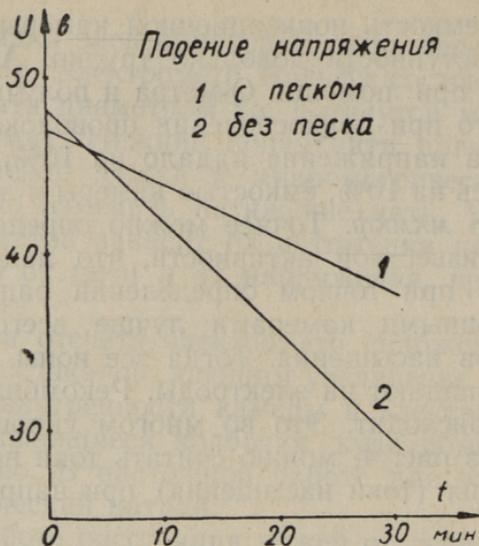


Рис. 3.

Из этих графиков можно найти токи в камере по формуле

$$i = \frac{dQ}{dt} = C \cdot \frac{dU}{dt} \approx C \cdot \frac{\Delta U}{\Delta t}.$$

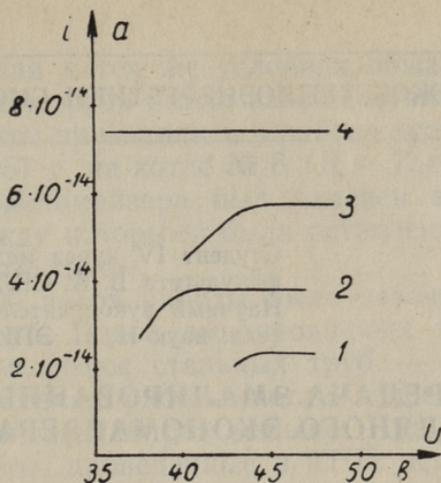
Зависимость токов от напряжения дана на рис. 4.

Автор определил радиоактивность 3 мг препарата радиотория и 0,1 г песка. Ток в камере с препаратом радиотория получился  $5,65 \cdot 10^{-14}$  ампер, а с песком  $7,3 \cdot 10^{-14}$  ампер.

Учитывая холостые токи, получим токи, обусловленные ионизацией препаратов, соответственно  $3,4 \cdot 10^{-14}$  а. и  $3,6 \cdot 10^{-14}$  а.

Чтобы определить число пар ионов, созданных радиоактивным веществом за секунду, надо ток разделить на заряд электрона  $1,6 \cdot 10^{-14}$  кулона. Тогда получим, что препарат радиотория создает в секунду  $2,13 \cdot 10^5$  пар ионов и песок  $2,25 \cdot 10^5$  пар ионов. Так как одна  $\alpha$ -частица радиотория создает  $1,75 \cdot 10^5$  пар ионов, то препарат радиотория излучает за секунду в среднем 1,2  $\alpha$ -частиц. При песке предполагаем, что  $\alpha$ -частица песка в среднем создает  $1,5 \cdot 10^5$  пар ионов и песок за секунду в среднем излучает 1,5  $\alpha$ -частиц.

Исследуемое вещество лежит тонким слоем на плоском электроде и потому мы можем считать, что в действитель-



Токи в камере

1 без препарата радиотория

2 без песка

3 с препаратом радиотория

4 с песком

Рис. 4.

ности препарат дает в 2 раза больше  $\alpha$ -частиц, чем их попадает в ионизационную камеру.

Единица радиоактивности Кюри, это такая радиоактивность вещества, когда в секунду происходит  $3,7 \cdot 10^{10}$  распадов.

Радиоторий дает только  $\alpha$ -излучение и мы можем считать число  $\alpha$ -частиц равным числу распадов. Тогда получим радиоактивностью препарата радиотория  $6,5 \cdot 10^{-11}$  кюри и песка  $8,1 \cdot 10^{-11}$  кюри. Обычно радиоактивность вещества дается для одного грамма. Радиоактивность препарата радиотория была тогда 22 мккюри/г и песка 0,81 мккюри/г.

Этот метод дает довольно точные результаты только тогда, когда известно исследуемое вещество (энергия  $\alpha$ -частиц и характер распада). В других случаях этот метод дает только неточные результаты, которые при необходимости можно уточнять другими методами. Но этим методом довольно легко провести сравнение радиоактивности веществ. Обозначим радиоактивность буквой  $A$ , вес вещества  $G$  и создаваемый веществом ток  $i$ , тогда  $\frac{A_1}{A_2} = \frac{i_1 G_2}{i_2 G_1}$ . Простота является достоинством этого метода.

