

ТРУДЫ

ПЕРВОГО ВСЕСОЮЗНОГО (XIII) ВОДОАРОВОДНОГО
И САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СЪЕЗДА

в г. Баку 1925 г.

Выпуск 1

Очереди. номер изданий Пост. Бюро № 65.

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН В ПРИМЕНЕНИИ К
САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКИМ СООРУЖЕНИЯМ.

Доклады, прения, постановления.

Редакционный Комитет: проф. П. С. БЕЛОВ, инж. Ф. А. ДАНИЛОВ,
проф. В. А. ДРОЗДОВ, инж. Я. Я. ЗВЯГИНСКИЙ,
инж. А. В. КОНДРАШЕВ и инж. Н. И. ФАЛЬКОВСКИЙ.

Москва—1926 г.

TRAVAUX

DU 1^{ER} (XIII^{EME}) CONGRÈS DU GENIE SANITAIRE
DE L' U. R. S. S.

à Bakou en 1925.

1^{ère} LIVRAISON

Édition du Bureau Permanent № 65.

APPLICATIONS DU BÉTON ET DU BÉTON ARMÉ DANS LE DOMAINE
DES CONSTRUCTIONS TECHNIQUES DU GENIE SANITAIRE.

Rapports, débats, arrêtés.

Comité de rédaction: P. S. BIELOFF, prof., F. A. DANILOFF, Ing.,
W. A. DROZDOFF, prof., J. J. ZWIABINSKY, Ing.,
A. W. KONDRAGNEFF, Ing., N. I. FALKOWSKY, Ing.

Москва—1926.

Т Р У Д Ы

ПЕРВОГО ВСЕСОЮЗНОГО (XIII) ВОДОПРОВОДНОГО И
САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СЪЕЗДА.

в г. Баку 1925 г.

Выпуск 1

Очередн. номер изданий Пост. Бюро № 65.

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН В ПРИМЕНЕНИИ К
САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКИМ СООРУЖЕНИЯМ.

Доклады, прения, постановления.

Редакционный Комитет: проф. П. С. БЕЛОВ, инж. Ф. А. ДАНИЛОВ,
проф. В. А. ДРОЗДОВ, инж. Я. Я. ЗВЯГИНСКИЙ,
инж. А. В. КОНДРАШЕВ и инж. Н. И. ФАЛЬКОВСКИЙ.

МОСКВА — 1926 г.

TRAVAUX

DU 1^{ER} (XIII^{ÈME}) CONGRES DU GENIE SANITAIRE DE L' U. R. S. S.
à Bakou en 1925.

1^{ère} Livraison.

Edition du Bureau Permanent № 65.

APPLICATIONS DU BETON ET DU BETON ARMÉ DANS LE DOMAINE
DES CONSTRUCTIONS TECHNIQUES DU GENIE SANITAIRE.

Rapports, débats, arrêtés.

Comité de rédaction: P. S. Bieloff, prof., F. A. DANILOFF, ing.,
W. A. DROZDOFF, prof., J. J. ZWIAGJNSKY, ing.,
A. W. KONDRACHEFF, ing., N. I. FALKOWSKY, ing.

МОСКОВ — 1926.

Типография М. К. Х. им. Ф. Я. Лаврова,
Бородинский мост, Варгунихина гора, 8.
Главлит № 71450. Москва, 1926 год.
Напечатано 2.000 экз.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
1. От Президиума Постоянного Бюро	5
2. Проф. П. С. БЕЛОВ—Вопросы применения бетона и железобетона в водопроводном и канализационном строительстве—на Водопроводных и Санитарно-Технических Съездах	7
3. Проф. П. А. ВЕЛИХОВ—О нормативных работах последних лет в области строительных материалов и инженерных сооружений, могущих иметь значение для водопроводного и канализационного дела	10
4. Проф. А. А. БАЙКОВ—О влиянии на бетон органических и неорганических соединений, находящихся в воде	27
5. Инж. Г. К. ДЕМЕНТЬЕВ—Цемент в применении к водопроводно-канализационному и нефтяному делу в зависимости от влияния на него грунтовых и буровых вод	39
6. Проф. В. А. ДРОЗДОВ—Влияние сточной жидкости и грунтовых вод на разрушение бетонных труб	48
7. Инж. В. Э. ПОВОДВОРСКИЙ—О железобетоне в водопроводном и канализационном деле	53
8. Постановление Съезда по докладам: проф. П. А. Велихова, проф. А. А. Вайкова, инж. Г. К. Дементьева, проф. В. А. Дроздова и инж. В. Э. Новодворского	111
9. Инж. А. Н. МЯМЛИН—Дефекты бетонного водовода «Шоллар-Баку»	111
10. Проф. П. С. БЕЛОВ—Причины повреждения бетонного водовода «Шоллар-Баку» и общие мероприятия по борьбе с ними. (Доклад о работе Комиссии организованной на Съезде)	154
11. Постановление Съезда по докладам: А. Т. Савостьянова, инж. А. Н. Мямлина, и Комиссии по рассмотрению вопросов о повреждениях бетонного водовода Баку-Шолларского водопровода и по выработке общих мероприятий по борьбе с ними	170

ОТ ПРЕЗИДИУМА ПОСТОЯННОГО БЮРО ВСЕСОЮЗНЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ И САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СЪЕЗДОВ.

На состоявшемся в городе Баку с 25 апреля до 4 мая 1925 г. I-й Всесоюзном (XIII) Водопроводном и Санитарно-Техническом Съезде было заслушано 146 докладов; Свод постановлений Съезда по этим докладам издан Президиумом Постоянного Бюро в 1925 году¹⁾. В настоящее время от Научно-Технического Отдела ВСНХ получены денежные средства в сумме 2.500 рублей, дающие возможность приступить к началу издания Трудов Съезда.

Одновременный выпуск в свет всех Трудов I Всесоюзного Съезда в виду обширности их, мог бы, даже при полной обеспеченности денежными средствами на издание, на долгое время задержаться печатанием; поэтому Президиум Постоянного Бюро решил издавать Труды отдельными выпусками, классифицируя их по отдельным группам вопросов; порядок выпуска устанавливается в зависимости от готовности к печати всех докладов, диаграмм, чертежей и проч., входящих в данную группу.

Настоящий первый выпуск Трудов I Всесоюзного Водопроводного и Санитарно-Технического Съезда включает в себя доклады по бетону и железобетону в применении к санитарно-техническим сооружениям²⁾.

Ограниченность денежных средств вынуждает Президиум Постоянного Бюро отказаться воспроизводить полностью стенографические записи прений; эти последние или приходится сокращать или же перерабатывать их в более компактную, систематически по разбираемому вопросу изложенную, форму.

В ближайшем II-ом выпуске Трудов будут помещены доклады по благоустройству и очистке населенных мест.

¹⁾ Свод постановлений I Всесоюзного (XIII) Водопроводного и Санитарно-Технического Съезда; г. Баку 25 апр.—4 мая 1925 г.; очередной номер изданий Постоянного Бюро—60; г. Москва, 1925 г.

Склад изданий: Постоянное Бюро Всесоюзных Водопроводных и Санитарно-Технических Съездов—г. Москва, ул. Карла Маркса, д. № 33.

²⁾ Весь материал по этому выпуску подготовлен для печати П. С. Беловым.

Выход из печати остальных выпусков Трудов Съезда:

- III вып.—доклады по водоснабжению;
- IV > > > канализации и очистки сточных вод;
- V > > > вопросам железнодорожного водоснабжения;
- VI > > > > механического оборудования;
- VII > > > разным вопросам.

— будет зависеть всецело от дальнейшего притока денежных средств на издание, так как сами выпуски в настоящее время вполне к печати подготовлены.

Председатель Президиума Постоянного Бюро
проф. П. С. Белов.

Вопросы применения бетона и железобетона в водопроводном и канализационном строительстве на Водопроводных и Санитарно-Технических С'ездах.

На первых двенадцати Водопроводных и Санитарно-Технических С'ездах (1893—1922 г.г.)—вопросы о применении бетона и железобетона в специальном водопроводном и канализационном строительстве были затронуты в трех докладах.

Первым по времени был заслушан доклад инженера Н. А. Житкевича на IV С'езде (Одесса, 1899 г.¹); докладчик приходил к заключению, что железо-бетон является материалом вполне подходящим для устройства канализационных и водопроводных труб; доклад вызвал оживленные прения, в результате которых автор доклада не только не нашел большего числа сторонников высказанного им вышеприведенного заключения, но даже не собрал большинства принять следующие, выставленные им, тезисы: 1) выяснить, желательны ли применение железобетона в канализации и водоснабжении и 2) желательны ли выяснение тех удачных и неудачных случаев, которые были в практике русских инженеров; доклад, признанный С'ездом чрезвычайно интересным, был принят только к сведению.

Вторым по времени был доклад инженера С. И. Рудницкого «Железо-бетонные резервуары на наших железных дорогах», заслушанный на VIII С'езде (б. С.-Петербурге, 1907 г.²); доклад, заканчивающийся рядом выводов об условиях непроницаемости резервуаров, об их конструкции, о недопустимости увлечения конкуренцией при сдаче работ по железо-бетонным сооружениям и о необходимости поднятия общего культурного уровня рабочих—был принят С'ездом также к сведению.

Оживление санитарно-технического строительства в годы, предшествовавшие мировой войне, а частью в годы войны—вызвало к жизни усиленное применение для водоводов бетонных труб и каналов; в этот период был сооружен грандиозный Баку-Шолларский водовод для водоснабжения г. Баку, построена канализация из бетонных труб

¹) Доклад военного инж. П. А. Житкевича: «Применение железобетона к канализации и водоснабжению городов»; Труды IV Русского Водопроводного С'езда; изд. г. Москва, 1901 г.

²) См. Труды VIII Водопроводного С'езда; изд. г. Москва, 1909 г.

в г.г. Перми, Оренбурге, частью в г. Нижнем Новгороде, запроектированы канализационные сети из бетонных труб на всех группах Кавказских Минеральных Вод, канализационная сеть для г. Ленинграда и др.; широкое использование бетона для этого специального строительства не находило однако для себя достаточно полного признания и имея на своей стороне много сторонников, оно имело не меньшее число противников; это привело к тому, что для решения вопроса о целесообразности применения бетона и железобетона для специальных работ по санитарной технике требовалось еще собрание и обработка обширного материала как теоритического, так и практического характера; на такой именно путь стала специальная Комиссия Санитарно-Технического Отдела Политехнического Общества после заслушания сообщения В. А. Дроздова (1912 г.) о применении железобетонных труб в водопроводном и канализационном деле; было признано необходимым: а) составить анкетный лист для рассылки различным учреждениям, как внутри страны, так и за границей, б) сравнить достоинства разных материалов, служащих для приготовления бетона, и в) выяснить влияние на трубы наружной температуры, состава разных вод и температуры их; подробно составленная анкета содержала около 30 вопросов; к началу войны эту работу не удалось довести до конца и получить те или иные результаты.

Все это дало основание Постоянному Бюро Водопроводных Съездов еще при выработке в 1921 году плана работ XII Всероссийского Водопроводного и Санитарно-Технического Съезда (г. Москва, 1922 г.)—включить в него доклад о бетонных трубах и привлечь к разработке его инж. Н. Д. Доброхотова. Докладчиком¹⁾ вопрос о применении для целей канализации бетонных труб был сильно заострен и должен был вызвать то или иное определенное к себе отношение; по мнению докладчика бетон, благодаря входящей в его состав извести, является в известных случаях материалом неопределенным и неустойчивым, а потому от применения его на изготовление труб для такого долговечного сооружения, как канализация городских хозяйственных вод—следовало бы совершенно отказаться. Доклад вызвал большой интерес среди участников Съезда, однако Съезд не нашел возможным вынести в то время определенное решение, как за невыясненностью химической стороны вопроса, так и потому что практика дела давала самые разнообразные результаты применения бетонных труб; поэтому Съезд постановил поручить Постоянному Бюро собирать все материалы, относящиеся к указанному вопросу и рекомендовать при каждой порче бетонных труб производить через специалистов компетентное расследование этой порчи.

Исходя с одной стороны из состоявшегося вышеупомянутого постановления XII Съезда, а с другой стороны из того, что на XIII Съезде (г. Баку, 1925 г.) вопрос о бетонных водоводах должен будет возник-

¹⁾ Доклад напечатан в «Вестнике Инженеров», 1924 г., № 8.

нуть с новой силой в виду наличия сильных повреждений водовода Шоллар-Баку,—Постоянное Бюро организовало Комиссию по бетонным водоводам, в задачу которой должно было войти собирание имеющихся материалов по бетонным водоводам, а также привлечение на XIII С'езд (I Всесоюзный С'езд) докладчиков, могущих по возможности всесторонне осветить рассматриваемый вопрос.

Разосланная Комиссией анкета по городам, имеющим канализацию а также по железным дорогам содержала нижеследующие вопросы 1) известны ли случаи разрушения или порчи бетонных водоводов 2) на каком протяжении; 3) снаружи или внутри; 4) через какой период после устройства; 5) были ли обнаружены причины и какие; 6) для какой цели служили водоводы; 7) их основные размеры; 8) были ли исследованы грунтовые воды; 9) какие меры были приняты для предохранения бетонных водоводов от дальнейшего разрушения и каковы реальные результаты принятых мер.

Из полученных ответов и материалов ценным и полным оказались данные по дефектам бетонного водовода Шоллар-Баку; из остальных полученных письменных и устных ответов выяснилось отсутствие на местах регистрации наиболее важных данных—о причинах обнаруженных повреждений бетонных водоводов (анализы воды, способ производства работ, время разрушения и пр.).

Что касается до постановки на I (XIII) Всесоюзный С'езд (г. Баку, 1925 г.) докладов, относящихся к сооружению и работе бетонных и железо-бетонных водоводов—то в этом отношении Комиссии удалось в значительной мере разносторонне подойти к освещению многих вопросов путем привлечения докладчиков для проработки ряда приводимых ниже в настоящем выпуске Трудов С'езда тем; все доклады были заслушаны С'ездом с огромным интересом и вызвали оживленные прения, дополнившие эти доклады новыми данными.

