

625
АЧ50

СБОРНИК
ЛЕНИНГРАДСКОГО
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
ИМЕНИ Я. Э. РУДЗУТАКА

110
ВЫПУСК СХ

ТРУДЫ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

ЛЕНИНГРАД
1931

1991

625
1450

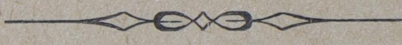
А. 305
Таблицы
Дата 2007

СБОРНИК ЛЕНИНГРАДСКОГО

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

ИМЕНИ Я. Э. РУДЗУТАКА

ВЫПУСК СХ



ТРУДЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

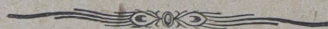
И. П. Александрин—Исследования бетона для дорожных работ

1975

ИЗДАНИЕ ЛЕНИНГРАДСКОГО ИНСТИТУТА
ИНЖЕНЕРОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
ЛЕНИНГРАД
1931

БИБЛИОТЕКА
Ленинградского
института инженеров
железнодорожного
транспорта

SCIENTIFIC PAPERS
OF THE
INSTITUTE OF ENGINEERS OF WAYS OF COMMUNICATION
in LENINGRAD
Vol. CX.



LENINGRAD
1931

Исследования бетона для дорожных одежд.

Применение в качестве дорожной одежды бетона ставит последний в условия работы, значительно отличающиеся от условий работы бетона в обычных сооружениях. В большинстве гражданских сооружений имеет место преимущественно статическое действие нагрузки и лишь в некоторых инженерных конструкциях (напр., в мостах, в фундаментах под двигателями и т. п.) приходится считаться с динамикой нагрузки, распространяющейся обычно на весь массив сооружения или на значительную его часть. При этом необходимо еще отметить, что в большинстве случаев динамическая нагрузка действует на бетон не непосредственно, а через промежуточные конструкции.

Бетон же дорожной одежды (наружный его слой) непосредственно подвергается ударному воздействию нагрузки. Качество бетонной корки должно быть, очевидно, таково, чтобы износ бетона под ударами копыт, колес, от трения ими был по возможности минимальным.

Среда, окружающая бетонную одежду, не может не отразиться на ее долговечности. Очевидно, что при всех прочих равных условиях срок службы бетонной корки дороги зависит от характера, конструкции и химических свойств постели, на которой она уложена, от дренающих свойств ее, а также от климатических условий местности.

Естественно, что указанные обстоятельства требуют тщательного изучения поведения бетона, уложенного в качестве бетонной одежды, изучения требований, которые должны быть предъявлены такому бетону, а также и материалам, входящим в его состав.

Механической лабораторией им. проф. Н. А. Белелюбского ЛИИПС по поручению Научноисследовательского автодорожного института и автодорожной секции НИИ при ЛИИПС в настоящее время производятся и частично уже закончены специальные лабораторные исследования бетона для дорожных одежд.

Исследования качества бетона в связи с лабораторными ведутся также и на опытных дорожных участках, организованных НАДИ.

Очевидно, что работа опытных участков совместно с лабораторными исследованиями, на основе опыта других стран (Америка, Германия), даст возможность наиболее полно разрешить все вышеуказанные вопросы, возникшие в связи с применением бетона для дорог.

При этом могут получить свое разрешение и вопросы, связанные с конструированием бетонных дорог и способами их сооружения.

Работы механической лаборатории ЛИИПС по исследованию бетона для дорожных одежд, произведенные к настоящему моменту, подразделяются на две части:

1) на контроль качества материалов и бетона, уложенного на участке бетонной дороги Центральной опытнодорожной станции; состав бетона назначен также лабораторией, и

2) на специальные исследования технических свойств бетона с точки зрения применения его в качестве дорожной одежды.

I. Выбор состава и контроль качества бетона на опытном участке.

1. Материалы.

В качестве материалов для бетона на опытном участке применялись нормальный портланд-цемент завода „Пролетарий“ Новоросцемент, карьерный песок и гранитный щебень.

Пробы материалов до постройки участка дороги подверглись в лаборатории нормальному циклу испытаний.

Активность¹⁾ портланд-цемента оказалась, в среднем, из двух испытаний равной $R = 198 \text{ кг/см}^2$. Портланд-цемент во всем удовлетворял требованиям стандарта.

Песок по содержанию глинистых и земляных примесей (до 1,6% по весу) оказался пригодным для бетонных работ без предварительной промывки. Однако испытание песка колориметрическим методом (обработка 3% раствором NaOH) на загрязненность органическими примесями дало не вполне удовлетворительные результаты. Окраска раствора пробы — красновато-желтая, что указывает на нежелательное содержание органических примесей. Проба песка, интенсивно промытая водой, дала окраску раствора значительно более светлую (ярко-желтую).

Последнее обстоятельство позволило допустить применение песка, но с условием тщательной промывки его с целью уменьшения в нем содержания органических примесей, наличие которых могло бы вредно отразиться на качестве бетона. Это требование и было осуществлено на месте производства работ.

Ситовой анализ инертных материалов дал следующие результаты (см. табл. 1, стр. 3):

Гранулометрический анализ инертных добавок, как это видно из таблицы, указывает на отсутствие в них зерен крупностью от 10 до 40 мм.

¹ Временное сопротивление сжатию нормального образца раствора 1:3 по весу с нормальным вольским песком через 28 дней.

ТАБЛИЦА 1.

| Отверстия сит, в миллиметрах | К р у г л ы е | | | | | | К в а д р а т н ы е | | | | Модуль крупности | |
|-------------------------------------|---------------|----|------|------|------|------|---------------------|------|------|------|------------------|-----|
| | 80 | 40 | 20 | 10 | 5 | 2,5 | 1,2 | 0,6 | 0,3 | 0,14 | | |
| Полные остатки по весу, в процентах | Песок . . . | — | — | — | — | 3,5 | 19,2 | 52,1 | 74,4 | 90,0 | 98,2 | 3,4 |
| | Щебень . . | — | 89,7 | 99,6 | 99,8 | 99,9 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 8,9 |

Для получения бетона более плотного по структуре в параллель с составами бетона из натуральных инертных материалов назначен также и состав бетона со щебнем, гранулометрический состав которого был подобран применительно к кривой просеивания Фуллера.

Объемные веса и объем пустот инертных материалов, установленные испытания приведены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2.

| Материал | Состояние рыхлое, сухой | | Стандартно-уплотненный, сухой | | Примечание |
|------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|---|
| | Вес 1 л, в килограммах | Объем пустот, в процентах | Вес 1 л, в килограммах | Объем пустот, в процентах | |
| Песок | 1,53 | 41,2 | 1,67 | 35,9 | Стандартное состояние: протыкание слоя матер. 25 раз стержн. диам. 12 мм. Укладка в 3 слоя. Мерный ящик емкостью 8 л. |
| Щебень | 1,34 | 50,5 | 1,46 | 46,0 | |

2. Задание для подбора состава бетона.

Согласно выработанному на соединенном совещании Автодорожной секции НИИ при ЛИИПС и научного совещания при Автодорожном институте ЦНИУ с участием Механической лаборатории ЛИИПС плану работ, бетон первого опытного участка должен был характеризоваться нижеследующими данными: временное сопротивление сжатию бетона в кубиках через 28 дней должно быть не менее $150-180 \text{ кг/см}^2$ и временное сопротивление изгибу в балочках размерами $80 \times 15 \times 8 \text{ см}$ с пролетом в 60 см через 28 дней после изготовления — около $30-40 \text{ кг/см}^2$.

Консистенция бетона должна быть пластичной с осадкой конуса 3—4 см.

По толщине бетонной одежды и характеристикам бетона опытный участок подразделен на пять частей по следующей схеме:

ТАБЛИЦА 3.

| Участок | Протяжение в метрах | Толщина бетонной коры, в сантиметрах | Требуемое временн. сопротивл. бетона сжатию через 28 дней | Консистенция | Гранулометрический состав щебня | Примечания |
|---------|---------------------|--------------------------------------|---|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| I | 10 | 20 | 180 кг/см ² | Пластичный | Натур. крупн. То же | Бетон укладывается без подготовки |
| II | 10 | 20 | 150 " | | | |
| III | 10 | 20 | 180 " | Осадка конуса 3—4 см | Подобранный гранулометрический состав | |
| IV | 10 | 15 | 180 " | | | |
| V | 10 | 15 | 180 " | | | |

Принимая во внимание не вполне благоприятное время года (конец октября) для сооружения бетонной дороги, ориентировочный подбор состава бетона Механической лабораторией велся на временные сопротивления, превосходящие указанные в табл. 3, примерно, на 20%.

3. Результат подбора составов бетона.

Результаты подбора составов бетона, основанные на опытных данных Лаборатории, полученных в последние годы, сведены в таблицу 4.

ТАБЛИЦА 4.

| Участок дорожки | Временное сопротивление бетона сжатию через 28 дней по изготовлении | | Номинальный состав бетона по объему при рабочем весе цемента 1,3 кг/л | Предельное водоцементное отношение по весу |
|-----------------|---|-------------------------------|---|--|
| | Требуемое, кг/см ² | Расчетное, кг/см ² | | |
| I, III, IV и V | 180 | 220 | 1 : 1,9 : 2,8 | 0,53 |
| II | 150 | 180 | 1 : 2,2 : 3,2 | 0,60 |

Для участков III и IV, в состав бетона которых предположено было ввести бетон с подобранным гранулометрическим составом, номинальные составы назначены такие же, как и для I и V участков с тем, чтобы в дальнейшем можно было оценить влияние гранулометрического состава смеси инертных на качество бетона.