Студент IV курса механического факультета В. А. СЕЛЬГ.  
Научный руководитель доц., канд. техн. наук И. П. ЭПИК.

## ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ЭМАЛИРОВАННЫХ ТРУБ ВОДЯНОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА

Низкое качество местных топлив, как известно, обусловлено значительным балластом, который состоит из влаги и минеральной части. Минеральная масса, содержащаяся в топливе, кроме снижения теплотворной способности, дополнительных затрат на добычу, транспортировку и размол, ухудшения условий зажигания и т. д., — вызывает также эрозию поверхностей нагрева котла (особенно при сжигании пылевидного топлива) и оборудования золоудаления.

На базе сланцевого бассейна нашей республики сейчас работает ряд котлоагрегатов с пылевидным сжиганием сланца. Ведется строительство первой очереди Прибалтийской ГРЭС. В связи с этим проблема эрозии поверхностей нагрева котла (особенно экономайзера) является чрезвычайно актуальной, т. к. у котлов, работающих на сланцевой пыли, износ поверхностей нагрева может в некоторых случаях превысить проектную величину механического износа в 50 раз. Столь крупная величина износа вызвана, очевидно, совместным действием абразивных и коррозионных процессов.

С целью отыскания мер к предотвращению подобного износа группой работников ТПИ совместно с работниками ТЭЦ-2 проводились опыты с экспериментальными трубами, состоящими из отрезков труб длиной по 200 мм из различных специальных сталей с разной обработкой поверхности. В результате опыта, длившегося в течение 1600 часов работы, выяснилось, что эффективным методом покрытия является эмалирование внешней поверхности трубы, при котором величина абсолютного износа в наиболее изношенном месте составила 0,05..0,10 мм.

Проработавшая в тех же условиях обыкновенная стальная (марки 20) труба имела износ соответственно 0,36... 0,50 мм. Опыты проводились в районе экономайзера.<sup>1</sup>

Осенью 1957 г. на котле № 6 ( $D = 75 \text{ т/ч}$ ) ТЭЦ-2 верхний пакет экономайзера был заменен эмалированными трубами, между которыми были оставлены единичные неэмалированные трубы.

После 4000 часов работы было заменено 6 неэмалированных труб. Износ эмалированных труб был менее 0,1 — 0,15 мм, износ стальных труб — 2 мм. Следовательно в условиях работы котла износ эмалированных труб был почти в 20 раз меньше. При этом, как показывают опыты, проведенные в ТПИ аспирантом Клейс, по отношению к механическому износу стальные трубы значительно прочнее эмалированных. В действительных рабочих условиях котлоагрегата увеличенный износ стальной трубы вызван химическим воздействием летучей золы и дымовых газов, по отношению к которому эмаль малочувствительна.

Поскольку применение эмалированных труб значительно удлиняет срок службы экономайзерных труб при пылевом сжигании сланца, возникает вопрос — какое влияние оказывает слой эмали на теплопередачу труб? В поисках ответа на этот вопрос был проведен ряд опытов.

### Факторы, влияющие на теплопередачу

В связи с нанесением слоя эмали на поверхность трубы увеличивается тепловое сопротивление последней. Данные о величине коэффициента теплопроводности ( $\lambda$ ) эмали в справочниках отсутствуют, и поэтому тяжело оценить величину изменения теплового сопротивления. Учитывая то обстоятельство, что при двухслойном эмалировании толщина слоя колеблется от 0,25 до 0,40 мм, можно предполагать, что увеличение теплового сопротивления труб будет незначительным.

С другой стороны степень черноты в эмалевого слоя, по справочным данным, выше, чем у стальной трубы, вслед-

<sup>1</sup> Х. Лепиксон и И. Клейс «Увеличение износостойкости труб экономайзера котлов, работающих на пылевидном сланце». Журнал «Техника я тоотмине» № 12, 1957, стр. 26—27.

ствие чего теплоотдача путем радиации у эмалированных труб лучше.

Так как толщина слоя эмали очень мала, то увеличение поверхности за счет ее очень незначительно влияет на теплоотдачу. При двойном эмалировании с общей толщиной слоя 0,30 мм прирост поверхности нагрева экономайзера, для случая наиболее ходового размера труб — Ø 38 мм, составит 1,6%.