Для выполнения приводимых ниже постановлений I (XIII) Всесоюзного С'езда, при Президиуме Постоянного Бюро работает в настоящее время Комиссия в составе: проф. П. С. Белова (Председатель), проф. А. А. Байкова, проф. П. А. Велихова, проф. Н. К. Лахтина, проф. В. А. Дроздова, инж. Г. К. Дементьева, инж. В. Э. Новодворского, инж. Н. Д. Доброхотова.

Результаты работ Комиссии будут доложены ближайшему С'езду (г. Харьков, 1927 г.).

О нормативных работах последних лет в области строительных материалов и инженерных сооружений, могущих иметь значение для водопроводного и канализационного дела.

(Доложен в Водопроводной Секции Съезда 29 апреля 1925 г.).

Председатель *А. В. Кондрашев.*

Грозные события последнего десятилетия заставили лучшие технические силы всего мира обратить свое особенное внимание на проблему экономизации производства, экономизации всей жизни, в целях лучшего использования и скрытых сил природы и скрытых сил человеческого общества. В результате такого подхода возникло стремление ввести ритм во все наши действия и построения, поставить ритм в порядок дня. В области использования сырья это стремление к ритму проявляется в работах по нормированию и стандартизации всех главнейших продуктов и изделий, потребляемых и производимых техникой, в области использования запасов энергии, в том числе и энергии физического труда—в работах по научной организации производства и труда; в области социальных отношений—в работах по созданию социалистического общества.

Останавливая в сегодняшнем докладе Ваше внимание лишь на работах первой группы—на работах по нормализации и стандартизации материалов и изделий, отмечу, что таковые работы до сего времени ведутся еще разрозненно различными ведомствами, и в Союзе еще не создан единый междуведомственный аппарат, который мог-бы объединить все такие работы, подобно British standard Comitee в Англии или Comite permanent de standartisation во Франции или Bureau of standards в Америке, однако недалеко то время, когда этот Комитет создастся; именно, при Совете Труда и Обороне предreshено уже учреждение Высшего Стандартного Комитета для всего СССР. Ныне много работают в этой области: Бюро Промышленной Стандартизации при ГЭУ ВСНХ СССР, Научно-Технический Комитет НКПС, Бюро по нормированию Стройпроизводства при Госплане и Комитет Эталонов и Стандартов при Главной Палате Мер и Весов в Ленинграде.

Желая в настоящем докладе ознакомить вас главным образом с теми достижениями в этой области, которые интересны нашим Санитарным Инженерам, я коснусь ниже трех вопросов:

- 1) нормализации вяжущих веществ;
- 2) нормализации стали и изделий из нее;
- 3) новых норм для железобетонных сооружений.

По первому вопросу я позволю себе предложить нижеследующие тезисы.

1. События последних десяти лет поставили перед мировой техникой проблему изыскания во всех отраслях техники таких материалов и таких приемов производства работ, которые обеспечивали бы наилучшее, наиболее полное и наиболее экономическое использование всех возможностей, предоставленных мировыми запасами сырья и энергии с одной стороны и научной организацией труда и производства с другой.

2. В области производства и применения вяжущих веществ вышеотмеченное течение нашло себе выражение в усиленном искании как таких новых вяжущих веществ, которые, заменяя собою дорого стоящий и сложный в производстве портланд цемент, дали бы материал недорогой и высококачественный одновременно, так и таких, которые, будучи быть может и более дорогими, чем обычный портланд цемент, давали бы особо высокие качества, оправдывающие их высокую стоимость и позволяющие применять их в таких условиях и для таких целей, которые для обычного портланда цемента недостижимы.

3. В области изыскания дешевых и в то—же время высокосортных материалов особое значение имеет широко развившееся изготовление и применение пуццолановых и шлаковых цементов разного рода, качества которых, при надлежащем подборе и надлежащей дозировке сырья, не только не ниже, а даже выше качества обыкновенного портланд цемента, и которые особенно устойчивы против химических воздействий, что делает их применение в морских сооружениях, а также в сооружениях водопроводных и канализационных особенно целесообразным.

Соответственные материалы изготавливаются ныне и на территории СССР Государственными Мальцевскими и Государственными Новороссийскими, а также и другими заводами и с 1925 года должны появиться на рынке.

4. В области изыскания специальных вяжущих веществ с особыми качествами, оправдывающими их относительную дороговизну, следует отметить развитие изготовления высокосортных портланд цементов обычного или повышенного кремнеземистого состава с одной стороны и так называемых «плавленных» или точнее глиноземистых (бокситовых) цементов с другой. И те и другие цементы отличаются исключительно быстрым твердением, позволяющим раскружаливание через несколько дней после бетонирования, и особо высокой крепостью, а также отчасти и значительной химической устойчивостью.

Высокосортные портланд цементы изготавливаются ныне и на территории СССР теми же Мальцевскими и Новороссийскими заводами, а также и некоторыми другими, и имеются на отечественном рынке; глиноземистые же пока изготавливаются широко лишь во Франции и в Америке, но возможность изготовления их в СССР не исключена при условии достаточного на них спроса со стороны внутреннего рынка.

5. Наряду с вышеназванными вяжущими веществами широкое развитие получили гипсовые и асфальтовые вяжущие вещества, обладающие целым рядом специальных преимуществ.

6. Вышеотмеченное появление на рынке ряда новых вяжущих веществ вызвало необходимость пересмотра их номенклатуры и норм для их приемки, и работа эта ныне проделана Государственным Институтом Силикатов в Москве, Научно-Техническим Комитетом НКПС, Главной Палатой Мер и Весов в Ленинграде, а в конце января сего года окончательно оформлена на III Всесоюзном Съезде промышленности строительных материалов и номенклатуры и нормы согласованы с современным состоянием отечественной и мировой промышленности и наших знаний в области вяжущих веществ.

В результате всей этой работы установлены нормы, которые я привожу здесь в выдержках.

Номенклатура вяжущих (цементирующих) веществ, применяемых для производства строительных растворов.

Принята III Всесоюзным Съездом промышленности строительных материалов. Москва, 25—31 января 1925 г.).

Вяжущими веществами (цементами) называются порошкообразные материалы, которые по затворении их водой образуют тесто, превращающееся само по себе на воздухе или в воде в твердое камневидное тело. В зависимости от того, происходит ли твердение теста лишь на воздухе, или же как на воздухе, так и в воде, вещества эти разделяются на:

1. Воздушные вяжущие вещества, могущие применяться лишь в сооружениях, не подвергающихся действию воды, и
2. Гидравлические вяжущие вещества, могущие применяться как в сооружениях, не подвергающихся действию воды, так и в сооружениях, действию воды подвергающихся.

Все вяжущие вещества могут быть распределены на следующие группы с подразделениями:

Група I.

Вяжущие вещества, получаемые из соответственного сырья путем его обжига.

A. Воздушные вяжущие вещества (воздушные цементы).

1. Воздушная известь есть продукт, получаемый обжигом чистых или доломитовых известняков, не содержащих значительных примесей глинистых веществ. Получаемая после обжига в кусках негашеная известь, главной составной частью которой является безводная окись кальция (CaO), называется к и п е л к о й. Получаемая при действии на негашеную известь ограниченного количества воды гашеная известь, имеющая вид тонкого порошка, главной составной частью которого является гидрат окиси кальция $Ca(OH)_2$, называется п у ш о н к о й.

В зависимости от меньшего или большего содержания глинистых и песчаных примесей воздушная известь называется жирной или тощей.

2. Гипсовые вяжущие вещества суть продукты, получаемые из природного двуводного гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) или из природного ангидрида ($CaSO_4$), а именно:

а) штукатурный гипс (алебастр) есть продукт, получаемый умеренным обжигом природного двуводного гипса до превращения его в полуводный ($CaSO_4 \cdot 0,5 H_2O$) с последующим или предшествующим обжигу перемолом его в тонкий порошок;

б) ангидридовый цемент—есть продукт, получаемый обжигом природного двуводного гипса при температуре между $400^\circ C$ и $750^\circ C$ и последующим перемолом его совместно с различными добавками. Взамен обожженного двуводного гипса может быть применен природный ангидрид, непосредственно перемалываемый с соответственными добавками.

в) гидравлический гипс есть продукт, получаемый обжигом природного двуводного гипса или природного ангидрида при температуре не ниже $900^\circ C$ и последующим перемолом обожженного продукта.

г) гипсовый цемент—есть продукт, получаемый совместным перемолом в тонкий порошок двуводного гипса со специальными добавками без последующего обжига смеси.

Применяемые при изготовлении ангидридового и гипсового цемента добавки могут быть введены в продукт и после его излома посредством затворения его с водными растворами этих добавок.

3. Каустический магнезит—есть продукт, получаемый умеренным обжигом природного магнезита ($Mg CO_3$) и последующим затем измельчением его в тонкий порошок. Затворение его производится при помощи крепких растворов хлористого магния ($Mg Cl_2$) и в таком виде он известен под названием цемента Сореля. Вместо раствора хлористого магния могут быть применяемы растворы некоторых других солей.

Б. Гидравлические вяжущие вещества (гидравлические цементы).

1. Гидравлическая известь есть продукт, получаемый умеренным обжигом, недоводимым до спекания мергелей недоломитовых или доломитовых, обладающий свойством при смачивании его водой полностью или частью рассыпаться в порошок (гаситься) и твердеть в воде; изготавливается в виде кусков негашеной извести (кипелка) или в виде тонкого порошка гашеной извести (пушонка). В зависимости от меньшего или большего содержания глинистых примесей, гидравлическая известь называется слабой или сильной.

2. Роман-цемент есть продукт, получаемый механическим измельчением в тонкий порошок, предварительно обожженных при температуре, не доводящей материал до спекания, естественных мергелей, или же искусственных смесей магнезиальных известняков или доломитов с глинистыми материалами. Продукт этот после обжига при смачи-

вании водой не гасится (не распадается в порошок), но тесто из роман-цемента твердеет в воде.

3. Портланд-цемент есть продукт тончайшего перемола клинкера, получаемого равномерным и сильным обжигом до спекания тщательно дозированных искусственных смесей материалов, содержащих углекислую известь и глину, или естественных материалов (глинистых известняков), надлежащего состава; при применении искусственных смесей глина может быть заменена полностью или частично доменным шлаком, надлежащего состава. Количество посторонних веществ, прибавляемых к продукту после обжига для урегулирования его свойств, не должно превышать 3% по весу. Отношение % содержания по весу окиси кальция (CaO) к сумме % содержания по весу кремнезема, глинозема и окиси железа ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$), т.е. значение величины

$$\frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

(основной или гидравлический модуль) в готовом продукте должно заключаться в пределах от 1,7 до 2,4.

Портланд-цемент, в котором отношение % содержания по весу кремнезема (SiO_2) к сумме % содержания по весу полуторных окислов ($Al_2O_3 + Fe_2O_3$), называемое «кремнеземным модулем», превышает 3,5—называется кремнеземистым.

4. Глиноземистый, или бокситовый цемент есть продукт тонкого перемола вещества, получаемого сильным обжигом до сплавления (или спекания) смесей материалов, богатых глиноземом (боксит) с известняком. Продукт этот характеризуется быстрым возрастанием механического сопротивления изготовленных на нем растворов.

Группа II.

Вяжущие вещества, получаемые смешением продуктов первой группы со специальными порошкообразными гидравлическими добавками без последующего обжига смеси.

Все вещества этой группы принадлежат к категории гидравлических вяжущих веществ.

А. Вещества, получаемые смешиванием извести с гидравлическими добавками.

1. Известково-шлаковые цементы—суть продукты совместного перемола или теснейшего смешения порошкообразной гашеной извести с предварительно измолотыми в тонкий порошок гранулированными основными доменными шлаками; весовое содержание гашеной извести в готовом продукте колеблется от 10% до 30%.

2. Известково-пуццолановые цементы—суть продукты совместного перемола или теснейшего смешения порошкообразной гашеной извести с предварительно измолотым в тонкий порошок естественными гидравлическими добавками; весовое содержание гашеной извести в готовом продукте колеблется от 10% до 30%.

Б. Вещества, получаемые смешением портланд-цемента с гидравлическими добавками.

1. Шлаковые портланд-цементы—продукты, получаемые путем тщательного механического смешивания заводским путем портланд-цемента с тонко измельченным основным гранулированным доменным шлаком надлежащего состава; весовое содержание шлака колеблется от 30% до 70% всей смеси.

Состав основного доменного шлака, получаемого при плавке чугуна на минеральном топливе, должен удовлетворять требованию, чтобы весовое отношение основных окислов ($CaO + MgO$) к кислотным—($SiO_2 + Al_2O_3$) было во всяком случае более 1.

2. Пуццолановые портланд-цементы суть продукты, получаемые путем тщательного механического смешивания заводским путем портланд-цемента с тонко измельченными гидравлическими добавками. Весовой процент содержания портланд-цемента в продукте определяется в зависимости от состава и свойства добавки.

Гидравлические добавки (пуццоланические вещества).

В порошкообразном состоянии гидравлические добавки, затворенные водой, не способны самостоятельно отвердевать, но в смеси с известью образуют тесто, способное отвердевать в воде; те же добавки применяются также и в смеси с портланд-цементом.

Гидравлические добавки разделяются на:

А. Естественные, встречающиеся в природе в готовом виде и не требующие для своего применения никакой обработки кроме отсеивания и измельчения.

Б. Искусственные, получающиеся после термической и механической обработки естественных материалов.

А. Естественные гидравлические добавки.

1. Пуццоланы, находимые в природе в виде измельченных, порошкообразных пород, каковыми являются рыхлые, вулканические туфы, как наприм. римская, неопалитанская пуццолана, санторинская земля и т. п.

2. Трассы, находимые в природе в виде более или менее твердых пород, требующих для своего употребления механического измельчения каковыми являются твердые вулканические туфы, как напр. Андернахский трасс, Карадагский трасс и т. п.

3. Кремнеземистые осадочные породы рыхлого сложения, каковыми являются диатомовая (инфузорная) земля, кизельгур, трепелл и т. п.

Б. Искусственные гидравлические добавки.

1. Гранулированные основные доменные шлаки (обладают слабыми гидравлическими свойствами и могут отвердевать

самостоятельно, но в виду того, что пуццоланические свойства в них выражены очень резко, относятся к гидравлическим добавкам).

2. Глинистые материалы, надлежащим образом обожженные и измельченные в тонкий порошок, также называемые цемянками (обоженная глина, битый кирпич и т. п.).

3. Гезы или иные аналогичные им природные богатые кремнеземом материалы, предварительно подвергнутые обжигу и затем измельченные.