На фиг. 1 представлены кривые гранулометрического состава смеси инертных по назначенным составам.

4. Контроль качества бетона при сооружении бетонной дороги.

К сооружению дороги приступлено было 21 октября 1929 г. Перед бетонированием на месте работ для подсчета количества материалов на замес были установлены переходные коэффициенты от объемов инертных материалов в стандартном состоянии к объему в рабочем состоянии, а также процентное содержание в инертных влаги. Контрольные определения содержания влаги производились также и в процессе бетонировки.

Приготовление бетонной массы и укладка на место производилась при помощи дорожной бетономешалки и дорожноотделочной машины системы Локвуд.

Бетоньерка снабжена водомером, позволяющим дозировать воду с точностью (в среднем) до 5% на замес.

Отмеривание материалов организовано было следующим образом:

- а) цемент отвешивался на десятичных весах;
- б) для песка и щебня были изготовлены тачки, емкость которых была вымерена путем насыпания в них вровень с краями материала мерным ящичком; на тачках были нанесены метки: „песок“, „щебень“;
- в) вода вводилась в бетоньерку по водомеру.

Не вполне благоприятные метеорологические условия (сырая погода, наличие влаги в виде небольших скоплений воды на основании дорожки) не позволяли точно установить количество воды на единицу цемента в бетоне одежды. Этому же способствовало и колебание влажности материалов, обусловленное состоянием погоды. Это обстоятельство, естественно, указывало на необходимость снижения количества водной добавки в замес, по сравнению с расчетным.

Определение влажности инертных материалов в процессе бетонирования показало содержание влаги в песке в пределах от 3,8 до 6% по весу, в щебне—от 0,5 до 1,5% по весу, что соответственно учитывалось при назначении водной добавки.

Переходные коэффициенты к рабочим объемам, определенные на месте работ:

- а) для песка—1,25;
- б) для щебня крупного—1,14 и с подобранным гранулометрическим составом—1,09.

Для проверки качества цемента при бетонировании дороги была отобрана проба из трех бочек по 5 кг, всего в количестве 15 кг. Результаты испытания цемента совпали с предварительными испытаниями. Активность цемента по контрольному испытанию — $R = 202 \text{ кг/см}^2$.

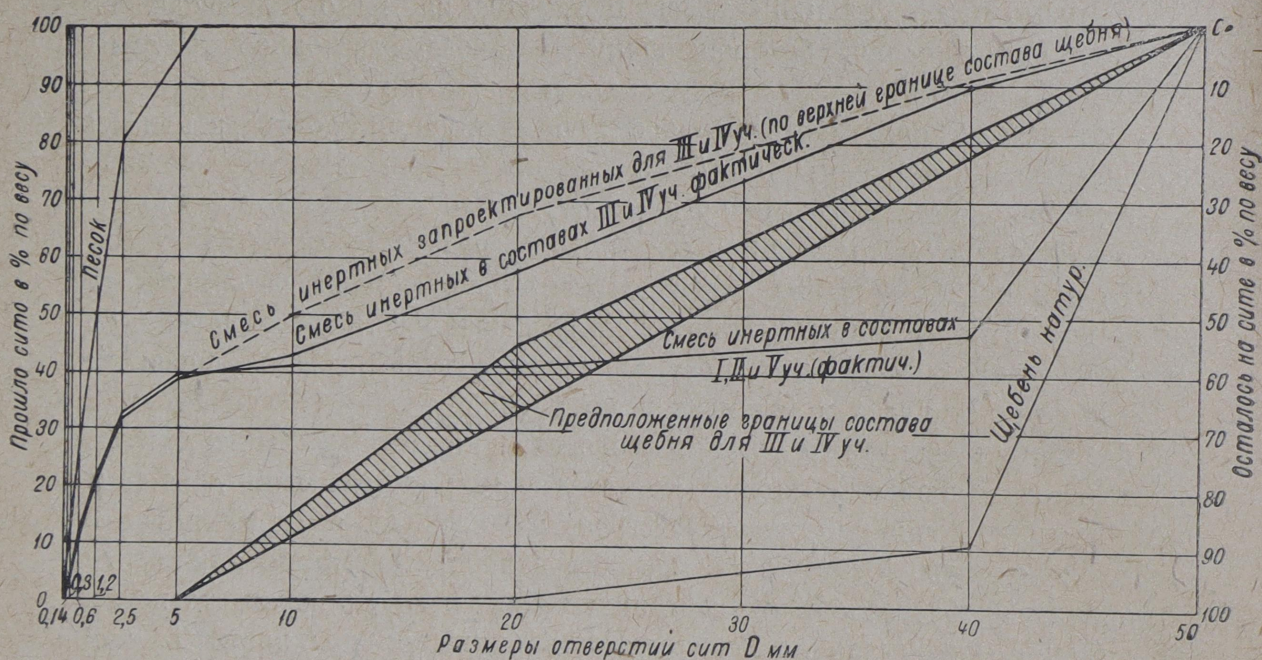
В процессе бетонирования первый замес изготовлялся по назначенному ориентировочно Лабораторией составу.

Контрольное измерение консистенции по осадке конуса и общее впечатление о степени пластичности бетонной массы позволяло прокорректировать состав для следующих замесов. Исправление составов

производилось путем изменения в дозировке соотношения количества цемента и инертных добавок с сохранением постоянными: 1) водоцементного отношения и 2) соотношения мелкого и крупного агрегатов.

Практически это осуществлялось путем изменения количества цемента и воды на замес.

Рабочие составы бетона по отдельным участкам дорожки сведены в табл. 5, а гранулометрический состав смеси инертных добавок по рабочим составам бетона изображен на фиг. 1.



Фиг. 1. График гранулометрического состава инертных.

ТАБЛИЦА 5.

| Участок | Номинальные составы по объему | | Количество материалов на замес | Водоцем. отнош., в процентах по весу | | Осадка конуса, в сантиметрах |
|---------|-------------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------|------------------------------|
| | Расчетные | Фактические | | Расч. | Факт. | |
| I | 1 : 1,9 : 2,8 | 1 : 2,0 : 2,9 | 246 к. : 480 л. : 624 л. : 82 л. | 53 | 49 | от 4 до 2 |
| II | 1 : 2,2 ; 3,2 | 1 : 2,5 : 3,6 | 230 " : 552 " : 728 " : 82 " | 60 | 52 | " 4 " 2 |
| III | 1 : 1,9 : 2,8 | 1 : 2,0 : 3,0 | 250 " : 480 " : 634 " : 82 " | 53 | 50 | " 6 " 1,5 |
| IV | 1 : 1,9 ; 2,8 | 1 : 2,0 : 3,0 | 250 " : 480 " : 634 " : 87 " | 53 | 48 | " 4 " 2 |
| V | 1 : 1,9 : 2,8 | 1 : 2,0 : 2,9 | 246 " : 480 " : 624 " : 82 " | 58 | 50 | " 4 " 2 |

Примечание. Водоцементное отношение фактическое подсчитано по наибольшей влажности материалов во время бетонирования каждого участка. Атмосферная влага, влажное состояние поверхности основания не учитывалось при подсчете.

Перемешивание бетона в бетономешалке после полной загрузки барабана производилось в течение двух минут. Выгруженный в приемный ковш бетономешалки готовый бетон при помощи стрелы подавался на бетонлируемую часть дороги, где и вываливался через откидное дно ковша.

Выравнивание уложенного слоя бетона по профилю дороги, трамбование и выглаживание поверхности производились, перемещавшейся вслед за бетоньеркой, дорожноотделочной машиной Finischer Lakewood.

Низкая, сравнительно, температура воздуха во время бетонирования и в первые сроки твердения (ниже $+5^{\circ}$ Ц, по ночам падала ниже 0°) позволяла опасаться за качество бетона дороги.

С целью защитить несколько бетон от действия низкой температуры, свежий бетон прикрывался и выдерживался несколько дней под рогожами.

Для контроля качества бетона из замесов, поданных на место, отбирались пробы бетона в металлические разборные формы с внутренними размерами $30 \times 30 \times 30$ см.

Из бетона каждого участка было изготовлено таким образом по три кубика. Из бетона IV и V участков было изготовлено также по три неармированных балочки размерами $80 \times 15 \times 8$ см. Образцы хранились до конца бетонировки на месте работ, после чего были доставлены в Лабораторию, где и хранились во влажных опилках до 28-дневного возраста, когда и были подвергнуты испытанию.

Через 6 недель по окончании бетонирования из каждого участка дороги были выломаны куски бетона, из которых вырезались образцы для испытания на сжатие в возрасте 6—7 недель.

Оставшиеся от кусков бетона IV и V участков части сохранялись в Лаборатории во влажных опилках до конца июня 1930 г., когда и были подвергнуты испытанию на сжатие (в возрасте около 8 месяцев).

Кроме того, в конце июля 1930 г. из каждого участка дороги были вновь вырезаны образцы бетона для испытания на сжатие. Последнее испытание было произведено с целью убедиться, насколько отразилась низкая температура воздуха в момент постройки дороги на прочности бетона.