Для оценки изменения теплопередачи, вызванного эмалированием необходимо было определить коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  эмалированной трубы и сравнить его с коэффициентом  $\alpha$  обычной стальной трубы. Для определения коэффициента теплоотдачи была использована известная зависимость

$$\alpha = \frac{\Delta t \cdot F}{Q} \left( \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ч}^\circ} \right)$$

где  $Q$  — количество тепла в ккал/ч,

$\Delta t$  — разность температур поверхности трубы и окружающей среды (в данном случае воздуха) в °С,

$F$  — расчетная поверхность нагрева трубы в м<sup>2</sup>.

### Оборудование, использованное для проведения опытов

Для определения качества тепла, участвующего в процессе теплопередачи, оказалось рациональным осуществлять теплоотдачу от трубы к окружающему воздуху (в экономайзере наоборот). Для этого в испытываемую трубу помещался калориметр, состоявший из трех электрических нагревательных спиралей, намотанных на общий цилиндрический сердечник. Из них средний нагревательный элемент выделял необходимое для определения теплоотдачи количество тепла, а задачей обоих боковых элементов являлось исключение температурного градиента в осевом направлении трубы. Все нагревательные элементы (3 шт.) были через автотрансформаторы подсоединены к сети переменного тока и каждый снабжен вольтметром, по показанию которого регулировалось напряжение (все нагревательные элементы имели равное сопротивление). В цепь среднего нагревательного элемента был включен амперметр. Количество тепла подсчитывалось по показаниям амперметра и вольтметра:

$$Q = 0,86U \cdot I \text{ ккал/ч.}$$

С целью поддержания равномерного напряжения в цепь включался стабилизатор напряжения.

Для опыта была взята новая стальная труба водяного экономайзера, из которой были изготовлены отрезки трубы длиной 500 мм. Наружный диаметр трубы 38 мм. Для измерения температуры поверхности трубы и для контроля за отсутствием температурного градиента вдоль трубы, опытные трубы снабжались приклепанными хромель-алюминиевыми термопарами.

Расположение термопар на трубе изображено на рис. 1.

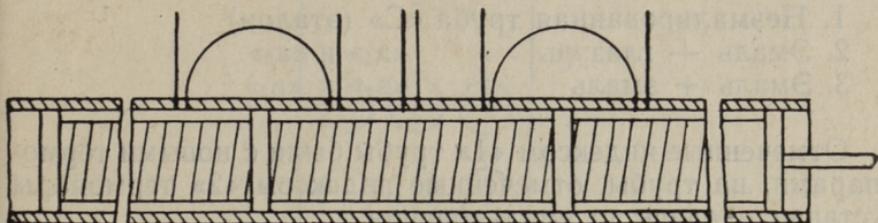


Рис. 1.

Средней термопарой замерялась температура поверхности трубы. Боковые и дифференциальные термопары служили для контроля за отсутствием температурного градиента в осевом направлении трубы. Величина термоэлектрического напряжения измерялась потенциометром. Проверка показаний дифференциальных термопар производилась также гальванометром потенциометра, поэтому между термопарами и потенциометром использовалась панель переключения. Температура холодного спая определялась при помощи ртутного термометра. Для измерения температуры окружающей среды (воздуха) применялся гигрометр, показания обоих термометров которого регистрировались.

### Эмалирование опытных труб

До эмалирования при помощи микрометра производился замер диаметра трубы в шести местах, по четыре замера (через  $45^\circ$ ) диаметра в каждом. После эмалирования замеры проводились повторно. Эмалирование производилось на Тартуской алюминиевой фабрике обычно применяющейся на заводе эмалью. Первым слоем на все

трубы наносилась черная эмаль, вторым слоем у двух труб применялась та же эмаль, а у двух остальных труб — глазуревая эмаль (синего цвета). До эмалирования замерялись омические сопротивления термомпар. Т. к. после эмалирования выяснилось, что сопротивление термомпар в процессе эмалирования изменилось, то пришлось установить на предусмотренные вначале в качестве запасных, эмалированные трубы аналогичные термомпары и основные опыты проводились с ними. Для маркировки труб применялись следующие обозначения:

1. Неэмалированная труба «С» (эталон)
2. Эмаль + глазурь «а<sub>1</sub>» и «а<sub>2</sub>»
3. Эмаль + эмаль «В<sub>1</sub>» и «В<sub>2</sub>»

Отмеченные индексом «1» трубы были с новыми термомпарами, на трубы, отмеченные индексом «2» термомпары устанавливались до эмалирования.