Нормы приемки и испытания портланд-цемента (в выдержках).

§ 1. Химический состав.

Количество ангидрида серной кислоты (SO_3) в готовом продукте (после прибавления регулирующих примесей) не должно превышать 2,5%, а количество MgO —3%.

§ 2. Потеря при прокаливании и удельный вес.

Потеря при прокаливании не должна быть более 4%. Определение удельного веса не устанавливается.

§ 3. Сроки схватывания.

Начало схватывания не ранее двадцати (20) минут. Конец схватывания не позднее двенадцати (12) часов.

§ 4. Равномерность изменения объема (постоянство объема).

Портланд-цемент должен обнаруживать равномерность изменения объема при испытании в воде, а также при горячей пробе.

§ 5. Крупность помола.

Остаток на сите в 900 отверстий на кв. см. должен быть не более 5%. Через сито в 4900 отверстий на кв. см. должно проходить не менее 70%.

§ 6. Испытание на растяжение.

Чистый портланд-цемент должен дать: через 7 дней не менее 25 кг/см.², а через 28 дней—35 кг/см.². Допускается факультативная ускоренная проба через 4 дня, которая должна дать не менее 20 кг/см.².

Раствор портланд-цемента с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу должен дать через 7 дней не менее 10 кг/см.², а через 28 дней—14 кг/см.². Допускается факультативно ускоренная проба через 4 дня, которая должна дать не менее 9 кг/см.².

В случае неудовлетворительного результата ускоренной пробы решающим считается 7 и 28 дневное испытание, в случае же удовлетворительного результата ее и удовлетворения портланд-цемента всем остальным нормам, портланд-цемент может быть принят и без 7 и 28 дневных испытаний.

§ 7. Испытание на сжатие.

Раствор с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу должен дать через 28 дней не менее 140 кг/см.².

Нормы приемки и испытания пуццоланового п.-цемента (в выдержках).

§ 1. Химический состав.

Химический состав не устанавливается, но завод. по требованию потребителя снабжает партию химическим анализом как отдельных составных частей (клинкера и добавки), так и готового продукта и указывает наименование добавки и % соотношение по весу между портланд-цементом и добавкой.

§ 2. Потери при прокаливании. Удельный вес.

Определение потери при прокаливании и удельного веса — не устанавливается.

§ 3. Сроки схватывания.

Начало схватывания не ранее двадцати минут.

Конец схватывания не позже 12 часов.

§ 4. Равномерность изменения объема (постоянство объема).

Пуццолановые портланд-цементы должны обнаружить равномерность изменения объема при испытании в воде, а также при горячей пробе.

§ 5. Крупность помола.

Остатки на сите в 900 отверстий на кв. см. должен быть не более 5%.
Через сито в 4900 отверстий на кв. см. должно пройти не менее 70%.

§ 6. Испытание на растяжение.

Раствор пуццоланового портланд-цемента с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу должен дать через 7 дней 10 кг/см.², а через 28 дней — 14 кг/см.². Допускается факультативно ускоренная проба через 4 дня, которая должна дать 9 кг/см.².

В случае неудовлетворительного результата ускоренной пробы решающим считается 7 и 28 дневное испытание, в случае же удовлетворительного ее результата и удовлетворения остальным нормам пуццолановый цемент может быть принят и без 7 и 28-дневных испытаний.

§ 7. Испытание на сжатие.

Раствор с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу должен дать через 28 дней не менее 140 кг/см.².

Нормы приемки и испытания шлако-портланд-цемента. (в выдержках).

§ 1. Химический состав.

Количество посторонних веществ, прибавляемых к смеси сверх портланд-цемента и шлака, не должно превышать 3% от веса смеси.

Количество SO_3 в готовом продукте не должно превышать 3^{0/0}, а MgO —4^{0/0}.

§ 2. Потеря при прокаливании. Удельный вес.

Определение потери при прокаливании и удельного веса не устанавливается.

§ 3. Сроки схватывания.

Начало схватывания не ранее 20 минут. Конец схватывания не позднее 12 часов.

§ 4. Равномерность изменения объема (постоянство объема).

Шлако-портланд-цемент должен обнаружить равномерность изменения объема при испытании в воде, а также при горячей пробе.

§ 5. Крупность помола.

Остаток на сите 900 отверстий на кв. см. должен быть не более 5^{0/0}. Через сито в 4900 отверстий на кв. см. должно пройти не менее 70^{0/0}.

§ 6. Испытание на растяжение.

Раствор шлако-портланд-цемента с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу должен дать через 7 дней 10 кг/см², а через 28 дней—14 кг/см². Допускается факультативно ускоренная проба через 4 дня, которая должна дать 9 кг/см². В случае неудовлетворительного результата ускоренной пробы решающим считается 7 и 28-дневное испытание, в случае же удовлетворительного ее результата и удовлетворения материала всем остальным требованиям, 7 и 28-дневные испытания могут и не производиться.

§ 7. Испытание на сжатие.

Раствор с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу должен дать через 28 дней не менее 140 кг/см².

Я не останавливаюсь за краткостью времени на многих деталях новых норм, отмечу лишь, что они сопровождаются подробной методологической инструкцией, предусматривающей все детали производства испытаний. В частности введен новый нормальный Вольский песок, который во многих отношениях чище и выше по качествам, чем применявшийся до сего времени Ленинградский. Таким образом, новые требования к п.-цементу 1:3 через 28 дней—14 кг/см² на растяжение и 140 кг/см² на сжатие—не могут при новом песке считаться преувеличенными.

Из вышепомещенного обширного перечня вяжущих веществ заслуживают внимания:

а) как материалы повышенной прочности:

1) некоторые марки нормального (главным обра-

зом кремнеземистого) портланд-цемента, носящие название высокосортных.

При нормальных механических свойствах портланд-цемента в смеси с песком 1 : 3, выралающихся через 28 дней, на растяжение в 14 кг/см.², а на сжатие в 140 кг/см.², высокосортные портланд-цементы гарантируют вдвое большее сопротивление растяжению и втрое большее сопротивление сжатию. Такие марки вырабатываются в СССР Новороссийскими и Мальцевскими заводами.

2) Глиноземистый цемент, дающий еще более высокие цифры (они же плавленые, алюминиевые, черные, электрические) и весьма устойчивый против всяких химических агентов, в частности устойчивые в морской и сульфитной воде. Значительное повышение температуры глинеземистого цемента при схватывании позволяет вести работу с ним и при небольших морозах, а его механическая прочность, позволяющая употреблять 200 кг/см.³, вместо обычных для портл.-цемента 300 кг/см.³, делает его, несмотря на то, что он вдвое дороже п. цемента, даже—более экономическим, если вести расчет стоимости 1 кг/см.² прочности.

б) как материалы пониженной, но достаточной для нужд строительства прочности.

1) Гидравлическая известь и

2) романский цемент—до сего времени не имевшие в строительстве широкого применения, а на деле в очень многих случаях могущие с успехом заменить портланд-цемент и значительно более дешевые, чем он,

3) известково-шлаковые и известково-пуццолановые цементы, обладающие достаточной прочностью и прекрасной гидравлическостью и могущие быть изготовляемы на месте работ.

в) как материалы специального назначения.

1) шлаковые и пуццолановые портланд-цементы, обладающие высокой прочностью, при длительных сроках превышающей портланд-цемент, безупречной гидравлическостью и незаменимые в морской и сульфитной воде.

2) Гипсовые вяжущие вещества, могущие найти широкое применение во внутренних работах гражданских сооружений.

Переходя к характеристике новой номенклатуры литого железа и стали, отметим, что эта работа проделана главным образом—Научно-Техническим Комитетом НКПС при участии представителей промышленности и многих видных специалистов. В результате весь литой прокатный материал разделен на 7 марок с определенными механическими свойствами, и даны точные указания на методы определения этих свойств. Все марки названы «сталью», хотя первые три из них до сего времени обычно именовались «литым железом». Приведем эти нормы полностью.

Таблица марок литого железа и стали.

Марка.	Растяжение.		Загиб холодн. вокруг стержня diam. d .			Загиб горяч. вокруг стержня diam. d .			Испытание на отсутствие закалки.	Испытание на сварку.	Испытание на расклевку.
	Временное сопротивление кг/мм. ² .	Относительн. удлинение в % по длине.	Градусы загиба образца.	Диаметр d стержня в числах, кратных диаметру или толщ. загибаемого образца.	Градус загиба образца.	Диаметр d стержня в числах, кратных диаметру или толщ. загибаемого образца.	Испытание на отсутствие закалки.	Испытание на сварку.			
Ст. 1 . . .	33—40	28	180	0	180	0	да	да	1/3 выс.		
Ст. 2 . . .	35—42	26	180	0	180	0	да	да	1/3 выс.		
Ст. 3 . . .	37—44	22	180	0	180	0	да	да	1/2 выс.		
Ст. 4 . . .	40—50	20	180	2	180	0	—	—	—		
Ст. 5 . . .	50—16	16	180	3	180	1	—	—	—		
Ст. 6 . . .	60—70	12	—	—	—	—	—	—	—		
Ст. 7 . . .	70—85	8	—	—	—	—	—	—	—		

Относительное удлинение определяется по нормальной длине равной для круглых образцов 10 диаметрам образца.

Количество материалов, указанное в настоящей таблице, считается основным для указанной в заказе марки.

В отдельных случаях для материала повышенного качества, по предварительному соглашению заказчика и поставщика, требования минимального i к заказываемой марке могут быть повышены на 2 единицы.

Наоборот, для материала пониженного качества, i , при наличии соответствующего указания в заказе, может быть понижено на 2 единицы против таблицы.

Примечание 1: При испытании на растяжение плоских образцов тоньше 8 мм. указанные в таблице величины могут быть понижены:

- для 8—7 мм. образцов на 10%
- » 7—6 мм. » на 15%
- » 6—5 мм. » на 20%
- » 5—4 мм. » на 25%

Примечание 2: Образцы тоньше 4 мм. на растяжение не испытываются.

Примечание 3: При испытании на растяжение плоских образцов толще 20 мм. указанные в таблице величины понижаются на 10%.

Для лучшей ориентировки в вопросе о том, какие марки для какой цели могут найти применение, обращаю внимание на следующую таблицу:

- Марки «Ст. 1» — Шапочные связи в паровозах.
- «Ст. 2» — Заклепки.
- «Ст. 3» — Мосты.
- «Ст. 4» — Судостроение.
- «Ст. 5» — Оси.
- «Ст. 6» — Бандажи.
- «Ст. 7» — Рессоры и Рельсы.

Эта новая номенклатура вводит большое упорядочение в дело изготовления и прокатки черного металла.

Обращаясь теперь к последней работе этих лет, я отмечу, что «Новые нормы на железобетонные работы» являются результатом длинной подготовительной работы ряда специалистов. Они используют весь материал последних разработанных у нас в России норм по этим работам: — норм Московской Городской Управы 1912 года и норм Народного Комиссариата Путей Сообщения 1921 года, но идут далее и тех и других норм в смысле большего приближения к последним Западно-Европейским и Северо-Американским нормам. Здесь учтен текст и Германских норм 1925 года и С. Американских—1924 г. Инициатива разработки этих норм принадлежит Московскому Губернскому Инженеру П. А. Маматову, который привлек к этой работе меня и ряд крупных московских специалистов, среди которых можно назвать проф. Н. А. Кашкарова, проф. В. М. Келдыша, проф. Н. К. Лахтина, проф. А. Ф. Лолейта, проф. П. В. Щусева и многих других. Нормы эти были направлены Моссоветом, для которого, в сущности, они и были разработаны, в Госплан, а последний, подробно рассмотрев их, внес в них ряд серьезных изменений и дополнений и в окончательной редакции вносит их ныне в СТО для утверждения в Обще-Союзном масштабе. В виду того значения, которое имеют отдельные параграфы этих норм, я считаю, что членам Съезда было бы особенно ценно иметь подлинный текст важнейших §§, который я и привожу.

Временные технические условия и нормы проектирования и возведения железобетонных сооружений. :

§ 1. Настоящие „Технические условия и нормы“ распространяются на все те, возводимые на территории Союза Советских Социалистических Республик здания и сооружения, в коих применяется сочетание бетона с железной или стальной арматурой, обеспечивающее совместное участие как бетона, так и арматуры в восприятии внешних сил и в работе внутреннего противодействия этим силам. Отступления допускаются не иначе, как с разрешения инстанции, утверждающей проект.

§ 3. В зависимости от того, к какому из 3-х видов строительства:

особо-долговечному, капитальному или облегченному—относится сооружение, оно именуется монументальным или сооружением 1-го класса, сооружением II-го или сооружением III-го класса, и к проектам на сооружение каждого класса предъявляются различные требования.

Составление полного проекта, удовлетворяющего в отношении состава и формы требованиям нижеследующих параграфов (§ 4—§ 10 включительно), обязательно лишь для сооружений монументальных и II-го класса, при чем:

а) при возведении сооружений I класса—монументальных—проект подлежит представлению в подлежащую инстанцию на утверждение в полном составе до приступа к работам;

б) при возведении сооружений II-го класса до приступа к работам утверждению подлежит лишь часть проекта в объеме, достаточном для суждения о рациональности типа самого сооружения и целесообразности конструкции его главнейших частей; остальные же части проекта представляются на утверждение в порядке и постепенности устанавливаемых утверждающей инстанцией с таким расчетом, чтобы не задерживалось производство работ на месте постройки, но чтобы вместе с тем к моменту приступа к возведению каждого элемента сооружения на лицо имелись необходимые чертежи, обеспечивающие правильность выполнения соответствующих работ.

В отношении сооружений III-го класса, утверждению подлежат лишь чертежи общего расположения (план, фасад и разрезы), но к моменту передачи сооружения в эксплуатацию, в инстанцию, утвердившую проект, должны быть представлены исчерпывающие данные относительно размеров всех частей железобетонной конструкции и расположения арматур в бетонных массивах сооружения.

Расчетные данные.

§ 39. Определение расчетных величин внутренних напряжений в элементах железобетонных сооружений производится, как правило, в предположении, что бетон в работе на растяжение не участвует и основывается на гипотезах о сохранении плоских сечений, о пропорциональности между деформациями и напряжениями и об одинаковости коэффициентов температурного расширения бетона и железа. При этом модуль упругости железа принимается равным $2100000 \text{ кгр./см.}^2$, а модуль упругости бетона на сжатие— $140000 \text{ кгр./см.}^2$, т. е. отношение между ними „*m*“ принимается равным 15. Во всех тех случаях в коих имеется основание считать соответственные модули и отношение между ними иными (применение стали, глиноземистого цемента, бетона особого состава, бетона в обойме с фибрами и т. п.), положенные в основу расчета иные цифры должны быть соответственно мотивированы.