Таким образом по каждому участку были получены характеристики механических свойств бетона путем испытания:

а) на сжатие кубиков, изготовленных из массы уложенного бетона в момент сооружения дороги и хранившихся по окончании бетонирования до испытания в 28-дневном возрасте в увлажненных опилках при температуре около $+18^{\circ}$ Ц;

б) на изгиб балочек, изготовленных и хранившихся в аналогичных условиях (только по III и IV участкам);

в) на сжатие кубиков, вырезанных из дороги после 6-недельного твердения бетона на воздухе при сравнительно низкой температуре; возраст в момент испытания—около 7 недель;

г) на сжатие кубиков, вырезанных одновременно с предыдущими и хранившихся затем до 8-месячного возраста в Лаборатории во влажных опилках (только по IV и V участкам), и

д) на сжатие кубиков, вырезанных из бетона дороги через 9 месяцев после постройки.

Результаты испытания всех образцов бетона приведены в таблице 6.

ТАБЛИЦА 6.

| Участок дороги | | Образцы бетона, вырезанные из одежды | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------|---|-------------------|---|------------|---|--|------------|---|---|------------|---|----------|----------|------|-----|-----|------|----------|----------|-----|----------|-----|-----|
| | | Образцы, изготовл. при бетонирован. Возраст 28 дней | | Вырезанные через 6 недель и сразу же подвергнутые испытанию | | | Вырезанные через 6 недель и в дальнейшем хранившиеся до испыт. во влажн. опилках при температуре 18° Ц | | | Вырезанные и испытанные через 9 месяцев | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Кубик 30×30×30 см | Балоч. 80×15×8 см | Возраст дней | Размеры см | Врем. сопрот. сжатию кг/см ² | Возраст месяцев | Размеры см | Врем. сопрот. сжатию кг/см ² | Возраст месяцев | Размеры см | Врем. сопрот. сжатию кг/см ² | | | | | | | | | | | | |
| I | 202 | — | 50 | 23×25×25 | 149 | — | — | — | 9 | 22×21×20 | 245 | | | | | | | | | | | | | |
| | 184 | | | | | | | | | | | 9 | 22×22×18 | 254 | | | | | | | | | | |
| | 204 | | | | | | | | | | | | | | Ср. | 250 | | | | | | | | |
| | Ср. 197 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| II | 245 | — | 49 | 28×28×26 | 158 | — | — | — | 9 | 23×23×21 | 259 | | | | | | | | | | | | | |
| | 259 | | | | | | | | | | | 9 | 23×25×20 | 285 | | | | | | | | | | |
| | 204 | | | | | | | | | | | | | | Ср. | 272 | | | | | | | | |
| | Ср. 236 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| III | 252 | 32,8 | 48 | 29×30×29 | 84 | — | — | — | 9 | 23×21×22 | 272 | | | | | | | | | | | | | |
| | 261 | | | | | | | | | | | 27,1 | 9 | 23×21×25 | | | 285 | | | | | | | |
| | 265 | | | | | | | | | | | | | | Ср. | 278 | | | | | | | | |
| | Ср. 259 | | | | | | | | | | | | | | | | | 29,4 | | | | | | |
| IV | 286 | 31,3 | 47 | 23×28×19 | 254 | 8 | 16×16×18 | 203 | 9 | 22×21×24 | 204 | | | | | | | | | | | | | |
| | 307 | | | | | | | | | | | 27,1 | 8 | 18×17×18 | | | 218 | | 9 | 19×17×20 | 224 | | | |
| | 297 | | | | | | | | | | | | | | 27,6 | 8 | | | | | | 17×16×18 | 275 | Ср. |
| | Ср. 297 | | | | | | | | | | | | | | | | | 28,7 | | | | | | |
| V | 300 | — | 47 | 24×24×23 | 166 | 8 | 20×20×23 | 298 | 9 | 18×20×21 | 214 | | | | | | | | | | | | | |
| | — | | | | | | | | | | | 8 | 21×18×24 | 320 | | | 9 | | 22×19×21 | 210 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | Ср. | 309 | | | | | Ср. | 225 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Ср. | | | | | | |

Поверхности образцов бетона, вырезанных из одежды, выравнивались перед испытанием цементным раствором и испытывались после недельного отвердевания последнего.

Балочки испытывались на машине Амслера, сосредоточенной на грузкой, приложенной по середине пролета.

Пролет балочки при испытании $l = 60$ см.

5. Анализ результатов контроля качества бетона.

Наблюдения над бетоном, произведенные при сооружении бетонных участков опытной дороги, и последующие испытания бетона, несмотря на неблагоприятные условия производства работ, позволили сделать ряд ценных выводов для последующей работы опытнородожных станций в области изучения бетонных дорог.

Важнейшими из них являются следующие:

1) Сооружения бетонной дороги при помощи бетоноотделочной машины типа Lakewood требует применения бетона, консистенция которого должна характеризоваться минимальной осадкой конуса Абрамса. По нашему мнению, осадка конуса должна быть не более $1-1\frac{1}{2}$ см. Это требование вызывается следующими причинами.

Бетонирование опытных участков показало, что после 2—3 проходов Finischer'a трамбовкой по свежееуложенному слою бетона подвижность его настолько увеличивалась, что вследствие поперечного уклона профиля дороги (профиль односкатный) местами наблюдалось некоторое смещение более подвижных элементов смеси (выступающее при трамбовании цементное молоко, раствор) в сторону наиболее низкой точки профиля. Такого рода явление обнаруживалось в случаях, когда консистенция бетона характеризовалась осадкой конуса более 3—4 см.

Кроме того, в результате трамбования и выглаживания бетонной дороги Finischer'ом, на ее поверхности образуется корочка из цементного раствора, содержащего в себе значительное количество воды. Прочность и устойчивость против атмосферных воздействий такой корочки, очевидно, невелики. Осмотр дороги весной, по окончании холодного времени, показал, что местами тонкий поверхностный слой толщиной в 1—2 мм отделился от основного слоя дороги и разрушился.

Повидимому, разрушение слабой верхней корочки бетона объясняется действием низкой температуры.

Применение бетона более жесткого (с минимальной осадкой конуса), очевидно, и в этом отношении окажется более целесообразным, так как трамбованием будет вытесняться на поверхность дороги меньшее количество цементного молока, нежели при бетоне более пластичном.

Исключением являются лишь те случаи, когда при производстве работ будут применяться какие-либо меры по удалению с поверхности дороги выступившего цементного молока.

Применение более густой массы бетона может вызвать необходимость в усиленной обработке бетонного слоя дороги Finischer'ом. Возможно потребуются несколько увеличить число проходов машины при трамбовании и выглаживании. Однако при умелой организации производства работ, при правильной подаче бетона из бетономешалок и укладке на месте, это обстоятельство вряд ли значительно отразится на стоимости работ, качество же бетона, в смысле однородности его состава, повидимому, улучшится.

2) Результаты испытания контрольных образцов, изготовленных во время бетонирования показали, что соотношение между временным сопротивлением бетона сжатию и изгибу оказалось в пределах от $\frac{259}{29,4} = 8,8$ до $\frac{297}{28,7} = 10,4$, т.-е. практически равным 9—10.

Требования, которые предъявлялись бетону при проектировании, выработанные на основании опыта САСШ, предусматривали это соотношение равным 5—6.

Полученная разница могла бы быть объяснена формой поперечного сечения и размерами балочек¹⁾, однако производящиеся в настоящее время опыты Механической лаборатории ЛИИПС над бетонными балочками американского типа показывают, что временное сопротивление изгибу балочек такого типа менее $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{6}$ временного сопротивления сжатию и приближается к полученным в настоящей работе соотношениям.

Таким образом, учитывая результаты настоящего опыта, необходимо отметить, что в нашей практике придется путем систематических опытов как в лабораториях, так и на опытнодорожных станциях и строительствах установить действительные средние значения соотношений сопротивления бетона изгибу и сжатию для русских нормальных цементов,

Наблюдения же за бетоном, уложенным в опытных участках дорог, должны в дальнейшем дать материал для установления наиболее рациональных требований, предъявляемых такому бетону в отношении сопротивления изгибу.

3) Как видно из таблицы 6, по всем пяти участкам дороги образцы, вырезанные из одежды, имели временное сопротивление сжатию в 7-недельном возрасте ниже запроектированного (за исключением IV участка) и значительно ниже сопротивления контрольных образцов бетона, изготовленных при бетонировании (28-дневного возраста). Пониженные механические качества бетона дороги объясняются низкой температурой воздуха во время производства работ и в первые сроки твердения бетона.

Температура воздуха при бетонировании, в среднем, была ниже $+5^{\circ}\text{C}$, а по ночам иногда падала ниже 0° .

Контрольные же образцы, результаты испытания которых приведены во второй графе таблицы 6, через несколько дней после их из-

1) По американским нормам испытанию на изгиб подвергаются балочки $6 \times 6 \times 36$ см.

готовления (4—6 дней) были перевезены с места работ в Лабораторию, где и хранились во влажных опилках при температуре окружающего воздуха около $+18^{\circ}\text{C}$ до 28-дневного возраста, когда и были подвергнуты испытанию на сжатие.

Температурой окружающей среды, безусловно, и объясняется главным образом разница в прочности контрольных образцов и образцов, вырезанных из дороги.