Толщина слоя эмали колебалась в пределах от 0,27 до 0,30 мм (средняя толщина).

### Порядок проведения опытов

В первую очередь проводились опыты в воздушном канале, где конвективная теплоотдача была более интенсивной. Опыты проводились с пятью трубами при разности температур  $\Delta t = 30^\circ\text{C}$ , и скорости воздуха  $w = 16 \text{ м/сек}$ .

Отсчет показаний производился после установления стационарного режима через каждые 15 минут. Полученные результаты незначительно отличались друг от друга. Вычисленная на основании полученных опытами данных величина  $\alpha$ , как для эмалированных, так и для обычных стальных труб, составила  $86 \div 87 \text{ ккал/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Проводил опыты инж. Минтель.

Вследствие того, что в результате проведенных в воздушном канале опытов не обнаружилось разницы между эмалированными и обычными трубами, проводился второй этап опытов в условиях свободной конвекции. Опытная труба при помощи штатива устанавливалась в горизонтальное положение. Опыты проводились при трех различ-

ных значениях  $\Delta t$ : 30, 15 и 50°C. Отсчет показаний начинался после установления стационарного режима и продолжался в течение часа и более, через каждые 10—15 минут.

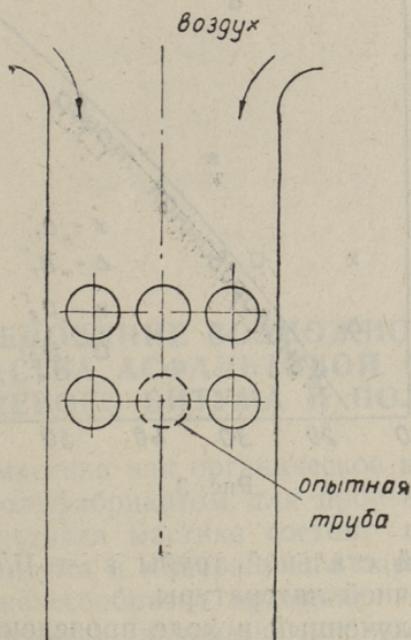


Рис. 2.

### Результаты опытов

В результате проведенных опытов видно (рис. 3), что теплопередача эмалированных труб не хуже теплопередачи обычных стальных труб. По данным опытов, проведенных в условиях свободной конвекции, ни в одном опыте коэффициент теплоотдачи эмалированной трубы  $\alpha$  не был меньше соответствующей величины  $\alpha$  не эмалированной стальной трубы. Некоторое рассеивание результатов испытаний при  $\Delta t = 30^\circ\text{C}$ , очевидно, вызвано наличием небольшого температурного градиента в направлении оси трубы, т. к. достижение стационарного состояния длилось достаточно долго. Следующие опыты были более удачными, так же последние опыты с неэмалированной трубой. Доказательством этого служит то, что полученная расчетным путем на основании данных опыта степень черноты

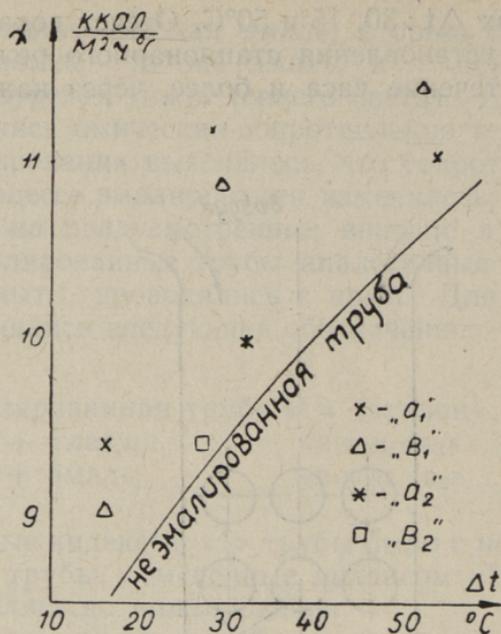


Рис. 3.

неэмалированной стальной трубы  $\epsilon = 0,766$  сходится с данными справочной литературы.