§ 43. Основными материалами для железобетонных сооружений являются: бетон нормального состава марок 1, 2, 3, 4 или 5, ниже (в разделе В) подробно охарактеризованный, и арматура из литого железа, соответствующего по качествам стали 2 или ст. 3 по номенклатуре

Народного Комиссариата Путей Сообщения (см. также ниже раздела В).

Все нижеприведенные допускаемые напряжения относятся именно к этим материалам, при чем основные цифры даны для случаев расчета, в коих влияние температуры и усадки бетона не учитывается, но динамические коэффициенты уже введены. Для материалов более высокого или более низкого качества допускаемые напряжения соответственно должны быть изменены (см. ниже § 48).

§ 44. В частях сооружения, подверженных простому центральному сжатию и имеющих расчетную длину меньшую 15-ти кратного наименьшего размера сечения в зависимости от класса, к которому относится сооружение (см. § 3), допускается напряжения бетона на сжатие не более нижеуказанных величин (в кгр./см.²).

Марка бетона.			1	2	3	4	5
[μ_2]	Класс.	I	45	40	30	20	15
		II	50	45	35	25	20
		III	60	55	40	30	25

При наличии неучитываемого эксцентриситета и местного изгиба вышеприведенные величины понижаются на 25%.

§ 45. В частях сооружения, подверженных изгибу или сочетанию изгиба со сжатием, допускаемые напряжения бетона принимаются:

а) на сжатие ([μ]) не более следующих величин:

Марка бетона.			1	2	3	4	5
[μ_2]	Класс сооружения.	I	50	45	35	25	20
		II	60	50	40	30	20
		III	70	60	45	35	25

б) на скалывающее напряжение, если таковое подлежит учету (см. § 42):

Марка бетона.			1	2	3	4	5
[ν]	Класс сооружения.	I	6	5,5	4	3	2,5
		II	7	6	5	3,5	2,5
		III	8	7	5,5	4	3

в) на сцепление бетона с железом (если таковое подлежит учету) для допускаемых напряжений принимаются те же величины, что и на скалывание, т.-е. $t_0 = t$.

§ 46. При расчете железной арматуры допускаются следующие напряжения:

на растяжение 1200 кгр./см.²
 на скалывание 900 кгр./см.²

§ 47. При учете влияния температуры все вышеуказанные (§§ 44—46) напряжения могут быть повышены на 20%, а при учете и температуры и усадки—на 40%; но в этом случае, одновременно с учетом влияния температуры и усадки, должна быть произведена проверка напряжений и без этого учета, с допущением расчетных напряжений, не превышающих норм §§ 44—46.

§ 48. Изменение вышеприведенных цифр допускаемых напряжений, в случае применения материала более высокого или более низкого качества сравнительно с нормальным материалом, может быть допущено лишь в соответствии с фактическими свойствами применяемых материалов. Свойства эти должны быть подтверждены специальными предварительными опытами (см. раздел В). При этом, если в результате опытов временное сопротивление на сжатие окажется выше или ниже такового для нормального материала, то допускаемые напряжения соответственно повышаются или понижаются согласно с указанием § 69 и с разрешения инстанции, утверждающей проект.

§ 57. Следует всемерно облегчать сооружению температурные и усадочные перемещения, а также сдвиги, могущие иметь место от неравномерной осадки опор, почему, между прочими мерами, надлежит предусмотреть устройство сквозных разрезов на расстоянии не более 30 метров друг от друга.

Разрезы эти должны фактически проходить сверху донизу и обеспечивать свободные движения разделяемых ими частей. В исключительных случаях допускается доводить расстояние между разрезами до 40 мт.

Методы возведения сооружений.

§ 68. Бетоном нормального состава и качества (см. выше, раздел Г) называется бетон, обладающий такими свойствами, что приготовленные из него установленным порядком пробные кубики (см. ниже, раздел Г) через 28 дней после затворения для трамбовонного бетона и через 42 дня—для литого дают нижеследующие величины временных сопротивлений сжатию.

Марка	1	2	3	4	5
Приблиз. состав	1:1½:3	1:2:4	1:2½:5	1:3:6	1:4:8
	200	180	140	100	80

Для отнесения бетона к той или иной марке применение указанных выше пропорций не обязательно, но техническому надзору предоставляется самому установить, применительно к данным мате-

риалам работ, такие пропорции и методы, которые удовлетворяя частичным ограничениям, ниже указанным, обеспечивали бы бетону надлежащие механические свойства.

Примечание: Производство испытаний пробных кубиков обязательно при всякого рода железобетонных работах, при коих объем массы бетона превышает 250 куб. метров, а также при особо ответственных железобетонных работах любого объема (мосты, плиты и т. д.). При менее ответственных работах малого объема изготовление пробных кубиков не обязательно, и пропорции, а также приемы работ устанавливаются и предписываются к исполнению распоряжением технического надзора, применительно к настоящим «Техническим условиям» и на основании опыта аналогичных работ с теми же материалами и в той же обстановке.

§ 69. С разрешения утверждающей инстанции проект железобетонного сооружения может предусматривать применение бетона повышенного или пониженного качества, с соответственным, согласно указаний раздела Б, изменением допускаемых напряжений. В этом случае, еще до приступа к работам, испытания пробных кубиков по особой программе (см. разд. Г) обязательны, и лишь по установлении действительных качеств предполагаемого к применению бетона, определяются окончательно допускаемые в сооружении напряжения при чем для бетона повышенного качества допускаемые в сооружении напряжения получаются из соответствующих величин, устанавливаемых §§ 44 и 45 для бетона марки 1 множением на коэффициент повышения

$$\varphi_b = \frac{R_0 + R_1}{2R_1}$$

а для бетона пониженного качества—из величин марки 5 множением на коэффициент снижения

$$\varphi_n = \frac{3R_0 - R_5}{2R_5}$$

В этих формулах через « R_1 » и « R_5 » обозначены соответственно величины « R », установленные § 68-м для бетонов марок 1 и 5, а через « R_0 »—временное сопротивление предполагаемого к применению бетона, установленное опытом.

§ 73. С особого разрешения утверждающей инстанции может быть применяем портландский цемент с повышенными сравнительно с цифрами § 72 механическими свойствами для получения бетона повышенного качества (см. § 69), или для уменьшения количества цемента в единице объема нормального бетона. В этом последнем случае допускается, с разрешения утверждающей инстанции, понижение нормы содержания п.-цемента в 1 куб. метре сравнительно с нижеустановленными нормами (§ 83), но не более, чем на 10%.

§ 74. Применение шлако-портланд-цемента или пуццоланового портланд-цемента в железобетонных сооружениях допускается с пред-

варительного разрешения утверждающей инстанции при условии удовлетворения этих вяжущих веществ нормам Народного Комиссариата Путей Сообщения, для них установленным.

§ 83. Весовое содержание п.-цемента в одном кубическом метре готового нормального бетона должно быть не менее следующих величин:

Марка бетона	1	2	3	4	5
кг./м. ³	350	280	230	200	150

за исключением тех случаев, когда будет допущено меньшее количество его в порядке § 73. Это количество в точности должно быть установлено на месте опытным путем, применительно к данным материалам, и после сего им и следует руководствоваться при дальнейшем приготовлении бетона.

§ 85. Бетон по консистенции может быть двух типов:

а) трамбованный бетон с содержанием воды, допускающим и даже требующим уплотнение его трамбованием при положении в дело; при этом трамбованный бетон с минимальным возможным содержанием воды называется жестким и к применению в железобетонных сооружениях не допускается, но имеет применение в сплошных бетонных или в массивных бетонных, с очень редкой арматурой, сооружениях; трамбованный бетон с некоторым избытком воды называется пластичным—он не допускает усиленного трамбования и имеет широкое применение в железобетонных сооружениях;

б) литой бетон с значительным содержанием воды, не допускающим вовсе трамбования, и уплотняемый лишь перемешиванием массы и поколачиванием по формам; бетон этот широко применяется в железобетонных работах при бетонировании всякого рода сечений, вообще во всех тех случаях, когда бетонируемый объем трудно доступен для трамбования и обильно насыщен арматурой. Он же имеет широкое применение при массовом, механизированном способе производства работ.

§ 103. Полное раскружаливание сооружения производится по полном затвердении бетона в срок, устанавливаемый техническим надзором, и во всяком случае для трамбовонного (пластичного) бетона не ранее:

2 недель—для плит, пролетом до 3 метр. и сводов пролетом до 6 метр.

4 недель—для сооружений обычных в гражданском строительстве пролетов и размеров и для мостов, и вообще сводов, пролетом до 25 метр.

6 недель—для сооружений, значительных по своим пролетам и размерам и для мостов и сводов пролетом более 25 метр.

Для литого бетона сроки эти должны быть повышены не менее, как на 1 неделю каждый.

В отдельных случаях значительных по размерам сооружений допускается раскружаливание элементов сооружений по частям с разре-

шения технического надзора; при этом, если остающиеся еще необрушенными подмости верхних ярусов сооружения имеют значительный вес, передающийся на нижние ярусы и близкий к расчетной нагрузке, раскружалывание нижних ярусов допускается лишь с удлинением вышеуказанных сроков на 1—2 недели, в зависимости от передающейся нагрузки, с оставлением достаточного количества подпорок, исключая возможность прогибов, могущих отозваться вредно на выше лежащих, еще не окрепших элементах сооружения.

Заканчивая этим мой доклад, я хочу в заключение с удовлетворением отметить, что совокупность нашей Союзной нормативной работы столь ценна и обширна, что заслуживает серьезного внимания и, несомненно, вызвала бы интерес и за границей, если бы была там известна.

Однако, все эти нормы все же не должны рассматриваться как нечто вечное, ни даже как нечто долговечное. «Все боги смертны», и нормы подлежат периодическому пересмотру и изменению в соответствии с требованиями жизни, ибо не жизнь для норм, а нормы для жизни. Посему всякая критика издаваемых норм будет всегда принята нормативными работниками с благодарностью:

Прения и постановление по докладу проф. П. А. Велихова приведены далее вслед за докладом инж. В. Э. Новодворского.

Доклад проф. А. А. БАЙКОВА.

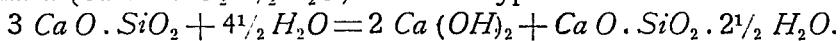
«О влиянии на бетон органических и неорганических соединений, находящихся в воде».

Доложен в Водопроводной Секции С'езда 29 апр. 1925 г. и в Пленуме С'езда 30 апр. 1925 г.

Председатель { *А. В. Кондрашев.*
П. Ф. Горбачев.

Разрушение бетона в минеральных водах представляет сложный процесс, который является результатом взаимодействия между теми материалами, из которых состоит бетон, и теми веществами, которые находятся в окружающей его воде. Этот процесс складывается из химических реакций и физических явлений растворения и диффузии, вследствие которых возникают механические явления; эти последние сводятся к возникновению внутренних напряжений, превосходящих временное сопротивление бетона и превращающих его в бессвязную массу. Для того, чтобы отдать себе ясный отчет в совокупности этих явлений, надо составить представление о том, из чего состоит бетон и из чего состоят те вещества, которые образуют окружающую среду. На эти вопросы мы в настоящее время можем ответить совершенно определенно и точно и поэтому мы можем сделать выводы, которые явятся

логически необходимыми, а следовательно, и неизбежными. Вам известно, что портланд-цемент представляет собой искусственную сложную горную породу, образованную несколькими минералами. Все эти минералы, как свою существенную составную часть, содержат известь, окись кальция. Три главных минерала образуют портланд-цемент. Это прежде всего 3-х кальцевый силикат, который состоит из одной частицы кремнезема и трех частиц извести. Второй минерал—это двух-кальцевый силикат—состоит из одной частицы кремнезема и двух частиц извести и третий минерал—это алюминат извести, который состоит из одной частицы глинозема (окси алюминия) и трех частиц извести. Эти три минерала находятся в таком соотношении, что первый минерал составляет свыше 50%, всего цемента. Из этих трех минералов, самое существенное значение в смысле связывающего вещества имеет трех-кальцевый силикат. Сущность процесса твердения портланд-цемента в воде заключается в том, что трех-кальцевый силикат разлагается на гидрат извести ($Ca(OH)_2$) и гидрат одно-кальцевого силиката ($CaO \cdot SiO_2 \cdot 2\frac{1}{2}H_2O$) согласно уравнения:



Гидрат извести при этом выделяется в виде кристаллов, а кремнеземистое соединение выделяется в виде той, присущей кремнезему формы, которая известна под названием студня, т. е. в виде коллоидальных образований. Таким образом, отвердевший портланд-цемент представляет коллоидальную массу студня, пронизанную сросшимися кристаллами гидрата извести. Песок, входящий в состав цементных растворов и бетонов, играет чисто механическую роль, образуя тот неизменяемый каркас, среди которого происходят явления отвердевания цемента, сводящиеся к образованию студня и кристаллов гидрата извести.