Как же отразилась низкая температура воздуха на процессе твердения бетона в дальнейшем? Процесс твердения в первое время, очевидно, был замедленным, но все же он не прекращался, и испытания бетона, произведенные через 9 месяцев, показывают значительное нарастание прочности бетона по четырем участкам.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что образцы бетона, хранившиеся (после 6-недельного пребывания на воздухе) в опилках в помещении Лаборатории и испытанные почти одновременно с бетоном, находившимся всю зиму в дороге, показали одинаково значительное временное сопротивление (232 кг/см^2 и 214 кг/см^2 ; 309 кг/см^2 и 225 кг/см^2).

Отсюда можно вывести заключение, что процесс твердения бетона либо был слабо замедлен в зимнее время, либо по окончании холодного времени он протекал более интенсивно, нежели это происходит в бетоне соответственного возраста и находящегося в более благоприятных, в смысле температуры среды, условиях.

Последнее предположение наиболее вероятно и подтверждается результатами специального изучения Механической лабораторией ЛИИПС вопроса о влиянии низких температур на прочность бетона¹⁾.

В результате краткого изучения этого вопроса при сооружении опытной бетонной дороги все же надлежит отметить, что опасения за качество бетона, уложенного в период наступления заморозков, вышеизложенными испытаниями рассеяны. Считаясь с замедлением процесса твердения бетона, производство бетонных работ в холодное время (до -5°C) оказалось возможным даже без принятия каких-либо специальных мер (подогрев материалов, специальные добавки и т. д.).

II. Лабораторное исследование качества бетона для дорожных одежд.

Лабораторные исследования свойств бетона, предназначенных для дорожных одежд, согласно выработанному плану, разбиваются на две группы:

- а) изучение основных технических свойств бетона и
- б) изучение специальных свойств бетона, имеющих важное значение для бетона дорожных одежд.

¹⁾ Инж. П. В. Тарасов—„Влияние низких температур на прочность бетона“. Вып. 5 Ин-та Бетонов, 1931 г.

В первую группу вошло изучение зависимости крепости бетона от водоцементного отношения при применении цемента данного качества, изучение зависимости консистенции от номинального состава (расхода цемента на куб. метр бетона) и гранулометрического состава смеси инертных материалов, изучение повышения крепости бетона в период от 7-дневного до 28-дневного возраста и связь между временными сопротивлениями бетона сжатию и изгибу.

Во вторую группу входит изучение сопротивления бетона истиранию, сопротивления удару и его морозостойкость.

Результаты первого цикла изучения указанных вопросов приводятся ниже.¹

В лабораторных опытах применялись материалы, доставленные опытно-дорожной станцией.

Активность цемента (зав. „Пролетарий“ Новороссцемента, нормальный) по испытаниям — 200 кг/см^2 .

Песок употреблялся тщательно промытый. Модуль крупности песка — 3,5. Модуль крупности щебня (гранитный) — 8,8.

Инертные материалы предварительно высушивались, так что данные опыты относятся к сухим материалам.

1. Зависимость временного сопротивления бетона в кубиках сжатию и в балочках изгибу от водоцементного фактора.

Для построения зависимости $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$ Лабораторией изготовлялись кубики бетона размерами $20 \times 20 \times 20 \text{ см}$. Бетон приготавливался различных составов и с различными водоцементными отношениями, согласно нижеприведенной таблицы 7.

Совершенно одинаковых образцов (близнецов) для испытания на сжатие изготовлялось по 6 шт. Из них 3 образца испытывались в 7-дневном возрасте и 3 образца через 28 дней после изготовления. Кроме того, по каждому составу изготовлялось по 2 балочки размерами $80 \times 15 \times 8 \text{ см}$ для испытания на изгиб.

Исследования свойств бетона, произведенные ранее Механической лабораторией, показали, что на прочности бетона соотношение в смеси количеств мелких и крупных инертных материалов, при всех прочих равных условиях (водо-цементное отношение количество цемента и т. д.) в практически применяемых составах сильного влияния не имеет.

Поэтому для нахождения зависимости $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$ изготовлялся бетон при постоянном соотношении мелкого и крупного агрегата 1:1,22. Модуль крупности смеси инертных — 6,4.

Гранулометрический состав смеси инертных представлен графически на фиг. 2.

¹ Результаты исследования морозостойкости бетона изложены особо, см. инж. Тарасов, П. В. — „Влияние низких температур на прочность бетона“. Вып. 5 Ин-та Бетонов, 1931 г.

Консистенция бетона при изготовлении образцов измерялась осадкой конуса. Укладка бетонной массы в формы производилась стандартным способом в два слоя с применением штыкования металлическим стержнем диаметром в 12 мм.

До испытания образцы хранились во влажных опилках при температуре воздуха около $+18^{\circ}\text{C}$.

Испытание образцов на сжатие производилось на 200-тонном прессе Амслера и на изгиб на 60-тонном прессе Амслера сосредоточенным грузом, приложенным по середине пролета балки. Расстояние между опорами балочки при испытании $l = 60$ см.

Результаты испытания бетона сведены в таблицу 7.

ТАБЛИЦА 7.

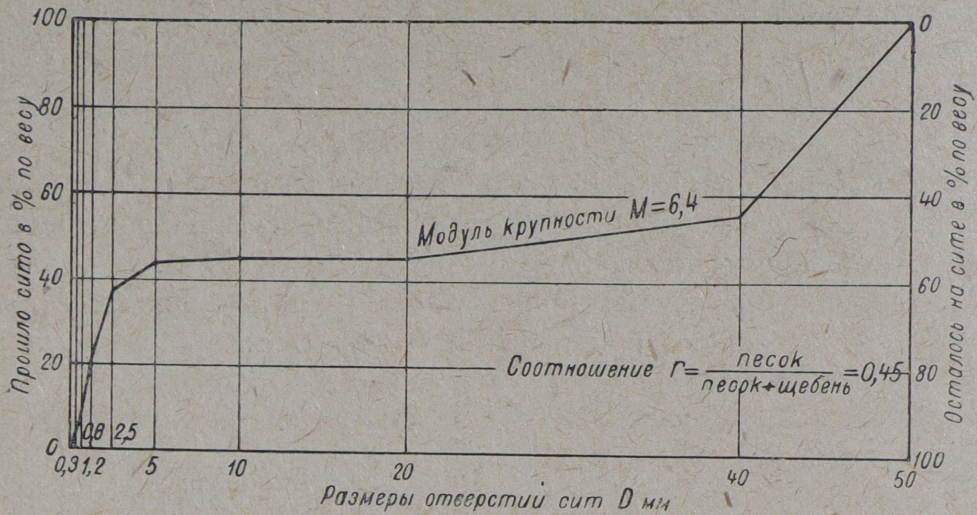
| №№ по порядку | Номинальный состав по объему | Расход цемента на 1 м ³ бетона, в килограммах | Водо-цементное отношение по весу | Осадка конуса в сантиметрах | Временное сопротивление в кг/см ² (средн.) | | | Отношение $\frac{R_{28}}{R'_{28}}$ |
|---------------|------------------------------|--|----------------------------------|-----------------------------|---|---------------|-----------------|------------------------------------|
| | | | | | Сжатию (R) | | Изгибу (R') | |
| | | | | | Через 7 дней | Через 28 дней | Через 28 дней | |
| 1 | 1:1, 35:1,65 | 481 | 0,39 | 3,8 | 186 | 269 | 29 | 9,3 |
| 2 | 1:1, 35:1,65 | 475 | 0,48 | 16,5 | 127 | 196 | 17 | 11,5 |
| 3 | 1:1, 35:1,65 | 467 | 0,55 | 19,5 | — | 130 | — | — |
| 4 | 1:2, 02:2,48 | 358 | 0,45 | 0,9 | 158 | 224 | 22 | 10,2 |
| 5 | 1:2, 02:2,48 | 348 | 0,60 | 15,8 | 93 | 142 | 11 ¹ | 12,9 |
| 6 | 1:2, 7:3,3 | 274 | 0,65 | 5,8 | 82 | 120 | 13 | 9,3 |
| 7 | 1:2, 7:3,3 | 276 | 0,75 | 10,8 | 74 | 83 | 8 | 10,4 |
| | Среднее | — | — | — | — | — | — | 10,6 |

Примечание. Объемные веса инертных материалов в стандартном состоянии (сухих) песок — 1,725 г/л. щебень — 1,515 г/л. рабочий вес цемента 1,300 г/л.

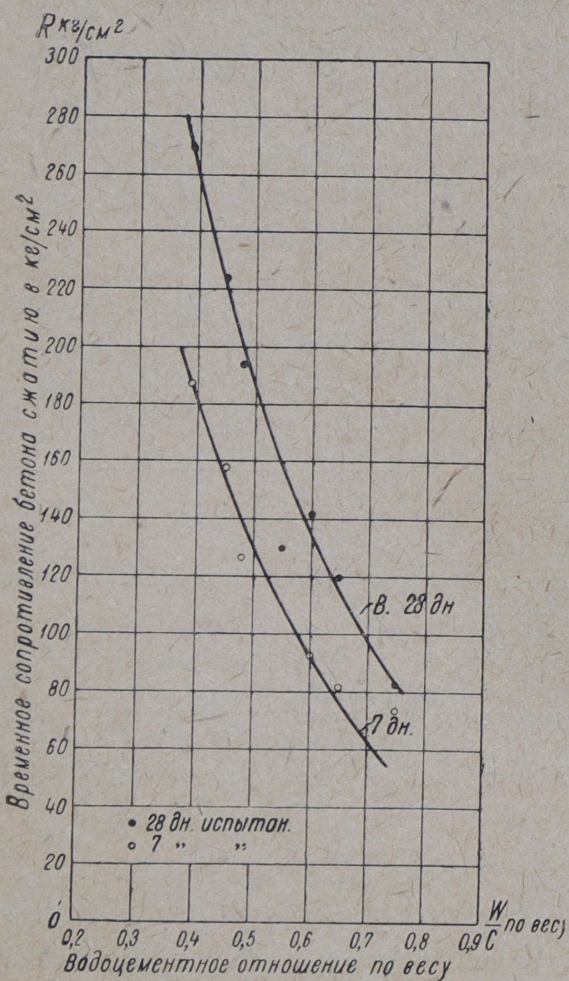
На основании результатов испытаний построены: а) график зависимости $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$ в возрасте 7 и 28 дней (см. фиг. 3) и б) график зависимости $R' = f\left(\frac{w}{c}\right)$ (см. фиг. 4).