Материал, полученный в ходе проведения опытов, недостаточен для того, чтобы установить улучшение теплопередачи при эмалировании (хотя опыты показывают это); зато можно сказать, что при использовании эмалированных труб теплопередача не ухудшается. Дальнейшее использование эмалированных поверхностей нагрева должно развиваться в направлении создания новых сортов эмалей, еще более стойких по отношению к механическому и химическому износу.

Студент V курса  
горно-химического факультета

Х. Х. ИЫГИ.  
Научный руководитель канд.  
техн. наук  
К. А. КАСК.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОВОЙ МАСТИКИ ИЗ СЛАНЦЕВОГО БИТУМА И ПОЛУКОКСА

Асфальтовая мастика как органическое вяжущее вещество является полуфабрикатом для производства литого асфальта. Асфальтовая мастика состоит из природного или нефтяного битума и минерального порошка. Асфальтовую мастику целесообразно применять на небольших строительных объектах, например для колхозных и индивидуальных построек, так как асфальтовую мастику можно транспортировать в виде брикетов вместо вязкого битума. Но транспортирование асфальтовой мастики на большие расстояния неэкономично, главным образом из-за высокого содержания минерального порошка. Поэтому целесообразно выпускать мастику из местных материалов в районах потребления и транспортировать только битум.

В условиях Эстонской ССР, где имеется развитая сланце-перерабатывающая промышленность, целесообразно организовать производство асфальтовой мастики у одного сланце-перерабатывающего предприятия, где готовят битум. Для минерального порошка можно использовать отходы перегонки сланца, как полукоксы и кокс.

Целью настоящей работы является выяснить возможности производить асфальтовую мастику из местных материалов на базе сланце-перерабатывающих предприятий.

## Экспериментальная часть

В настоящей работе битум приготавливали из туннельного тяжелого масла продувкой в лабораторном реакторе диаметром 70 мм и высотой 1020 мм. Условия продувки даны в таблице 1.

При продувке второй порции битума использовали катализатор (0,6% от веса тяжелого масла). При помощи катализатора время продувки уменьшилось на 21%.

Условия продувки битума

Таблица 1

	I	II
Время продувки, мин	475	370
Количество тяжелого масла, г	2670	2511
Количество воздуха л/мин-кг.	8,8	8,9

Приготовленные битумы подвергались испытанию по ГОСТ-у 2400—51. Кроме того К. Каск [1] рекомендует дополнительные показатели для определения качества битума, как-то индекс пенетрации и дифференция температуры размягчения по К-С и температуры хрупкости по Фраасу.

Таблица 2

### ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БИТУМА

Показатели	I	II
1. Температура размягчения по к и ш, °С	52	57
2. Потеря в весе при 160°С за 5 часов, %	0,4	0,5
3. Глубина проникания иглы при 25°С	39	23
4. Глубина проникания иглы в остаток после определения в весе		
а) при 25°С	29	14
б) от первоначальной величины, %	74	61
5. Температура размягчения после определения потери в весе по к и ш, °С	57	62
6. Индекс пенетрации.	-1,9	-1,5
7. Температура размягчения по К-С, °С	38	43
8. Температура хрупкости по Фраасу, °С	-12	-12
9. Дифференция температуры размягчения и хрупкости, °С	50	55

Судя по этим данным, продутые битумы соответствуют марке БС-IV (ТУ Б90—55). Индекс пенетрации и дифференция температуры размягчения и хрупкости показывают, что битумы доброкачественны. К. Каск [1] в своих исследованиях показал, что индекс пенетрации должен быть больше — 2.

В некоторых сравнительных опытах использовались еще битумы марки БС-I, БС-II и БС-III.

Минеральный порошок получился путем помола полукокса и кокса в лабораторной шаровой мельнице. Притом необходимо отметить, что полукокс и кокс промышленной установки легко размельчались и это является одним главным преимуществом по сравнению с другими минеральными порошками, как например доломит и известняк.

Испытания минерального порошка проводились по методике, рекомендуемой М. И. Волковым [2].

Минеральная часть кокса по данным лаборатории Ленинградского цементного завода [4] (в процентах).

SiO <sub>2</sub>	18,12	CaO	27,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,41	MgO	2,05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,19	SO <sub>3</sub>	6,37

Прилепаемость битума с полукоксом и коксом определяли по Риделю-Вебера [5] и для обоих минеральных порошков было получено 10 баллов.