Эти кристаллы извести, срастаясь между собой согласно кристаллографических сил сцепления, и определяют ту твердость, ту прочность, те механические свойства, которые присущи бетону. Что касается остальных двух частей, они имеют второстепенное и подчиненное значение, в частности двух-кальцевый силикат играет роль инертной массы, алюминат извести имеет некоторое особенное значение, которое в обычных условиях сказывается на скорости схватывания цемента. Таким образом, бетон представляет собой массу студня кремнезема, пронизанную кристаллическим сростком гидрата окиси—кальция (гашеной извести). Еще сравнительно недавно такое представление о строении бетона вызывало большие возражения, но теперь мы имеем неоспоримые доказательства того, что такое представление является или совершенно справедливым, или чрезвычайно близко отвечающим действительности. Мы имеем возможность выделить эти кристаллы извести из общей массы отвердевшего бетона и убедиться, что это действительно кристаллическое вещество, имеющее состав гидрата окиси—кальция (гашеной извести). Оно по своим физическим свойствам резко отличается от той гашеной извести, которая потребляется

в наших постройках. Оно обладает большой крепостью, большим механическим сцеплением не только между собой, но и с крупинками кварца, т. е. песка, и этим определяются те высокие механические качества, которые присущи отвердевшему бетону. Мною был разработан очень простой метод, который позволил из массы бетона выделить эти кристаллы гидрата извести в чистом виде. Я здесь имею образец такого материала, и вы можете сами убедиться, насколько здесь имеются прекрасно и хорошо образованные кристаллы. Анализ этих кристаллов показывает, что здесь мы имеем почти химически чистую гашеную известь, которая от обыкновенной гашеной извести отличается тем, что находится в прекрасном кристаллическом состоянии. Таким образом, как видите, природа бетона является совершенно определенной и твердо установленной. Можно показать и другими способами, простыми и наглядными, что действительно в массе бетона мы имеем громадное количество свободного гидрата окиси кальция. Если принять во внимание, что в обычном портланд-цементе бывает извести более 60%, то в массе отвердевшего бетона, по крайней мере, 30% будет находиться в свободном состоянии в виде гидрата окиси кальция. Один из простых способов обнаружения присутствия извести основан на том, что известь обладает щелочной реакцией, и все те индикаторы, которые под влиянием щелочи меняют цвет, могут служить для обнаружения в бетоне извести. Одним из наиболее подходящих индикаторов является фенол-фталеин; он представляет из себя кристаллическое вещество, которое растворимо в спирте и если его привести в соприкосновение с известью или отвердевшим бетоном, то сейчас же происходит окраска в резко малиновый цвет. Я сейчас произведу этот опыт, но предварительно я считаю необходимым сделать одно замечание. Когда мы изготовляем какой-нибудь бетонный образец, то мы всегда этот образец имеем или на воздухе или в воде, а в воздухе и в воде всегда находится, хотя и в незначительном количестве, углекислый газ, который на гашеную известь действует определенным образом, вступая с ней в соединение и образуя углекислый кальций, на который фенол-фталеин не действует. Если мы возьмем бетон и подвергнем его снаружи действию этого индикатора—мы ничего не получим, потому, что под влиянием углекислоты верхний слой превратился в углекислый кальций. Но если разбить бетонный образец и обработать фенол-фталеином свежий излом, то мы получим резко малиновую окраску (производит опыт).

Наружная оболочка отвердевшего бетона, которая не окрашивается в малиновый цвет, является чрезвычайно тонкой. Это определяется тем, что и в воздухе и в воде мы имеем ничтожное количество углекислого газа, и для того, чтобы всю известь цемента превратить в углекислый кальций, нужно, чтобы через массу бетона прошло громадное количество воздуха или воды. Расчет показывает, что для того, чтобы нацело произошло превращение извести в углекислый кальций, надо, чтобы через один объем цементного раствора прошел, по крайней

мере, один миллион об'емов воздуха. Само собой понятно, что так как бетон, хотя и является несколько пористым, все же представляет собою громадное сопротивление проникновению газа, то в обыкновенных условиях эта диффузия воздуха внутрь бетона происходит очень медленно и нужны были бы десятки и более лет для того, чтобы этот процесс закончился. Мне в свое время пришлось проследить большое количество различных сооружений, возраст которых достигал до 50-ти лет, и я нигде не находил этой оболочки толще чем три—четыре м.м. Это показывает, насколько процесс диффузии происходит медленно. В воде этот процесс совершается несколько быстрее, так как там имеется большее количество углекислоты, и поэтому для того, чтобы при помощи воды среднего состава получить такое превращение извести в углекислый кальций, через один об'ем бетона нужно пропустить примерно 6 тысяч об'емов воды. И если они пройдут через бетон, углекислота воды пойдет на соединение с известью, которая превратится в углекислый кальций, то-есть, в вещество нерастворимое в воде. Но, к сожалению, тут нужно принять во внимание одно обстоятельство, которое повергает в прах все эти расчеты. Дело в том, что гашеная известь есть вещество, прекрасно растворимое в воде, и простой расчет показывает, что то количество воды, которое способно растворить всю известь бетона, составляет 10% того количества воды, которое необходимо для полной карбонизации бетона. Другими словами, когда через бетон пройдет десятая часть того об'ема воды, которая может дать необходимое количество углекислого газа для превращения извести в углекислый кальций, то образуется только тонкая карбонизированная оболочка, а внутри будет находиться бессвязная масса, ибо там не останется связывающего начала—гидрата окиси кальция, он будет весь вынесен наружу. В этом и заключается особенность тех явлений разрушения, которые мы наблюдаем в бетоне. Он всегда разрушается не снаружи, как казалось бы естественным, а изнутри. Снаружи бетон остается совершенно неприкосновенным. Все кромки и углы могут оставаться совершенно безупречными, и смотря на такой образец, можно удивляться, как хорошо он сохранился. Но если его легко ударить, то он рассыпется на куски, и внутри обнаружится полное разрушение. Это показывает, как наружный вид бетонного сооружения приводит к совершенно неправильному заключению, а между тем большинство руководствуется этими внешними признаками и утверждает, что бетон из портланд-цемента является прекрасным материалом, одним из лучших для возведения гидротехнических сооружений, и потребовался ряд самых горьких опытов и громаднейших разрушений для того, чтобы выявить и выяснять всю эту картину разрушения, о которой я Вам доложил. Таким образом, даже в том случае, когда окружающая среда состоит только из одной воды, будет наблюдаться это явление. Это явление выщелачивания извести проявляется в очень резкой форме. Например, когда благодаря разности гидростатического давления имеется фильтрация в одном направлении, тогда вода, заключающая углекислый

газ, входит через поверхностную оболочку, возле нее вблизи оставляет всю углекислоту, затем переходит в виде чистой воды внутрь, растворяет гидрат окиси кальция, и выходит наружу в виде насыщенного раствора гашеной извести, который под влиянием углекислоты воздуха образует натечки $CaCO_3$. Мне приходилось в доках наблюдать, что вода, которая проходила через стенки дока, имела щелочную реакцию и представляла насыщенный раствор извести. Подобное же явление мне пришлось встретить в Бакинском водопроводе. Когда я спускался в водовод на 63 километре, то по всей внутренней поверхности наблюдались белые образования, которые представляют из себя чистый углекислый кальций. Это показывает, что в теле бетона водовода произошли существенные разрушения, значительная часть твердого связывающего материала вышла наружу, чем нарушилась прочность бетона, который сделался более пористым.

Все эти явления достигают еще более значительных размеров, когда мы имеем не пресную воду, а содержащую минеральные соли в значительном количестве. Обычными минеральными солями являются следующие, во-первых, поваренная соль, затем сернокислый натрий, магниевые соли—хлористый магний, сернокислый магний, сернокислый кальций и много других солей, которые находятся в сравнительно ничтожном количестве; о них можем не говорить, потому что и этих солей достаточно для того, чтобы уяснить весь характер явлений, происходящих в бетоне под влиянием минерализованных вод.

Как же эти соли будут действовать на бетон?

Чистая вода является прекрасным растворителем для извести. Вода, содержащая поваренную соль, еще более растворяет известь. Таким образом хотя поваренная соль химически является недействительной для бетона, но физически она ускоряет процесс растворения извести. Магниевые соли с бетоном дают химическую реакцию. Она заключается в том, что гидрат окиси кальция оказывает действие на магниевые соли, образуя гидрат окиси магния, вещество аморфное и нерастворимое, и хлористый кальций—вещество, растворимое в воде. Присутствие магниевых солей разрушает кристаллы гидрата извести, образуя вместо них бессвязную массу гидрата магнезии. Еще более губительное влияние оказывают сернокислые соли, в особенности сернокислый кальций. Это определяется тем, что гипс, встречая алюминат извести, образует соль Деваля, которая представляет сложный комплекс; образование соли Деваля $Al_2O_3 \cdot 3CaO \cdot 3CaSO_4 \cdot 3OH_2O$ сопровождается увеличением объема и вызывает те громадные напряжения, которые бетон разрушают, и в результате связная масса бетона превращается в кашу. Эти явления мы имеем возможность наблюдать в резкой форме в Бакинском водопроводе. Во многих местах на 61—63 километре на внутренней поверхности водовода наблюдаются вспученные места в виде вздутий или отдулин, часто с большими трещинами. Бетон внутри этих отдулин представляет совершенно бессвязную массу, которую можно вынимать прямо рукой. Эта масса содержит значите-

тельное количество (до 10%) ангидрида серной кислоты, которая, очевидно, произошла вследствие поглощения из грунтовых вод телом бетона сернокислых солей, и это поглощение солей сопровождалось увеличением объема, вследствие чего произошло образование вздутий и разрыхление бетона. Я не буду останавливаться на действии других солей; все что я сказал, достаточно, чтобы понять, что всякая сернокислая соль будет действовать таким же образом, ибо в конце концов, когда имеется значительное количество сернокислого натрия, то он с известью будет давать гипс и едкие натры. Таким образом ясно, что соли сернокислые и магниевые являются губельными и разрушительными для бетона из портланд-цемента. Если вы все это сопоставите, то вам станет понятна та картина разрушения, которая должна наблюдаться в сильно минерализованной воде и понятно, что эти явления разрушения будут совершаться тем в большей степени, чем больше этих агентов будет находиться в окружающей среде. Мы имеем целый ряд анализов, которые показывают, что представляют собой грунтовые воды Бакинского района: на 63 версте грунтовые воды содержат 0,7% минеральных солей, на 62 версте 0,8%, на 61 версте 1½% солей, а на 60 версте 2,7% солей. Какие же это соли? Главным образом сернокислый натрий, хлористый натрий и сернокислый кальций. Отсюда станет понятно, что поскольку бетон является водопроницаемым и поскольку в окружающей грунтовой воде находятся вредные соли, разрушение бетона является необходимым и естественным проявлением природных сил, которые при этом возникают. Это разрушение происходит вследствие выщелачивания извести и разрыхления бетона вследствие образования сульфоалюмината извести (соли Девала), происходящего от взаимодействия сернокислых солей воды с аллюминатом извести цемента, которое совершается с значительным увеличением объема.

Процесс карбонизации, который превращает известь в нерастворимый углекислый кальций, в естественных условиях совершается в недостаточной степени благодаря значительной растворимости извести. Для того, чтобы бороться с этим процессом выщелачивания извести, необходимо создать такие условия, чтобы растворимость извести в воде понизилась и такие условия можно создать если в тело бетона вводить такие материалы, которые обладают способностью абсорбировать известь, в присутствии которых растворимость извести может понизиться. Такими материалами являются пуццоланы и трассы. По моим наблюдениям растворимость извести в присутствии трасса уменьшается в 10 раз. Таким образом для устойчивости бетона в соленых водах нельзя применять растворов из портланд-цемента, а необходимо брать смешанные растворы, где наряду с портланд-цементом находятся трассы или пуццоланы и, как показала морская практика, при этом получаются благоприятные результаты. Вторая возможность избежать разрушения бетона—это изолировать бетон от действия внешних вод, т. е. покрывать бетон водонепроницаемыми оболочками. Для этой цели могут служить смолы, нефть, гудрон, асфальт и т. п. которые, пропитывая бе-

тон, будут предохранять его от непосредственного взаимодействия с солями и водой. Наконец, необходимо указать, что за последние 10 лет появился новый цемент—глиноземистый, так называемый плавленный цемент—*Ciment fondu*, который и по своему составу и по своим свойствам существенно отличается от портланд-цемента. Он обладает прекрасными вяжущими свойствами, быстро развивает громадные механические сопротивления и по тем опытам, которые были сделаны до сих пор, он, по видимому, не поддается действию сернокислых и других солей. По крайней мере компетентные исследователи указывают, что по их наблюдениям образцы из глиноземистого цемента даже при хранении их в морской и в сильно соленой воде в течение 6 лет никаких видимых следов разрушения не обнаружили. Применение глиноземистого цемента для бетонных сооружений в сильно минерализованных водах обещает дать замечательные результаты и препятствием для его распространения является только его дороговизна—он в два—три раза дороже портланд-цемента. Вот те общие способы, которые дают возможность достигнуть большей прочности бетонных сооружений. Конечно, в настоящее время этот вопрос далеко еще не закончен в своей разработке, но, как вам очевидно, пути намечены совершенно определенные и я не сомневаюсь, что если в этом направлении будут работать соединенные технические силы всех специальностей, мы быстро достигнем самых благоприятных и самых лучших результатов.

Обсуждение доклада проф. А. А. Байкова в водопроводной секции с'езда 29 апреля 1925 г.

Председатель. Поступило предложение просить докладчика дополнить свой доклад о влиянии органических веществ.

А. А. Байков. Когда мы говорим о действии органических веществ, тут надо различать два вопроса. Вопрос о действии химическом и вопрос о действии чисто механическом. Кислоты находящиеся в водах могут действовать на бетон постоянно, поскольку бетон в значительной степени состоит из гидрата окиси кальция и из углекислого кальция и, так как очень многие соли кальция растворимы в воде, то присутствие таких кислот будет вызывать такое химическое действие, которое произведет разрушение бетона. Но кроме того существуют вещества совершенно химически нейтральные, которые, тем не менее, оказываются сильно действующими. В самое последнее время были проведены опыты проф. Швецовым, который подтвердил наблюдения о разрушении каменной кладки на сахарных заводах, под влиянием сахарного раствора. Сахар для портланд-цемента является ядом и бетон от его воздействия превращается в рыхлую несвязную массу; зависит это от коллоидальной структуры бетонной массы и от тех изменений объема, которые в конце концов ведут к разрушению. С другой стороны углеводороды, те материалы, из которых состоит

нефть, повидимому совершенно не действуют на бетон и на цемент. В этом отношении имеются большие опытные исследования, которые привели к положительным результатам. Если тут иногда можно наблюдать обратное явление, то, лишь постольку, поскольку в нефти могут находиться кислотные соединения. Такими общими положениями в сущности пока можно ограничиться. Несомненно, что этот новый вопрос заслуживает большого внимания. Разрешение его возможно только путем опыта. Если мы поставим хорошо наблюдения в этом направлении, то и этот вопрос о воздействии органических соединений разрешим с такою же ясностью, с какою он разрешен относительно действия минеральных солей (аплотисменты).

Председатель. Имеются ли вопросы к докладчику?

А. Н. Мямлин. Каково действие минеральных солей на цемент? Второй вопрос—как эти соли могут влиять на железо?