Полученные зависимости позволяют найти связь между временным сопротивлением бетона сжатию в 7-дневном и 28-дневном возрасте, а также связь между временными сопротивлениями бетона сжатию (R) и изгибу (R').

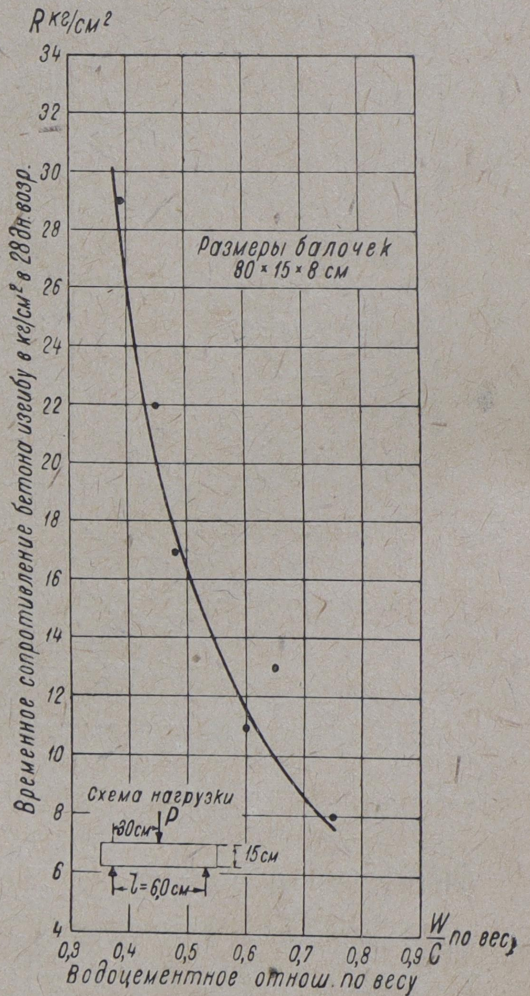
¹ Контрольная балочка повреждена до опыта и не подвергалась испытанию. Временное сопротивление, приведенное в таблице, относится к одной балочке.



Фиг. 2. График гранулометрического состава смеси инертных добавок в лабораторных исследованиях.



Фиг. 3. Зависимость врем. сопрот. бетона сжатию в 7- и 28-дн. возрасте от водоцементного отношения.



Фиг. 4. Зависимость врем. сопрот. бетона изгибу в 28-дн. возрасте от водоцементного отношения.

Переходный коэффициент от крепости бетона через 7 дней к крепости через 28 дней по изготовлении зависит, повидимому, от свойств портланд-цемента, от кривой нарастания его прочности.

Поэтому установленные ниже переходные коэффициенты должны быть отнесены к цементу данного качества.

Для оценки прочности цемента в 28-дневном возрасте по 7-дневным испытаниям в Германии применяется формула вида: $R_{28} = R_7 + n \sqrt{R_7}$

Среднее значение коэффициента „n“ по германским данным около 6.

По исследованиям Механической Лаборатории, производившимся ранее над бетонами с применением цемента зав. им. т. Воровского (б. Нева), значение коэффициента „n“ оказалось в пределах 5 — 8, причем для составов, наиболее часто применяющихся в практике, этот коэффициент, в среднем, равнялся 6 — 7.

В настоящем исследовании выявилась зависимость коэффициента „n“ от водоцементного отношения $\left(\frac{w}{c}\right)$, что видно из таблицы 8.

ТАБЛИЦА 8.

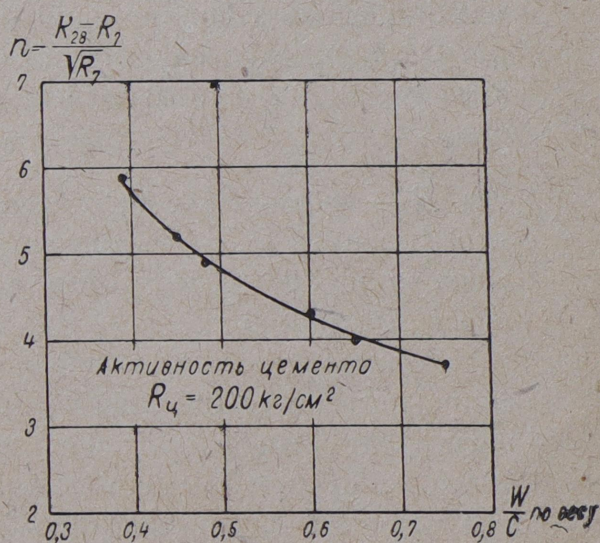
| Номинальный состав по объему | $\frac{w}{c}$ по весу | $n = \frac{R_{28} - R_7}{\sqrt{R_7}}$ | |
|------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------|
| | | По фактич. врем. сопр. | По кривой |
| 1:3 | 0,39 | 5,9 | 5,9 |
| 1:3 | 0,48 | 5,9 | 4,9 |
| 1:4,5 | 0,45 | 5,2 | 5,2 |
| 1:4,5 | 0,60 | 5,1 | 4,3 |
| 1:6 | 0,65 | 4,1 | 4,0 |
| 1:6 | 0,75 | — | 3,7 |

Зависимость эта представлена графически на фиг. 5.

Таким образом, как видно из вышеизложенного, на значении коэффициента „n“, помимо свойств самого цемента, отражается еще и содержание воды в бетоне.

Естественно, это обстоятельство осложняет пользование формулой рассматриваемого вида.

Влияние водоцементного фактора не обнаружено в данных опытах в значении другого коэффициента перехода, имеющего более простой вид отношения сопротивлений бетона в 28- и 7-дневном возрастах.



Фиг. 5.

Действительно, как это видно из таблицы 9, отношение $\frac{R_{28}}{R_7}$ при колебании $\frac{w}{c}$ от 0,39 до 0,65 находится в пределах 1,42 — 1,54 по фактическим результатам испытаний и в пределах 1,42 — 1,47 по значениям временного сопротивления, взятым с кривых $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$.

ТАБЛИЦА 9.

| По весу | Отношения $R_{28} : R_7$ | |
|---------|--------------------------|-----------|
| | По фактич. точкам | По кривой |
| 0,39 | 1,43 | 1,43 |
| 0,45 | 1,42 | 1,42 |
| 0,48 | 1,54 | 1,42 |
| 0,55 | — | 1,43 |
| 0,60 | 1,52 | 1,47 |
| 0,65 | 1,50 | 1,47 |
| | Ср. 1,48 | Ср. 1,44 |

Для цемента иного качества, нежели принятый в настоящих опытах, отношение $R_{28} : R_7$, возможно, окажется иным.

Дальнейшие исследования, производящиеся в настоящее время в Механической лаборатории должны более полно осветить этот вопрос.

Практически же рациональнее всего при настоящем положении этого вопроса устанавливать из 2 — 3 опытов соотношение между 7- и 28-дневном испытаниями бетона с данным цементом с тем, чтобы применять это соотношение в практике строительства для суждения о 28-дневном сопротивлении бетона по краткосрочным испытаниям.

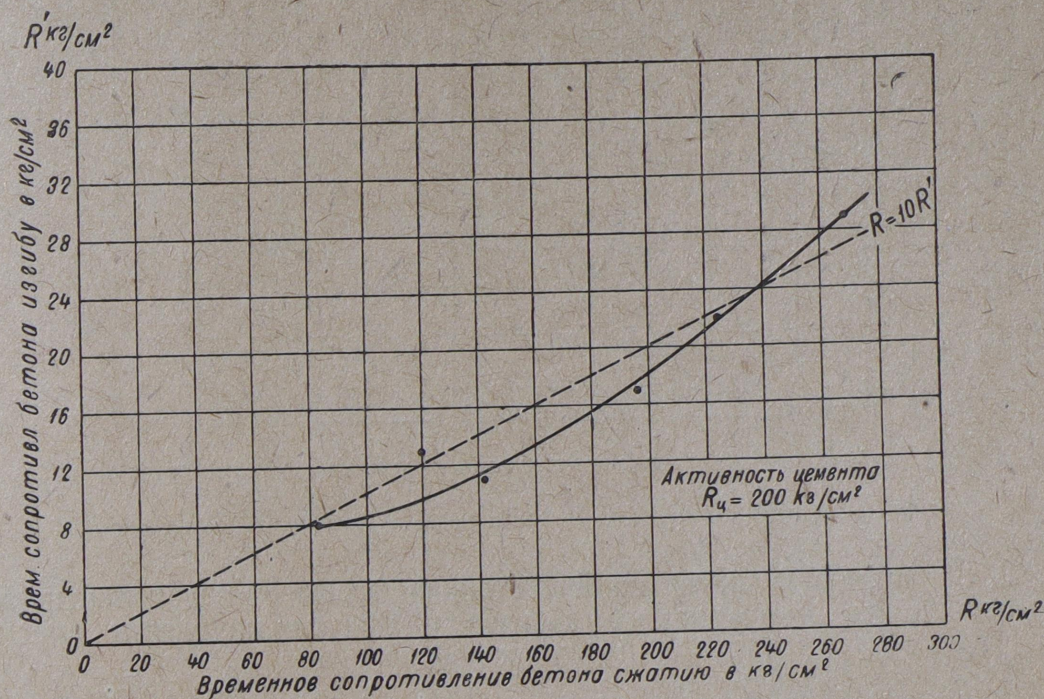
Связь между сопротивлением бетона сжатию и изгибу представлена графически на фиг. 6 и может быть практически выражена формулой:

$$R = 10 \cdot R',$$

где R — временное сопротивление бетона сжатию через 28 дней после изготовления, а R' — временное сопротивление изгибу бетонной балочки размерами $80 \times 15 \times 8$ см при пролете $l = 60$ см через 28 дней после изготовления.