Исходя из полученных результатов исследования полукокса и кокса, можно прийти к выводу, что полукокс соответствует условиям минерального порошка, но кокс имеет слишком большую пористость и кроме того содержит некоторое количество (0,5%) свободной извести. Свободная известь при контакте с водой дает  $Ca(OH)_2$  и это может привести к образованию водорастворимых фенолятов, так как известно, что сланцевый битум богат фенолами.

Асфальтовая мастика, приготовленная из природных и нефтяных битумов, содержит битума 13%. Для мастики, приготовленной из сланцевого битума и полукокса, такое количество битума является недостаточным, так как удельный вес сланцевого битума выше удельного веса

нефтяного или природного битума и, во-вторых, полукокк более активен, чем другие минеральные порошки.

Для выяснения подходящего состава мастики провели опыты с битумами, имеющими различные температуры размягчения. Исходные продукты, битум и полукокк (кокс), подогревались в термостате при температуре 130—140°C и перемешивались в течение 5 мин. Готовая смесь формировалась в брикет диаметром 25 мм и высотой 25 мм без давления. Брикет подвергался визуальному и микроскопическому наблюдению. Результаты опытов даны в таблице 5.

Т а б л и ц а 5

№	Температура размягчения битума по К и Ш	Колич. битума %	Минеральный порошок	Результаты
1.	36,5	13	Полукокк	Не брикетирующийся, рыхлый порошок.
2.	36,5	20	—, —	Плохо брикетирующийся механически слабый.
3.	36,5	25	—, —	Хорошо брикетирующийся, но липкий.
4.	36,5	30	—, —	Липкая расплывчатая масса
15.	52	28	—, —	Хорошо брикетирующийся, но липкий.
16.	57	28	—, —	Хорошо брикетирующийся, но липкий.
17.	52	15	Известняк	Хорошо брикетирующийся.
23.	43	25	Полукокк	Хорошо брикетирующийся, липкий.
24.	52	25	—, —	Хорошо брикетирующийся, не липкий.
25.	57	25	—, —	Хорошо брикетирующийся, не липкий.
26.	52	30	—, —	Хорошо брикетирующийся, липкий.
27.	57	30	Кокс	Хорошо брикетирующийся, механически слабый.

Из результатов проведенных опытов видно, что подходящим составом для приготовления асфальтовой мастики является 25% битума и 75% полукокка. Брикет, содержащий битума больше 25%, липкие и при нагревании до

50° расплывающиеся. Брикет, содержащий битума меньше 25%, механически слабые. Для уменьшения липкости целесообразно использовать битум с температурой размягчения не менее 50°С по к и ш.

Свойства асфальтовой мастики, содержащей битума 25% и полукокса 75%, приведены в таблице 6. Образцы для испытания формировали диаметром 50 мм и высотой 50 мм под нагрузкой 4000 и 6000 кг при температуре приготовления (130—140°). При приготовлении образцов по принятым техническим условиям требуется давление 300 кг/см<sup>2</sup> в течение 3 мин., что при размере наших образцов соответствует нагрузке 6000 кг. Но уже при нагрузке 4000 кг горячая мастика стала вытекать через щели формы и поэтому нельзя было держать образцы под давлением дольше 3 мин.

Технический анализ мастики

Таблица 6

Показатели	Мастика из битума с температурой размягчения по к и ш	
	52°	57°
1. Нагрузка при формировании образца, кг	6000	4000
2. Объемный вес	1,90	1,85
3. Водонасыщенный, в % по весу	0	0
4. Предел прочности при сжатии при 22°С, кг/см <sup>2</sup>	40,2	41,5

Таблица 3

Технический анализ минерального порошка

Показатели	Полукокс	Кокс
Удельный вес, г/см <sup>3</sup>	2,72	2,84
Объемный вес, г/см <sup>3</sup>	1,39	1,12
Пористость, %	49	61
Коэффициент гидрофильности	0,85	—
Проходит через сито Ø 0,2 мм, %	90,5	90,6
„ „ „ Ø 0,15 мм, %	81,4	81,9
„ „ „ Ø 0,105 „ „ %	74,3	72,5
„ „ „ Ø 0,075 „ „ %	65,4	63,3

Условная органическая масса минерального порошка определялась по ГОСТ 6383-52.