Голоса. Железные дороги применяют церезит; играет ли роль церезит в процессе сохранности бетона? Каково действие гуминной кислоты? Почему штукатурка не разрушается, а только отваливается?

А. И. Шахназаров. Вы говорили о борьбе против проникновения воды в водовод помощью покрытия бетона горячей смолой; мы знаем, что применяется покрытие слоем асфальта. Каково его действие?

Голоса: 1) Как бороться с внутренними водами протекающими по водоводу и раз'едающими бетон?

2) Как обстоит дело при наличии в воде сероводорода?

3) Какое влияние оказывают на бетон хлорированные воды?

А. А. Байков. Будет ли вода действовать на бетон должен сказать, что если будет налицо непроницаемая оболочка, то вода не будет проникать в толщу бетона и не будет действовать; если же оболочки нет и вода будет проникать, то действие будет происходить; весь вопрос заключается в оболочке, чтобы она не давала доступу воде.

Относительно действия на штукатурку, почему она не разрушается, а только отваливается, должен сказать, что штукатурка представляет собою более плотный цемент, более жирный. Почему же штукатурка отваливается? В случае проникновения воды через трещины в слой где происходят разрушения—там начинается процесс отложения сернокислой соли; вследствие увеличения объема она выпирает штукатурку и отваливает ее. В бетонном водоводе мы наблюдали такое механическое разрушение—отставание этой штукатурки—оболочки, потому, что за ней происходит увеличение объема, хотя сама эта оболочка карбонизирована и очень прочна.

Что касается, того как минеральные соли действуют на железо, я отвечаю, что все эти соли, в особенности магниальные на железо действуют самым разрушительным образом, окисляя его. Этот процесс окисления происходит настолько сильно, что производит даже в железе механическое разрушение. Я видел одно сооружение, которое благодаря тому, что находилось в районе очень соленых вод и воды проникали к нему, в железе даже толщиной около сантиметра и больше

происходили разрушения; все эти соли способствуют ускорению ржавчины железа и в этом смысле на железо действуют очень сильно. Для того, чтобы железо не ржавело, необходимо его предохранить. Оно должно быть покрыто тонкой пленкой окиси, нужно непременно подвергнуть железо действию щелочных катализаторов и в этих условиях у вас получится наиболее устойчивая железная часть. Железо-бетонные трубы под влиянием сильных окислителей, какими являются все эти соли, тоже разрушаются, так что железо-бетонные трубы являются допустимыми постольку, поскольку мы можем быть уверены, что внутрь оболочки не проникнут воды, но так как такой твердой уверенности не может быть, то я лично считаю, что железо-бетонные сооружения в условиях минерализованных вод являются нежелательными.

Затем относительно действия гуминной кислоты. Гуминные кислоты представляют сложные кислоты и в этом смысле от них ожидать нужно скорее отрицательных воздействий.

О влиянии асфальта и на смолы. Смола, как и асфальт, может быть применена. Асфальт с бетоном будет давать хорошие результаты, но дальнейшие опыты необходимы.

Относительно действия внутренних вод. Если возьмете наружные грунтовые воды, там чуть не 3% растворенных солей, а в водах внутренних питьевых там сотые проценты и потому действие будет там крайне медленное. Практически можно считать, что если бетон достаточно плотен с поверхности, то там воды не оказывают такого разрушительного влияния, как это имеет место по отношению минерализованных наружных вод.

Надо думать, что действие сероводорода на бетон всегда будет вредно. Помимо того, что сероводород будет оказывать химическое действие самый сернистый кальций под влиянием естественного процесса переходит в гипс и если бетон будет подвергаться продолжительному действию сероводорода то будут происходить все те разрушительные явления, которые характерны для гипса.

Что касается хлорированной воды, то это действие будет сводиться к тому, что хлор свободно будет действовать на известь, образуя хлористо-кальциевую соль, которая будет выщелачиваться, но каких либо других явлений разрушения производимых подобно серноокислым водам можно не ожидать.

Относительно добавления нефтяных продуктов в бетон, может получиться очень хорошая комбинация при условии, что нефтяные продукты в бетон будут применены после того как процесс твердения закончился и материал был высушен.

Затем о церезите. Это воскообразное вещество, не смачиваемое водой, так что оно будет действовать подобно смолам и производить благоприятный результат при условии, конечно, сухого бетона и повышенной температуры.

Обсуждение доклада проф. А. А. Байкова в пленуме с'езда 30 апреля 1925 г.

Председатель предлагает желающим задать вопросы.

Голос. Подвергаются ли разрушению гончарные трубы от действия на них минерализованных вод, особенно серно-кислых?

А. И. Шахназаров. Я один из участников постройки Шолларского водопровода. 16 верст бетонного водовода были построены мною. Выделения гидрата окиси кальция были замечены мною и в сухих грунтах приблизительно через 3—4 месяца после постройки. Когда мы осматривали 61—63 кил. то мы видели, что вода, которая проникала и разрушала бетон, не разрушила штукатурки; кроме того при одинаковых природных условиях часть бетонного водовода в некоторых местах испорчена, а в других нет.

Чем нужно об'яснить, что в сухих грунтах, где не было проникновения никаких вод, ни наружных ни внутренних, было замечено это явление через 3—4 месяца после постройки и почему, когда мы осматривали 60—61 кил. там часть водовода испорчена, а часть не испорчена? Я думаю, что здесь есть один важный факт—это недобросовестная работа подрядчиков.

А. Ф. Курицын. Как об'яснить твердение бетона в пресной воде; по мнению докладчика бетон должен был бы разрушиться; это не наблюдается; чем же об'ясняется такое явление?

В. Е. Тимонов. Интересно было бы узнать экономическую разницу между цементом портландским и цементом плавленным; может быть докладчик, как специалист, дал бы некоторые указания, которые могли бы раз'яснить дальнейшие вопросы?

Голоса. 1) Влияет ли на качество бетона приготовление его на соленом растворе?

2) Можно ли усилить сопротивляемость бетона, взяв более жирный состав его?

А. А. Байков. Первый вопрос касается вопроса о гончарных трубах. Подвергаются ли они разрушению и действуют ли на них серно-кислые воды? Надо ответить совершенно определенно: в том случае, если трубы будут пористыми и будет происходить процесс кристаллизации, то трубы будут разрушаться; мне приходилось наблюдать чрезвычайно резкое разрушение прекрасных гончарных изделий, только под влиянием того что там происходила кристаллизация обыкновенной поваренной соли; если труба будет сплошь покрыта водой, то разрушение будет меньше.

Затем было указано, что явление образования белых натеков наблюдалось через 3—4 месяца там, где не было грунтовых вод. Позвольте в этом усомниться. Я утверждаю, что при отсутствии грунтовых вод эти явления разрушения не происходят; может происходить только некоторое выщелачивание извести, но порча внутри бетона не может

иметь места; если у Вас это имело место, то значит были грунтовые воды, которых Вы не заметили.

Затем был вопрос, каким образом происходит твердение бетона в пресной воде и почему он в ней не разрушается. Я не говорил, что бетон не разрушается, и там разрушается, только несравненно медленнее; если в морской воде происходит разрушение через 25—30 лет, то в пресной воде разрушение происходит в более долгий период времени 100—150 лет, но портланд-цемент существует немного более 50 лет, так что мы в этом отношении не имеем никаких данных, которые показывали бы что бетон не разрушается. Некоторые массивы, которые были построены в пятидесятых годах, разрушились; таким образом мы можем совершенно определенно сказать, что в пресной воде этот процесс происходит, но настолько медленно, что выходит за пределы существования построек; в присутствии минеральных вод происходит процесс разрушения через 6—10—15 лет, т. е. значительно скорее, чем в пресной. Опыты Ле-Шателье, который подвергал бетон действию чистой дистиллированной воды, показали, что через известное время бетон превратился в студенистую массу, потому что в этой воде не было углекислого газа, который образует оболочку; только благодаря этому газу у нас получается такая броня, которая задерживает разрушение; в дистиллированной воде все цементные растворы разрушаются, как это показали новейшие опыты, произведенные во Франции.

Что касается глиноземистого цемента, то при обсуждении соответствующего доклада, я указывал, что этот вопрос подлежит изучению. Я привел литературные данные, которые существуют по этому вопросу и которые показали, что в течение шести лет разрушение не происходило. По моим соображениям шесть лет слишком короткий срок. Я знаю, что разрушение бетона в естественных условиях наблюдается на 14—15 году, но глиноземистый цемент во многих своих частях существенно отличается от портланд-цемента и отличается тем, что при его твердении выделяется гораздо меньшее количество гидрата окиси кальция, и Вам станет это понятно, если Вы примете во внимание, что глиноземистый цемент состоит главным образом из аллюмината извести. Вполне понятно, что глиноземистый цемент по своей структуре является менее подвергающимся растворению, чем портланд-цемент.

Стоимость глиноземистого цемента, конечно, дороже обычного цемента, так как его составной частью является боксит, а боксит есть монополия немногих стран, чуть ли не одной Франции. В последнее время у нас открыты некоторые месторождения боксита, но они еще недостаточно обследованы, и во всяком случае мы еще не имеем определенных данных, которые говорили-бы, что у нас имеются запасы в таком количестве, чтобы можно было изготавливать бокситовый цемент. В настоящее время глиноземистый цемент стоит в три раза дороже, чем портланд-цемент.

Был задан вопрос, как отзываются затворения цемента на соленой воде. На этот вопрос можно ответить определенно: если мы будем

брать воды обычной солености, с 1—2% солей, это не имеет значения. Для затворения цемента нужно брать около 25% воды. В этих 25% воды будет находиться такое количество солей, которое никакого вредного влияния оказать не может; единственно может сказаться на скорости схватывания. В смысле прочности это не имеет существенного значения.

Можно ли предохранить бетон от разрушения, взяв более жирный состав? Взявши более жирный состав, мы увеличиваем водонепроницаемость раствора и, конечно, получим более благоприятные результаты.

Голос. От действия углекислого газа на бетон образуется корка, которая является броней. Нельзя ли искусственным путем известные места бетона корбонизировать?

А. А. Байков. Если бетон подвергать продолжительному выдерживанию на воздухе, то можно достигнуть превращения извести в углекислый кальций, и такая корбонизация дала бы очень хорошие результаты. Но это трудно осуществимо, потому что требует громадного времени. Может быть, искусственные способы корбонизации и будут применяться, но, по крайней мере, на практике этого не наблюдалось до настоящего времени.

Председатель. Кому угодно взять слово по докладу?

А. А. Иванчин-Писарев. Я хочу сказать, что доклад представляет огромный интерес с точки зрения охраны тех сооружений, которые имеют особое значение для целей водоснабжения. Сейчас мне, как представителю геологии, приходится иметь дело с охраной местности от разрушения оползнями. Те процессы, которые происходят внутри бетонных сооружений, имеют место и там. Эти процессы приводят к таким явлениям, что вызывают сползание берега на протяжении 100 километров. Я хотел отметить всю ценность этого доклада, так как мы долгое время, в течение 2-х лет, производили целый ряд наблюдений и работ с помощью химических и геологических обследований и они привели к тому, что нам сейчас в другой форме изложил докладчик. Во всех явлениях разрушения горных пород происходило увеличение объема породы, при чем породы увеличиваются не те, которые лежат на поверхности, а лежащие в глубине 2½ саж. от поверхности. Благодаря уважаемому докладчику, эти явления получают для нас полное освещение. При процессе разрушения естественных горных массивов естественно, имеют огромное значение, кроме водных растворов, и та газовая среда, которая может дать конденсационные воды: эти последние образуются вследствие разницы в температурах. Такой случай мы наблюдали под г. Сочи: с северной стороны горы, состоящей из мергелистых пород—сильное охлаждение, а с южной стороны—сильное нагревание: образующийся конденсационный поток здесь настолько велик, что он питает три источника, дающие в сутки 7 тысяч ведер; естественно, что в процессе разрушения пород эти воды имеют огромное значение.

Председатель. Последнее слово представляется А. А. Байкову.

А. А. Байков. Мне больше нечего сказать. Я позволю поблагодарить С'езд за ту честь, которую он мне оказал. (Аплодисменты).

Постановление С'езда по докладу проф. А. А. Байкова приведено далее, вслед за докладом В. Э. Новодворского.

Доклад инж. Г. К. ДЕМЕНТЬЕВА.

Цемент в применении к водопроводно-канализационному и нефтяному делу в зависимости от влияния на него грунтовых и буровых вод.

(Доложено в Водопроводной Секции С'езда 29 апр. 1925 г.).

Председатель *А. В. Кондрашев.*

1. Механические факторы устойчивости бетона и цемента.

Обширные сооружения, в составе которых принимает участие портланд-цемент,—сооружения, предназначенные реализовать изоляцию жидкостей от почвы или почвенных вод от обнимаемого ими пространства, издавна вызывали разноречивые отзывы.

Мы знаем факты отличного соответствия своему назначению бетона из портланд-цемента в обширных канализационных установках Германии, в многочисленных портовых и водопроводных сооружениях Италии и других морских стран.

Знаем мы, что портланд-цемент является и наилучшим средством для изоляции почвенных вод в нефтяной промышленности.

Но, наряду с этим нам известны случаи резкого разрушения сооружений из этого же бетона во всех перечисленных областях его применения. Примером этому могут служить бывшие у всех на памяти катастрофы портовых сооружений Черного моря, плотин северн. Италии (Глено), буровых сооружений нефтяной промышленности и проч.

Неудивительно, если еще Михаэлис вплотную подошел к вопросу выяснения причин таких разрушений и высказал взгляд, вполне согласный с теорией Ле-Шателье о том, что портланд-цемент не может быть устойчив там, где выделяющейся в процессе его гидротации, гидрат окиси кальция имеет возможность вступать в соединение с окружающим веществом, прогрессивно действующим или увеличивающим его растворимость, равно как и смену величин объема. Эти, вполне понятные химико-теоретические представления не получили полного подтверждения при опытным долготлетнем исследовании, как это явствует из сообщения Burchartz'a (журнал «Цемент» № 3, 1911 г.).

В чем же здесь дело?

Рассмотрим физико-химическую картину разрушения сооружения, в составе которого принимает участие портланд-цемент.

Самым естественным предположением будет такое, что, если мы наблюдаем смену желательных свойств сооружения на нежелательные нам, то это должно происходить в силу взаимодействия вещества бетонного сооружения с веществами окружающей среды,—последнее может быть реализовано только за счет их взаимного соприкосновения. Как только это условие нами будет устранено,—мы не сможем говорить о взаимодействии.