Установленное соотношение, помимо того, что позволяет оценить сопротивление бетона изгибу при расчетах и проектировании дороги, дает еще возможность производить оценку качества бетона на месте работ при помощи весьма несложных приспособлений. Испытание бетонной балочки на изгиб (вместо испытания бетонных кубиков на сжатие) возможно осуществить на любой постройке даже при от-

сутствии каких-либо испытательных машин. Испытание может быть произведено непосредственной нагрузкой балки кирпичом или каким-нибудь другим имеющимся на строительстве грузом.



Фиг. 6. Соотношение временных сопротивлений бетона сжатия (R) и изгибу в 28-дн. возрасте.

В то же время отклонения результатов испытаний при тщательном проведении их от общего закона $R' = f\left(\frac{w}{c}\right)$ практически невелико, как это видно из фиг. 4.

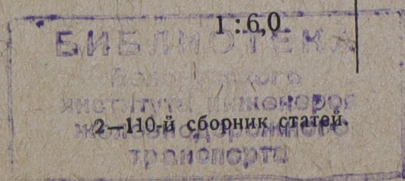
2. Расход цемента.

Расход цемента, согласно произведенных при испытаниях подсчетов, зависит главным образом от номинального состава и почти не зависит от его консистенции (в пределах от слабо пластичного до литого) при данных инертных материалах и цементе.

Средние значения расхода цемента при различных составах сведены в таблицу 10.

ТАБЛИЦА 10.

| Номинальный состав по объему | Крайние значения расхода цемента в опытах | | Средние значения расхода цемента на 1 м³ бетона килограммов |
|------------------------------|---|---------|---|
| | Макс. кг | Мин. кг | |
| 1:3,0 | 486 | 467 | 477 |
| 1:4,5 | 366 | 342 | 358 |
| 1:6,0 | 280 | 271 | 275 |



На фиг. 7 изображена графически зависимость расхода цемента в функции от номинального состава бетона.



Фиг. 7. Зависимость расхода цемента на 1 м³ бетона от номин. состава.

3. Зависимость консистенции бетонной массы от водоцементного отношения, номинального состава и модуля крупности смеси инертных добавок.

При затворении образцов бетона для испытаний консистенция измерялась по осадке конуса.

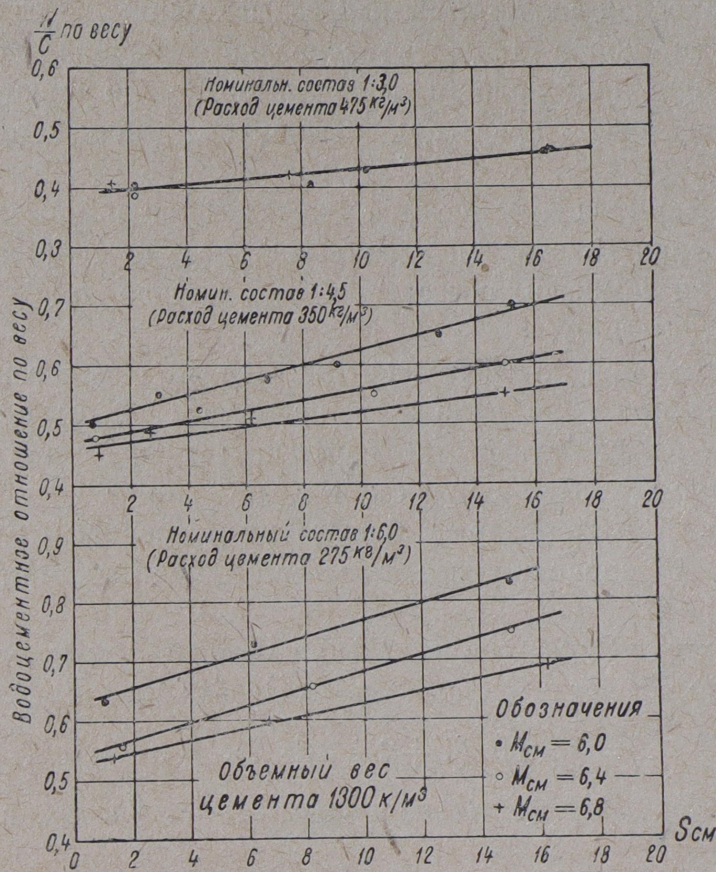
Кроме того, по нижеприведенной программе (см. таблицу 11) готовились небольшие замесы, консистенция которых и определялась по осадке конуса.

Результаты опытов с конусом сведены в таблицу 11.

ТАБЛИЦА 11.

| Номинальный состав по объему | Соотношение объемов песок / (пес. + щебень) = 0,38 | | Соотношение объемов песок / (пес. + щебень) = 0,45 | | Соотношение объемов песок / (пес. + щебень) = 0,53 | |
|------------------------------|--|----------------------------------|--|----------------------------------|--|----------------------------------|
| | $\frac{w}{c}$ по весу | Осадка конуса S (ср. из 3), в см | $\frac{w}{c}$ по весу | Осадка конуса S (ср. из 3), в см | $\frac{w}{c}$ по весу | Осадка конуса S (ср. из 3), в см |
| 1 : 3 | 0,41 | 1,5 | 0,41 | 2,2 | 0,39 | 2,2 |
| 1 : 3 | 0,43 | 7,7 | 0,43 | 10,2 | 0,41 | 8,3 |
| 1 : 3 | 0,46 | 16,5 | 0,46 | 16,4 | 0,46 | 16,5 |
| 1 : 4,5 | 0,45 | 0,9 | 0,48 | 0,8 | 0,50 | 0,7 |
| 1 : 4,5 | 0,49 | 2,7 | 0,53 | 4,4 | 0,55 | 3,0 |
| 1 : 4,5 | 0,51 | 6,2 | 0,55 | 10,5 | 0,53 | 6,8 |
| 1 : 4,5 | 0,55 | 15,0 | 0,60 | 15,0 | 0,60 | 9,2 |
| 1 : 6 | 0,54 | 1,8 | 0,56 | 1,6 | 0,63 | 1,0 |
| 1 : 6 | 0,60 | 6,8 | 0,66 | 8,2 | 0,73 | 6,2 |
| 1 : 6 | 0,69 | 16,8 | 0,75 | 15,0 | 0,83 | 15,0 |

На фиг. 8 — 11 изображены зависимости осадки конуса (консистенции) S в функции водоцементного отношения $\left(\frac{w}{c}\right)$.



Фиг. 8, 9 и 10. Зависимость осадки конуса „ S “ от водоцементного отношения.

График на фиг. 11 представляет сводку всех найденных зависимостей консистенции.

4. Сопротивление бетона удару.

Для изучения сопротивляемости бетона ударному действию нагрузки лабораторией было изготовлено 27 бетонных образцов — плит размерами 40 × 40 × 10 см. Бетон применялся трех составов (1:1,2:1,8; 1:1,8:2,7 и 1:2,4:3,6) и различных консистенций (см. таблицу 12). После 28-дневного хранения образцов во влажных опилках они подвергались ударному испытанию на копре.

Испытательная установка заключалась в следующем.

В деревянный ящик размерами в плане 100 × 100 см насыпался слой песка толщиной в 25 см. Песок тщательно утрамбовывался и поверхность его выравнивалась. Испытуемая плита укладывалась на эту песчаную подушку посредине ящика. Горизонтальность верхней поверхности образца выверялась по уровню. Вся эта установка производилась под копром, причем образец укладывался так, чтобы под-

вешенная на копре гиря в самом нижнем своем положении касалась центра образца.

Копер, применявшийся в опытах, состоит из двух деревянных направляющих, на одной из которых нанесены деления через 1 см. Между направляющими копра двигается деревянная планка, которая может быть зажимаема при помощи винта в любом по высоте положении. Снизу планка имеет крючок, к которому подвешивается гиря весом в 5 кг.

Падение гири осуществляется нажимом на рычажок, с которым соединен крючок. Крючок, поворачиваясь вокруг горизонтальной оси, на которую он насажен, позволяет гире свободно падать. Гиря имеет грушеобразную форму.