Таблица 4

Показатели	Полукокс	Кокс
Зола А <sup>c</sup> , %	64,6	62,7
Минеральный СО <sub>2</sub> , %	27,6	22,4
Органическая часть, 100 — (А <sup>c</sup> + СО <sub>2</sub> )	7,8	14,9

Минеральная часть полукокса по данным ТПИ [3]  
(в процентах)

SiO <sub>2</sub>	17,27	MgO	1,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,94	K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	2,00
FeO	2,08	SO <sub>3</sub>	0,21
FeS	1,23	CO <sub>2</sub>	27,30
CaO	34,39		

По техническому анализу и по визуальным наблюдениям можно прийти к выводу, что мастика данного состава, т. е. 25% битума и 75% полукокса, имеет достаточную прочность для транспортирования и сохранения.

Так как асфальтовая мастика является полуфабрикатом для приготовления литого асфальта, качество литого асфальта определяет и качество асфальтовой мастики.

В результате ряда опытов выяснили, что литой асфальт с отношением мастики к песку 1:0,8 дал наилучшие результаты. Получился литой асфальт следующего состава:

битум 14,0%,  
полукокс 41,3%,  
песок 44,7%.

Данные технического анализа литого асфальта даны в таблице 7.

## Технический анализ литого асфальта

Показатели	
Объемный вес $г/см^3$	2,12
Предел прочности при сжатии при $50^\circ$ в $кг/см^2$	19,3
Предел прочности при сжатии при $22^\circ$ в $кг/см^2$	31,6
Предел прочности при сжатии при $22^\circ$ в водонасыщенном состоянии	30,5
Водонасыщенность, в % по объему	0,58
Набухание, в % по объему	1,52
Теплоустойчивость	1,6
Водоустойчивость	0,96

Результаты технического анализа показывают, что из асфальтовой мастики из сланцевого битума и полукокса можно приготовить литой асфальт с удовлетворительными свойствами.

При исследовании битума, экстрагированного из литого асфальта, обнаружился факт, что температура размягчения после экстрагирования повышалась очень мало, от  $38^\circ$  до  $41^\circ$  по К—С.

По данным К. Каск [1] это повышение достигает до  $28,9$  при температуре  $140^\circ$ . Из этого факта можно прийти к выводу, что полукокс влияет на битум. Дальнейшие исследования показали, что около 1% органической массы полукокса растворяется в битуме. Это растворение органической массы полукокса в битуме влияет благоприятно на качество битума.

### Заключение

1. В настоящей работе исследованы возможности получения асфальтовой мастики из сланцевого битума и полукокса туннельных печей.

2. Показано, что полукокс пригоден в качестве минерального порошка для приготовления асфальтовой мастики.

3. Показано, что подходящее количество битума в мастике 25%.

4. Приведен технический анализ литого асфальта, приготовленного из мастики.

5. Показано, что литой асфальт, приготовленный из мастики, имеет удовлетворительные свойства.

6. Обнаружено, что полукокс растворяется в битуме и вследствие этого температура размягчения битума в процессе перемешивания повышается очень мало.

## ЛИТЕРАТУРА

1. К. Каск, «Põlevkivibituumenite omadusi teedehitusmaterjalina», ТПИ, 1957, Tallinn, lk. 54—73.
2. М. И. Волков и Ф. Н. Пантелеев «Пособие к лабораторным работам по испытанию дорожно-строительных материалов». Дориздат, 1952, Москва, стр. 176—177.
3. А. А. Аарна, К. Каск, Б. Горпан, О. Эйзен «Аналитическая характеристика продуктов балансового испытания туннельной печи № 1 комбината «Кививыли». ТПИ, 1952, Таллин, стр. 5.
4. В. А. Арефьев. Труды ВНИИПС вып. 3, стр. 123 (1955).
5. М. И. Волков, К. И. Штауб, В. О. Гельмер. «Дорожные строительные материалы». Издательство Наркомхоза РСФСР, 1939, Москва—Ленинград, стр. 422.

Таллинский Политехнический Институт  
Студенческое Научное Общество

### СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ СТУДЕНТОВ III

\*

Редактор Р. Амброс

Технический редактор А. Тамм

Корректор Я. Каннисту

Сдано в набор XII 1959. Подписано к печати 19. III 1960. Бумага 45×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печатных листов 5,25. По формату 60×92 печатных листов 4,3. Учетно-издательских листов 3,65. Тираж 600.

МВ-00800. Заказ № 2167.

Типография «Пунане Тяхт», Таллин, ул. Пикк 54/58.

Цена 2 руб. 55 коп.



Цена 2 руб. 55 коп.

46

С 1. 1961. г.

Цена ..... р. 26 к.