Представим себе, что окружающие реагенты не изолированы от химически активного вещества бетона, т.е. от портланд-цемента.

Каковы эти реагенты применительно к нашей задаче?

2. Химические факторы устойчивости.

В применении к канализационным установкам этого вещества с кислотными, основными или специальными органическими группами внутри установки,—и с текущими минерализованными или чистыми водами вне;—в обратном порядке это последнее, относится к водопроводным установкам и, наконец, то же самое, но при наличии специфических, свойственных буровым водам веществ относится к плоскости соприкосновения портланд-цемента с нефтяной техникой.

Нам известно практически и с точки зрения всех теорий, что в процессе отвердевания портланд-цементного раствора, выделяется гидрат окиси кальция. Заметим, что это вещество способно сравнительно хорошо растворяться в чистой воде и вступать в обменное разложение с солями, минерализующими воды, равно как и со многими органическими группами.

3. Активные реагенты почвенных вод.

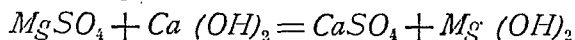
Таким образом, если мы подвергнем портланд-цемент действию минерализованной текучей воды, то, напр., водопроводное сооружение, дающее возможность этой воде прогрессивно действовать на тело бетона, разрушится.

Равномерно, если минерализованная вода, содержащая сернокислые соли магния и кальция, будет прогрессивно соприкасаться с портланд-цементом в теле бетона, то может быть вызвано образование более высоко объемных веществ, вроде гипса или сульфо-алюмината кальция, разрушающих сооружение.

Примером этому может служить разрушение частей Шолларского водовода на 61—62 километра.

По моим исследованиям был обнаружен следующий процесс:

Почвенные воды, содержащие гипс и сернокислый магний, проникают в бетон, где количество гипса увеличивается благодаря взаимодействию с ними гидрата окиси кальция:



Кристаллизуясь в порах бетона и образуя $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ с увеличением объема,—гипс ослабляет связь между частицами, способствуя более легкому проникновению минерализованной воды. Освобожденные пз-

вестковые алюминаты просачиваются совместно с гипсом дальше и, достигая определенной концентрации, образуют сульфо-алюминат, кристаллизующийся с еще большим увеличением объема, что, в свою очередь, способствует более и более значительному разрушению, идущему на основании высказанного навстречу току почвенных вод. Углекислота, заключающаяся в почвенной воде и в свободном виде и в виде карбонатов растворяет известь бетона: $Ca(OH)_2 + 2CO_2 = Ca(HCO_3)_2$.

Раствор бикарбоната кальция, выделяясь на дневную поверхность, теряет углекислый газ и выделяет углекислый кальций $Ca(HCO_3)_2 = CaCO_3 + H_2O + CO_2$, отлагающейся на стенках водовода.

При этих условиях разрушение должно идти изнутри водовода кнаруже вплоть до полного разрушения бетона. Заметим, кстати, что внутренняя поверхность водовода была заштукатурена чрезвычайно водоупорной цементной футеровкой, в то время, как, наружная свободна, что по нашему мнению, является одним из факторов разрушения водовода (см. черт. № 1).

Здесь видно ясно, что причина разрушения кроется и в составе вод и в составе цемента.

4. Принципиальные свойства устойчивых цементов

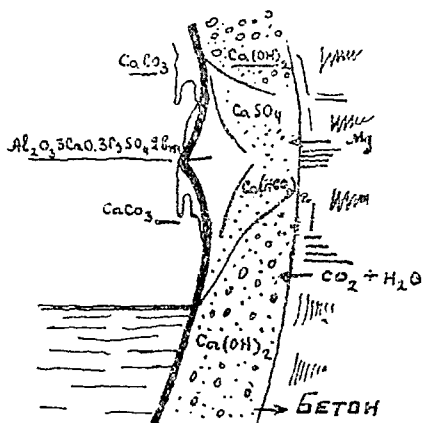
Что же нужно, чтобы избежать этого разрушения?

Мы сейчас говорили в плоскости соприкосновения веществ цемента и почвенной воды; состав последней изменить не находится в нашей власти, но состав цемента нами изменен быть может.

Раз образуется как разрушающий фактор сульфо-алюминат кальция,— соль Деваля,—рак цемента, то необходимо, что бы было как можно меньше веществ, его составляющих, т.-е. SO_3 , Al_2O_3 и CaO , отсюда стремление получать Eisen-Zement, который фирма Неммоог вырабатывает, напр., с количеством не более 1,5% Al_2O_3 , отсюда более низкий гидромодуль цемента и недопущение содержания SO_3 свыше определенного, но в то же время мы знаем, что Societe J. A. Pavin de la Farge du Teil (Ardéche), изготовляя цементы, прекрасно сопротивляющиеся действию морской воды не очень заботятся заменить в нем Al_2O_3 на Fe_2O_3 (журнал «Цемент» № 3 1911 г.).

Наблюдения Burchartz'a показали, что более высокогидромодульные цементы устойчивее тех, в которых содержание CaO меньше,—

Черт. № 1.



глиноземистый же цемент по пятилетнему стажу оказался прекрасно сопротивляющимся действию минерализованной воды и т. д.

Таким образом, одним химическим составом цемента рассматриваемый феномен объяснить нельзя.

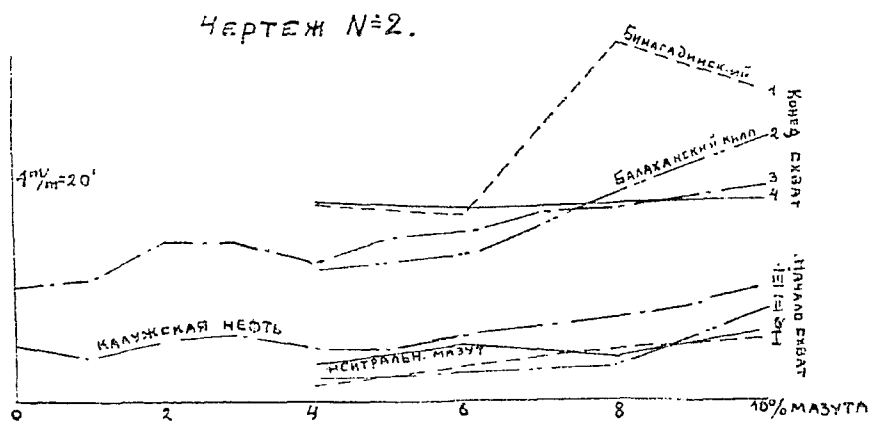
Переходя к рассмотрению смены свойств портланд-цементного раствора в зависимости от действия на него определенных органических групп, следует сказать, что многие из них обуславливают весьма резкий и нежелательный эффект, такими являются вещества смешанной функции ($=CO$ и OH ; $-COOH$ и OH) проф. Швецов «О действии органич. соедин. на цемент» («Строительная Промышленность», 1925 г. № 1), некоторые кислоты (CH_3COOH ,—исследов. автора) и т. д.

Так как в сточных водах городов не исключается возможность содержания этих веществ, то возможно допустить и их нежелательное действие на сооружения.

В то же время мною исследовались образцы портланд-цемента, положенные в нечистоты покойным проф. Шуляченко и содержащиеся в них свыше 10 лет. Никаких признаков разрушения и даже ослабления крепости эти образцы не обнаружили.

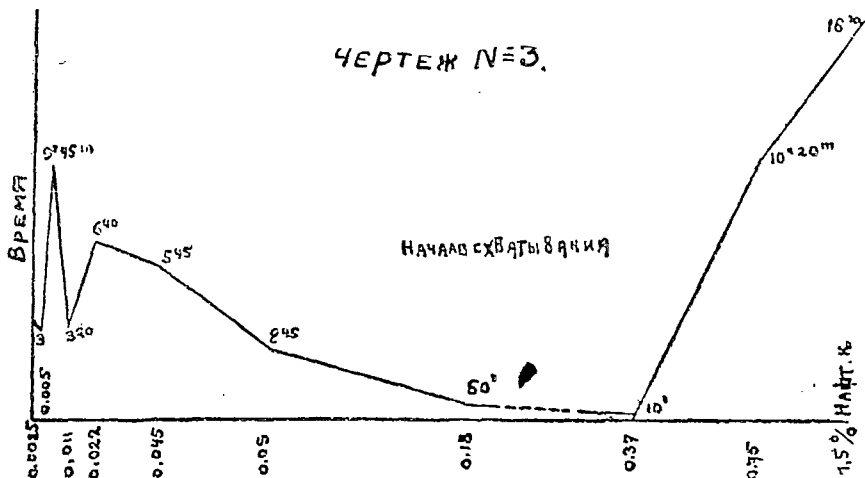
Применительно к последствиям соприкосновения цементного раствора с буровыми водами следует сказать, что по нашим исследованиям обнаружен наиболее активный реагент этих вод. (инж. Александров «Нефтебетон». «Азерб. Нефт.-Хоз.» № 5 (41) 1925 г.).

При изучении вопроса о действии мазута на портланд-цемент при его затворении, мы констатировали весьма разнообразное действие мазута (см. диагр. № 2).



Учитывая тот факт, что кислые мазуты наиболее резко сменяют свойства цемента, мы изолировали действие на него нафтеновых кислот и их солей. Приводимые диаграммы показывают п резкое воздействие на свойства цемента этих веществ и количественно незначительную величину добавок (см. диагр. № 3).

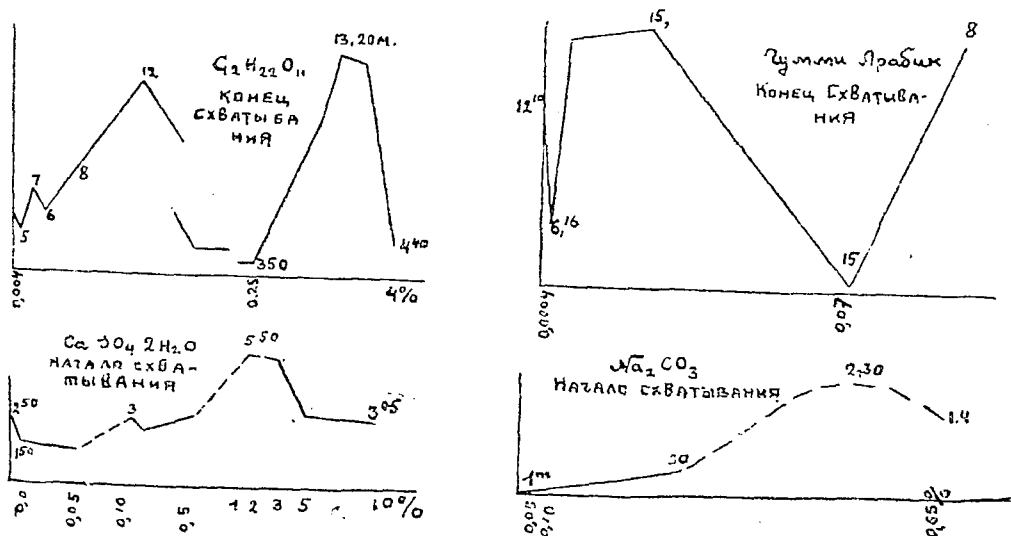
Последнее обстоятельство заставило обратить внимание на эту область малых добавок, так как действие их проявляется иногда более резко, чем для больших количеств (что может быть можно было



бы объяснить растворимостью броневой пленки продукта реакции при незначительном его количестве) и незначительные количества разнообразных веществ чаще могут встречаться в той или иной среде.

Как видно из приводимой диаграммы №4, многие вещества в самых незначительных количествах проявляют весьма резкий эффект.

ЧЕРТЕЖ №4.



Резюмируя сказанное приходится прийти к тому заключению, что имеется почти неограниченное число веществ, которые в незначительных количествах могут так сменить свойства портланд-цементного

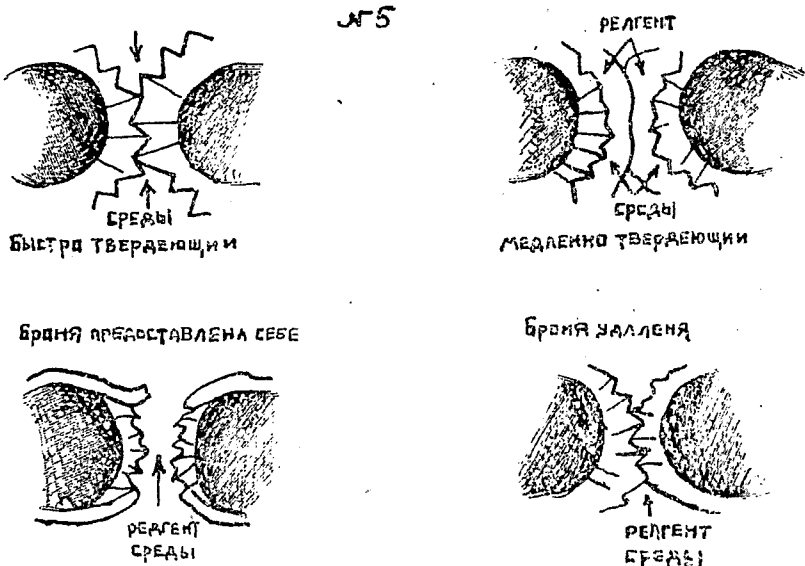
раствора, что вызовут последующее разрушение бетона или выведут из сферы нашего желания процесс его отвердевания. Опыт же учит, что, в большинстве случаев, сооружения из портланд-цемента устойчивы и случаи разрушения их по вышеуказанным причинам не оправдывают высказанного взгляда на устойчивость цемента.

5. Реализация устойчивости цементов в зависимости от их состава.

Подобное противоречие может быть вполне объяснено, если мы откажемся от фактора, заложенного в основу всего вышесказанного, т.е. от воздействия реагентов окружающей среды с веществами портланд-цемента. В этом случае, ни один из разобранных процессов пойти не сможет и сооружение будет вполне устойчиво. Чтобы представить себе, каким образом можно реализовать взаимную изоляцию активных веществ бетона и окружающей среды, необходимо обратиться к рассмотрению сущности процесса твердения раствора портланд-цемента.