После установки образца планка с гирей поднималась на такую высоту, чтобы низ гири находился на высоте 10 см от поверхности плиты. Гиря сбрасывалась на образец. Второй удар производился с высоты 20 см, третий с 30 см и т. д.

Испытание прекращалось с появлением трещины в образце, что определялось по внешнему освидетельствованию плиты после каждого удара.

За характеристику сопротивления бетона удару условно была принята работа, потраченная на раздробление, вычислявшаяся по формуле:

$$T = 5 \times 10 (1 + 2 + 3 + \dots + n) \text{ кг} \cdot \text{см},$$

где T — работа, затраченная на раздробление образца, в килограммо-сантиметрах.

n — число ударов до разрушения.

Вес гири — 5 кг. Ступень подъема гири — 10 см.

Результаты испытаний сведены в таблице 12. В этой же таблице помещены результаты испытаний на сжатие кубиков (среднее из двух испытаний), близнецов по составу с плитами. Кубики изготавливаются в параллель с плитами из одних с ними замесов для более надежного установления связи между сопротивлением удару и статической нагрузкой.

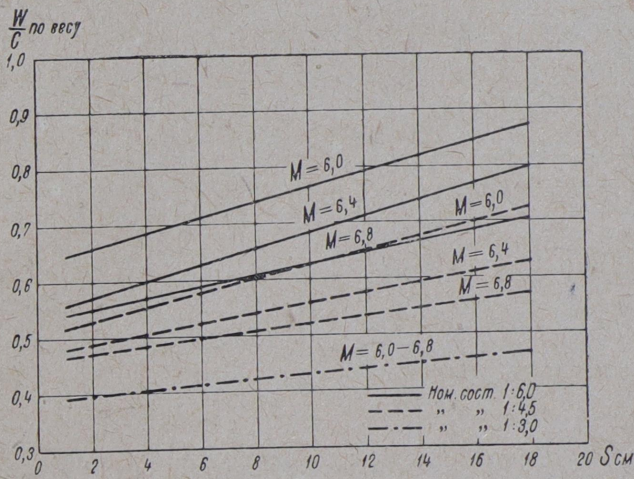
ТАБЛИЦА 12.

| №№ по порядку | Номинальный состав по объему | $\frac{w}{c}$ по весу | Результаты испытания плит ударной нагрузки | | Временное сопротивле- ние кубиков сжатию, кг/см ² |
|---------------|---------------------------------|--------------------------|---|---|--|
| | | | Число уда- ров до разрушения (сред.) | Полная ра- бота разру- шения (сред.) кг·см | |
| 1 | 1 : 1,2 : 1,8 | 0,37 | 16 | 6850 | 293 |
| 2 | 1 : 1,2 : 1,8 | 0,44 | 14 | 5080 | 240 |
| 3 | 1 : 1,8 : 2,7 | 0,43 | 14 | 5570 | 280 |
| 4 | 1 : 1,8 : 2,7 | 0,53 | 10 | 2770 | 179 |
| 5 | 1 : 2,4 : 3,6 | 0,52 | 10 | 2800 | 199 |
| 6 | 1 : 2,4 : 3,6 | 0,64 | 9 | 2270 | 143 |

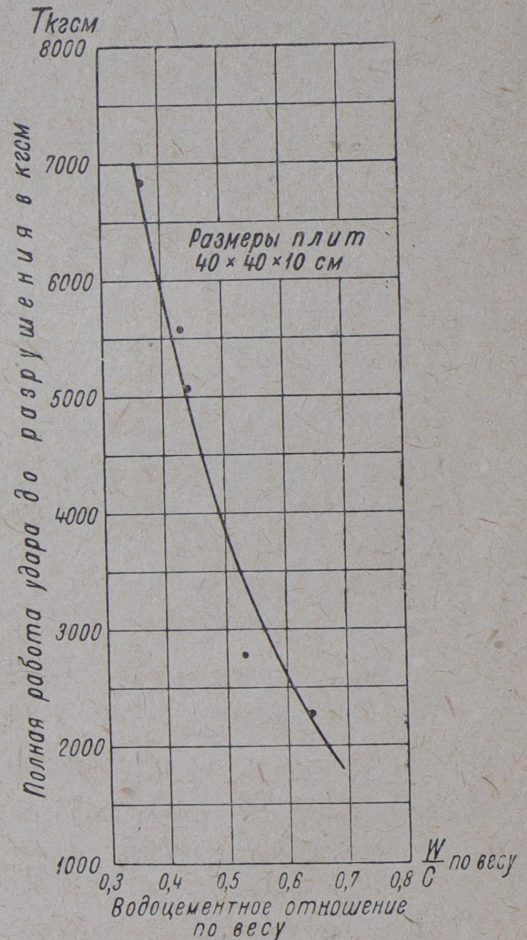
Как видно из таблицы 12, сопротивление бетона удару зависит от водоцементного отношения состава бетона.

На фиг. 12 нанесены точками результаты испытания плит на удар в координатной системе $T = f\left(\frac{w}{c}\right)$. Кривая, проведенная между опытными точками, имеет вид гиперболы, совершенно аналогичный с основной кривой прочности бетона $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$. Из графика наглядно видно, что с увеличением водоцементного фактора сопротивление бетона удару закономерно снижается.

Подчинение степени сопротивляемости бетона удару и сжатию статической нагрузкой одинаковому закону приводит к выводу, что между этими двумя видами характеристики существует некоторая пропорциональность.



Фиг. 11. Сводный график зависимости осадки конуса (S) от водоцементного отношения $\left(\frac{w}{c}\right)$.



Фиг. 12. Зависимость сопротив. бетона удару в возрасте 28 дн.

Фиг. 13 представляет собою изображение связи между T и R , построенной по кривым $T = f\left(\frac{w}{c}\right)$ и $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$, полученным в данных опытах путем исключения $\left(\frac{w}{c}\right)$.

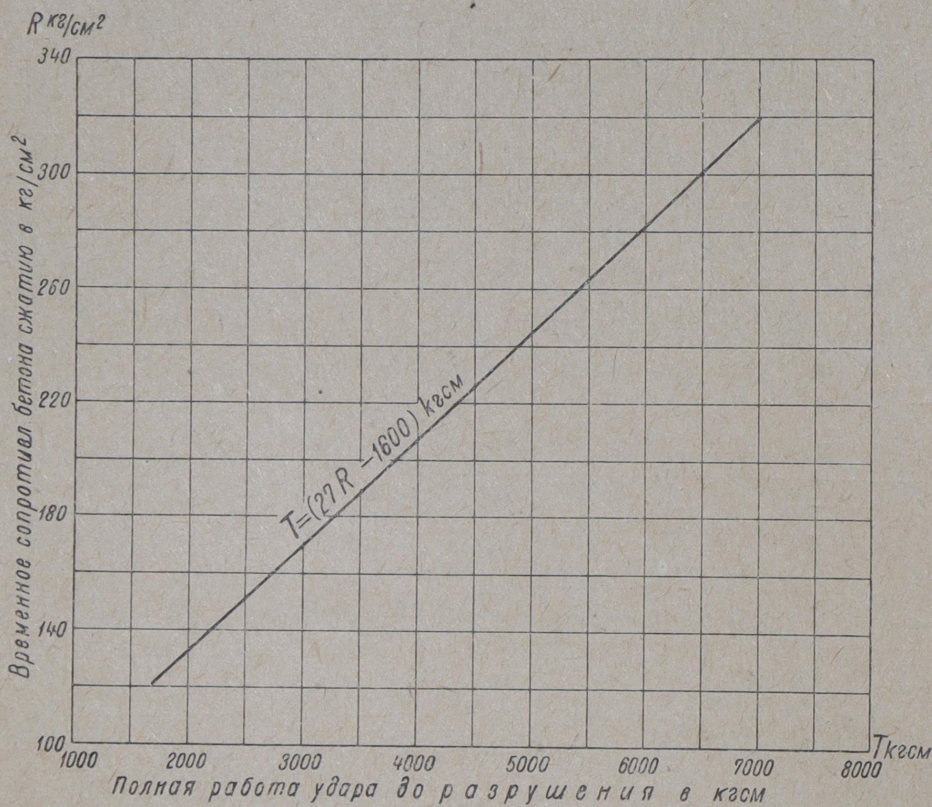
Графически связь эта представляется прямой линией, имеющей в данном случае ур-ние:

$$T = (27 R - 1600) \text{ кг}\cdot\text{см},$$

где R — временное сопротивление бетона сжатию в $\text{кг}/\text{см}^2$.

Таким образом результаты испытания бетона ударной нагрузкой приводят к следующим заключениям:

1) Проектирование дорожной одежды из бетона может и должно базироваться на значениях сопротивления бетона сжатию статической нагрузкой; практика и опыт должны лишь установить известные нормы требуемых значений временного сопротивления бетона сжатию для различного рода типов одежды.



Фиг. 13. Соотношение между врем. сопрот. бетона сжатию и полной работой удара до разрушения в 28-дн. возрасте.

2) С другой стороны, найденная связь между сопротивлением бетона сжатию и удару позволяет полагать, что испытание бетона ударной нагрузкой может явиться одним из способов оценки механических свойств бетона в условиях строительства.

Данное испытание не требует сложных приспособлений. Устройство копра для испытаний чрезвычайно несложно и возможно даже на небольших постройках.

Потребуется только путем предварительного сравнения сопротивления бетона сжатию и удару установить требуемое от данного бетона (при дальнейшем контроле прочности) значение T .

5. Истираемость бетона.

Параллельно с испытанием бетона ударной нагрузкой лабораторией были приведены опыты по установлению сопротивления бетона истиранию. Для испытания на истирание изготавливались образцы размерами $10 \times 10 \times 10$ см из бетона, испытанного ударной пробой. Испытание производилось на круге Баушингера.

В результате испытания установлено, что сопротивление бетона истиранию не зависит от водоцементного фактора состава бетона и, повидимому, главным образом зависит от истираемости инертных добавок. Испытанию на истирание были подвергнуты бетоны, состав (номинальный) которых изменялся от 1:3 до 1:6 (1:1,2:1,8; 1:1,8:2,7 и 1:2,4:3,6). Водоцементное отношение в указанных составах колебалось от 0,37 до 0,64.

Потеря же в весе образцов после 1600 оборотов круга Баушингера колебалась от 26 до 32 г на 100 оборотов круга, причем никакой связи как с расходом цемента, так и с водоцементным фактором не было обнаружено.

В настоящее время лабораторией приступлено к сравнительному изучению истираемости бетона с различными родами инертных добавок.

Параллельно изучается и истираемость материала инертных добавок.

В заключение необходимо отметить, что изложенные выше результаты исследований не являются исчерпывающими в деле изучения бетона с точки зрения применения его в качестве дорожной одежды. Однако совместно с дальнейшими результатами изучения этого вопроса они могут послужить некоторой основой для выработки норм и правил по сооружению бетонных дорог.

Дальнейшие исследования должны также, повидимому, базироваться на основе полученных результатов.

При сооружении же новых опытных участков бетонных дорог изложенный выше опыт изучения бетона на месте работ, а также и результаты лабораторных исследований бетона, могут способствовать правильной постановке производства работ и контроля над качеством бетона.

И. Александрин.

Механическая лаборатория
им. проф. Н. А. Белелюбского
Ленинградского института инженеров
путей сообщения.

нейных уравнениях первого порядка в частных производных с двумя независимыми переменными—25 коп.

ВЫП. 98. — Воздушные сообщения. Автотранспорт. — 265 стр. Цена 4 р.

Проф. Н. П. Пузыревский. — Отделение воздушных сообщений при факультете водных и воздушных сообщений в ЛИИПС — 40 к. *Проф. А. А. Саткевич.* — Определение скоростей в плоском вихревом потоке — 40 коп. *А. И. Кефели.* — Новая малая аэродинамическая труба Ленинградского института инженеров путей сообщения — 72 к. *В. И. Дудаков.* — О расчете деревянных коробчатых лонжеронов с равнопрочными полками — 96 коп. *А. Г. Воробьев.* — Гидростатическое испытание моделей аэростатов — 45 к. *Проф. Н. А. Рынин.* — Графики работы аэролинии — 92 к. *Проф. Д. И. Юскевич.* — К расчету мощности радиостанций — 24 к. *В. И. Дмитревский.* — О применении аэрофотосъемки в водном строительстве — 52 к. *Проф. В. Е. Тимонов.* — Некоторые моменты из истории аэронавигации и авиации в транспортном ведомстве СССР — 28 к. *Ю. А. Степанов.* — Графический метод тягового расчета грузовых автомобильных перевозок — 32 к.

ВЫП. 99. — Строительная механика. — 298 стр. 146 черт. и рис. Цена 5 р.

Проф. Н. П. Пузыревский. — Теория напряженности землистых грунтов — 1 р. 30 к. *И. В. Яропольский.* — О применении теории упругости к расчету естественных оснований — 50 к. *Г. А. Спальвинг.* — Допускаемые напряжения на основания фундаментов — 80 к. *Проф. Б. Ю. Калинович.* — Некоторые данные к расчету высоконапорных каменных и бетонных плотин — 25 к. *Проф. Б. Г. Галеркин.* — К исследованию напряжений в плотинах и подпорных стенах трапециoidalного профиля — 50 к. *В. С. Блинов.* — К вопросу о рациональном очертании сводов — 15 к. *В. П. Фармаковский.* — Условия жизнестойкости графических расчетов — 35 к. *И. П. Александрин.* — О продольном изгибе стержней переменной жесткости — 30 к. *В. К. Качурин.* — Балка переменного сечения — 80 к. *Н. В. Перепечин.* — О расчете мостов по эквивалентным нагрузкам — 35 к. *В. А. Гастев.* — К вопросу о расчете устойчивости сжатых поясов открытых мостов — 30 к. *Проф. Н. М. Беллев.* — К вопросу о местных напряжениях в связи с сопротивлением рельс смятию — 30 к.

ВЫП. 100. — Транспортный. — 556 стр., 258 черт. и рис. Цена 7 р.

Проф. Г. Д. Дубелир. — Механика транспорта — 85 к. *Н. Н. Иванов.* — Взаимодействие колеса и дороги — 70 к. *А. Г. Стеткевич.* — Сопротивление в кривых в зависимости от месторасположения паровозов в поездах — 50 к. *П. В. Мелентьев.* — Номограмма для решения тормозных задач — 10 к. *Б. С. Доможиров.* — Пропитка шпал сивашской рапой — 25 коп. *П. Г. Сидоренко.* — Мосты с двухсторонним расходом — 30 коп. *Проф. Н. М. Ушаков.* — Временное водоснабжение на железных дорогах — 45 к. *Проф. Б. Г. Галеркин.* — Напряженное состояние цилиндрической трубы в упругой среде — 20 к. *Проф. А. М. Фролов.* — Классификация инженерных сооружений — 40 к. *С. В. Завацкий.* — Военно-разбор-

ный мост под обыкновенную дорогу, пролетом до 37 м — 45 к. *Проф. А. Н. Фролов.* — Основные элементы проблемы специализации товарных поездов — 60 к. *П. Я. Гордеенко.* — Опыт экономического сравнения разных видов параллельн. графика движения поездов — 30 к. *Б. Н. Мозес.* — Себестоимость железнодорожной перевозки по отдельным участкам дороги — 60 к. *Г. А. Рождественский.* — Очередные задачи статистики грузовых перевозок на железных дорогах — 15 к. *Проф. Е. В. Михальцев.* — Железная дорога, как транспортное предприятие — 50 коп. *Проф. В. Е. Ляницкий.* — Работы по закрытию и частичной засыпке Южно-Голландского моря (Зюдерзее) — 65 коп. *Проф. Н. А. Рынин.* — Метеорологическая трасса аэролинии — 1 р. 30 к. *Проф. А. А. Саткевич.* — О распределении скоростей внутри вихря кругового сечения — 35 к. *В. И. Дудаков.* — Расчет земных пробегов аэроплана перед взлетом и после посадки — 60 к. *Е. Е. Дубровин.* — Определение грузоподъемности самолета для борьбы с саранчей — 20 к. *В. А. Константинов.* — О влиянии удлинения крыльев на потолок самолета — 50 коп. *Б. П. Гушин.* — Указатель статей, вошедших в сто выпусков — 50 к.

ВЫП. 101. — Прикладная механика. Геодезия. Математика. — 327 стр., 156 черт. и рис. Л. 1929. Цена 5 р.

Проф. В. В. Арнольд. — Кинематический анализ рабочего механизма одноковшевого экскаватора — 50 коп. *Проф. Б. Ю. Калинович.* — Тяговые характеристики буксирного парохода — 50 к. *Проф. Н. А. Рынин.* — Теория реактивного движения — 1 р. 30 к. *А. Г. Воробьев.* — Очерки по строительной механике воздушных кораблей. Расчет баллонных проволочных жестких кораблей — 65 к. *Е. В. Краснов.* — О сопротивлении пластинок — 25 к. *Н. Н. Костромитин.* — Выбор типа оборудования подстанций — 80 к. *А. М. Годыцкий-Цвирко.* — Юбилей веревочного многоугольника — 50 к. *А. Н. Адамович.* — Исследование базисных приборов Едерина — 40 коп. *П. Г. Сидоренко.* — Тахеометрия на изысканиях дорог — 45 к. *Д. И. Каргин.* — О точности графических расчетов — 40 к. *Б. Н. Николаев.* — Новое доказательство теоремы Полке — 20 к. *Б. П. Гушин.* — Станок для вычерчивания кривых — 20 коп. *Проф. Н. М. Гюнтер.* — О системах линейных ур-й первого порядка в частных производных с двумя переменными независимыми — 20 к.

ВЫП. 102. — Железнодорожный транспорт. Военные сообщения. — 214 стр., 63 черт. и рис. Цена 3 р. 50 к.

В. И. Ледовской. — Формы управления железными дорогами в первые годы революции — 30 к. *Проф. А. Н. Фролов.* — Теория обращения поездов на однопутном участке — 45 к. *Проф. К. Н. Кашкин.* — О сверхмагистралах и „Сверхмагистрализации“ железных дорог — 30 к. *П. Г. Сидоренко.* — Определение строительной стоимости железных дорог по формулам — 1 р. 20 к. *Проф. В. А. Глазырин.* — Поселки-сады и поселки на путях сообщения — 65 к. *Проф. Н. М. Беллев.* — Вычисления наибольших расчетных напряжений при сжатии соприкасающихся тел — 45 коп. *Проф. А. В. Сапожников.* — Окраска метал-