Я представляю себе цемент, в конце концов, как находящиеся на некотором расстоянии частицы клинкера, при взаимодействии которых во время затворения с окружающей средой—в данном случае с водой, поверхность их подвергается такому изменению, в результате которого образуются вещества, соединяющие эти частицы. Таким образом, реакция отвердевания раствора портланд-цемента есть реакция поверхностная.

Образующийся в результате первой реакции продукт, в конце концов, весьма устойчив, но в первые моменты образования, он может быть так или иначе перерожден (см. черт. № 5).



Это возможно лишь при одновременности процесса гидратации и воздействия посторонних активных начал среды. В этом случае

вместо прочной связывающей отдельные зерна среды, мы получаем иную нежелательную нам по своему физическому состоянию.

Дальнейший процесс гидротации зерен не сможет обеспечить прочности сооружения, так как внешняя поверхность соприкосновения хотя бы и крепкого, в конце концов, ядра, или ослаблена, или разрушена.

Необходимо, чтобы гидротация цемента произошла вне среды воздействия вредных начал.

Отсюда понятен вывод Вигчартз'а о том, что цементы устойчивы в морской воде, если их предварительное твердение произошло вне ее.

Но практически бывает неудобно, а в нефтяной промышленности и невозможно вполне изолировать сооружения в первые моменты твердения.

Отсюда можно сделать вывод, о том, что указанная изоляция может быть удачнее выполнена не по пространству, но по времени. Нужно, чтобы цемент как можно скорее гидротизировался; т.-е. твердел.

Я полагал, что только этим условием можно обеспечить прочность сооружения и об'яснить все удачные мероприятия в области противодействия бетона почвенным, морским и сточным водам.

В самом деле, по блестящему сообщению проф. А. А. Байкова на 3-м Всесоюзном с'езде промышленности Строительных материалов процесс отвердевания цемента им освещен следующим образом:

В начале в затворенном цементе происходит растворение гидрата окиси кальция в воде. В момент насыщения раствора известью, последняя теряет возможность растворяться в своем насыщенном растворе переходя в коллоидальное состояние с последующей кристаллизацией.

Отсюда ясно, что чем скорее известь насытит окружающий раствор, тем ранее начнется отвердевание,—потому то, вопреки мнению Михаэлиса, цементы более богатые известью лучше противостоят морской воде (Вигчартз). Поэтому, добавки к цементу извести, при портовых сооружениях оказались полезны, поэтому, более густые растворы более устойчивы.

Но проф. Байковым сделано еще одно наблюдение: оказывается, что растворимость извести в воде падает в присутствии трасса (вообще веш. содержащих акт. SiO_2).

6. Характеристика сортов цементов и добавок к нему (высоко-сортные, трасс и пуццолановые цементы, глиноземистые цементы).

Отсюда понятно хорошее действие добавок веществ этого порядка, применявшихся еще в древнем Риме и вводящихся в состав портланд-цемента на современных заводах.

Этот введенный уже в новую номенклатуру вяжущих веществ пуццолановый портланд-цемент получается заводским смешением портланд-цемента с добавками пуццоланического характера. Так,

на Гос. Мальцовских заводах он изготовляется с местным метаморфизированным диатомовым пелитом, — на Новороссийских заводах с Карадагским трассом. По сообщениям проф. П. А. Велихова пуццолановый цемент может быть незаменимым для сооружений в морской воде, («Строит. Промышл. № 6—7, 1924 г.) хотя долголетние опыты твердения морских сооружений и показали, что добавка трасса должна быть ограничена (Burchartz).

Если учесть тот факт, что твердение такого цемента, в первые моменты, все же замедлено, то указания относительно ограничения количества вводимого трасса, будет понятно и согласовано с сообщением проф. П. А. Велихова о нежелательности употребления пуццоланового цемента для работ, требующих срочного твердения.

Последнее обстоятельство реализуется в так называемых высококачественных цементах, — представляющих собой портланд-цементы с более высоким содержанием извести и более тщательно приготовленные. Сопротивление этих цементов на растяжение в два, а на сжатие в три раза выше нормального, при чем, высокая прочность достигается уже через 2—3 дня твердения.

Совершенно иного химического характера глиноземистый цемент, содержащий около 40% Al_2O_3 и 40% CaO , как будто, должен был бы быть наиболее благоприятным в смысле образования сульфо-алюминатов, а следовательно проявлять значительную неустойчивость в морской воде.

Опыт показывает совершенно обратное, и глиноземистые цементы квалифицируются как, едва ли, не единственные в смысле устойчивости в морской воде (инж. Лебедев, «Строит. Промышл» № 9, стр. 547).

Заметим, что эти цементы приобретают огромную прочность еще быстрее высококачественных. В этом, по нашему мнению, и кроется причина их устойчивости.

Взглянем теперь несколько глубже на изображенную нами схему. Мы можем иметь веские основания думать, что зерна клинкера, составляющие цемент, могут быть покрыты пленкой вещества, образовавшегося в результате частичного процесса гидротации и карбонизации при вылежке продукта.

Кроме того, это вещество может быть плохо растворимо в воде; пусть это будет углекислый кальций. В этом случае, должно пройти некоторое время, в течение которого такая пленка разрушится и в течение этого времени процесс гидротации будет задержан, чем представляется возможность проникновения внутрь бетона реагентов окружающей среды.

Эти последние, реагируя с выделяющейся при гидротации известью, ослабляют ее механический эффект.

Но, если зерна клинкера не покрыты упомянутой пленкой или она искусственно разрушена, то механический эффект вызывается в среде, лишенной еще вредных реагентов.

С этой, именно, точки зрения мы начали изучение действия кислот на процесс твердения раствора портланд-цемента.

Предварительные результаты приводятся в диаграмме № 6, из которой видно, что действие всех взятых минеральных кислот ускоряет твердение цемента, и что энергичнее всех действует соляная кислота, образующая, кроме того, еще и хлористый кальций.

Действие последнего на процесс твердения п.-цементного раствора описано проф. Байковым—«О влиянии хлористого кальция на затвердевание п.-цемента, в применении к тампонированию буровых скважин». Результаты опытов, поставленных инж. Н. Н. Ляминам и А. А. Байковым в июле 1902 г. в Балаханах, дали весьма удовлетворительные результаты при тампонировании

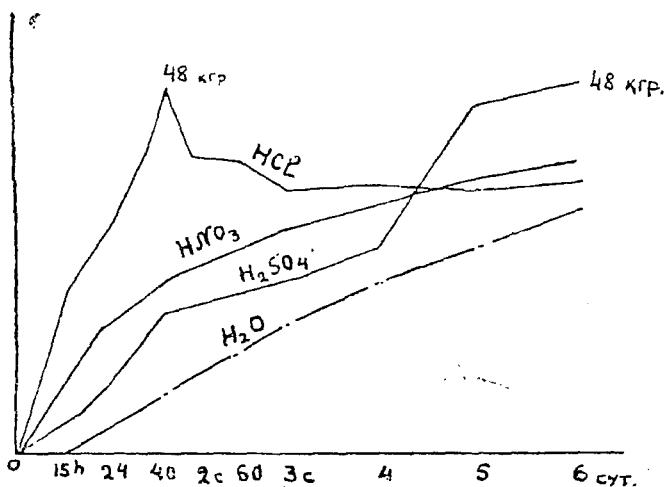
скважин. Кроме того, известно, что хлористый кальций, соответствующей концентрации, должен ускорять твердение; таким образом, и здесь удовлетворительный результат обеспечивается ускоренным твердением цемента. Но эти опыты были проведены со сравнительно большим количеством хлористого кальция (ок. 7% от веса цемента).

То, что было сказано о действии малых добавок может значительно уменьшить их величину. На это было указано инж. Ахшарумовым (журнал «Цемент» № 7 1911 г. с. 296), введившим хлористый кальций при перемолке клинкера в количестве лишь от 0,5 до 1%.

Но кроме хлористого кальция инж. Ахшарумов применял также и соляную кислоту, эффект действия которой не был хуже, чем при хлористом кальции. По нашему мнению введение соляной кислоты, а может быть и серной, в незначительных количествах может быть весьма благоприятно, так как ускоряет процесс твердения цемента, чем и парализует действие вредных агентов.

Действие остальных добавок к цементу в целях уменьшить его водопроницаемость основано, прежде всего, на рассмотренном случае применения пуццоланических веществ, а затем преследует цель заполнения пор в цементе, каким-либо нерастворимым веществом, сюда относятся: мыло, дающее нерастворимую соль, яичный белок—свертывающийся от действия извести и пр.

Черт. 6.
ДЕЙСТВИЕ МИНЕР. КИСЛОТ НА СКОРОСТЬ
ТВЕРДЕНИЯ ЦЕМЕНТА



Эти добавки могут быть полезны лишь в том случае, если они не обвалакивают пленкой частицы клинкера и не задерживают, таким образом, процесса твердения,— в противном случае действие таких добавок будет обратно желаемому.

Более приемлемой была бы штукатурка сооружения цементом с упомянутыми добавками, из которых лучше всего действуют флюаты Кесслера.

Таким образом, непроницаемость цемента, обуславливаемая повышением скорости его затвердевания, является основным условием удовлетворительного состояния сооружений нефтяной техники, водопроводных и канализационных сооружений, при чем для двух последних логически возникает вопрос о проницаемости бетона, зависящей от способа его изготовления и качества составляющих его веществ.

Рассмотрев поведение важнейшего компонента бетона—цемента я не буду останавливаться на хорошо изученных и известных методах приготовления бетона, указав в заключение, что некоторые его специальные сорта, как напр., *Mammut beton* фирмы *Max Brondus*, после восьминедельной выдержки не обнаруживает водонепроницаемости и при давлении в 150 атмосфер по истечении 8 дней.

Резюмируя сказанное, я позволю себе высказать соображение, в силу которого, по моему мнению, для всех сооружений, подвергающихся действию буровых, почвенных или сточных вод—пригодны те цементы, скорость твердения которых наиболее высока, вне зависимости от их химической природы, что позволяет, таким образом, пользоваться любым типом цемента, как только мы в состоянии будем сделать его быстро твердеющим.

Прения и постановления по докладу инж. Г. К. Дементьева приведены далее вслед за докладом инж. В. Э. Новодворского.

Доклад проф В. А. ДРЗЛОВА.

«Влияние сточной жидкости и грунтовых вод на разрушение бетонных труб».

Доложен в Водопроводной Секции С'езда 29 апреля 1925 г.

Председатель *А. В. Кондрашев.*

Применение бетона в области санитарной гидротехники очень разнообразно. Из бетона готовятся канализационные трубы и водоводы для провода чистой воды. Бетон идет на изготовление сборных, осадочных и регулирующих резервуаров, смотровых колодцев и бассейнов в связи с устройством биологических очистных сооружений.

Обширное использование бетона в деле санитарно-технического строительства показало, что применение бетона должно быть ограни-

чено в зависимости от химического качества вод, с которыми он приходит в соприкосновение.

Бетонные трубы могут разрушаться не только от причин связанных с неудовлетворительным качеством употребляемого материала, способом изготовления труб, от истирания песчаными отложениями, слишком горячих сточных вод, колебаний почвы, но также от действия жидкости с кислой и щелочной реакцией.

На бетонные трубы действуют воды, содержащие углекислоту, серные соединения, азотно-кислые соли, калиевые и магниевые соединения, щелочные соли, омыливающие масла и жиры, гуминовые кислоты и даже организмы, как например слизняки *Teredo navalis* и др.

Влияние кислот на бетонные трубы.

Селль на основании опытов пришел к заключению, что сопротивление бетонных труб действию кислот, особенно минеральных очень незначительно.

Роланд отмечает, что бетонные колодцы в Эмшире постепенно уничтожаются городской сточной жидкостью с небольшой кислой реакцией. Следует заметить, что сравнительно слабые органические кислоты, вроде молочной кислоты (напр. из кислой капусты) разрушают бетон, образуя молочно-кислую известь.

Влияние на бетонные трубы соединений серы.

Соединение серы, по данным Михаэлиса, Пассова, Нитцше, представляет опасность во всех видах, а именно: серно кислых, серноватисто кислых, сернисто кислых, свободного сероводорода и даже элементарного состояния.

В Бреславле городская сточная жидкость, содержавшая сероводород и сернистый аммоний, послужила к разрушению бетонных труб.

Сточная вода с примесью сероводорода завода в Дессау произвела подобное же повреждение.

Шерман и Шамбере отмечают случай, когда бетонный трубопровод в течение двух лет был разрушен сточной жидкостью с большим содержанием сероводорода. В этом случае было замечено, что более всего были разрушены места неомываемые водою, на таких местах обычно серый цвет цемента превращался в белый, делался мягким. Из размягченного бетона песок уносился водою.

Дунбар и Стефан указывают случаи, когда в складочных помещениях бетон под влиянием газообразного сероводорода превращался в кашеобразную массу.

В Америке также часто наблюдаются случаи порчи бетонных труб сточными водами.

Поражающие результаты действия газообразного сероводорода сообщают Барр и Буханан. По их наблюдениям сульфат сточной воды превращался под действием бактерий в сероводород; последний в свою очередь под влиянием воздуха и бактерий окислялся в серную ки-

слоту, которая с своей стороны действовала на цемент и переводила его в гипс. Такой случай имел место в Los Angeles в Калифорнии в 1900 г.

В этом же направлении имеются работы Бейринка, Зелинского Виноградского, Энгельмана, Германа.

Влияние почвенных условий на бетонные трубы.

Если бетонные сооружения находятся в соприкосновении с почвою в которой содержится гипс, то почвенные или атмосферные воды, проникая в почву будут растворять этот гипс и будут являться уже опасным для бетонных сооружений.

Исследования Фендлера, Франка и Тильманса показали, что в болотистых почвах, под влиянием биологических процессов, образуются серный кремнезем, серные органические образования и даже свободная сера, которые при колебаниях уровня воды в почве, под влиянием кислорода проникающего воздуха, переходят в сернокислые соединения с выделением свободной серной кислоты, которая вредно отражается на бетонных сооружениях. Если в болотистой почве встречается одновременно и углекислый кальций, то на бетон оказывает влияние освобождающаяся свободная углекислота. Бетте и Тильман дают и химическую реакцию всем приистекающим явлениям в указанных условиях.

Известны разрушения бетонных каналов, проложенных в болотистой почве в Оснабрюке, во Франкфурте на Майне, около Шарлотенбурга, в Эмшире, Баден Бадене, Бремене, Галле на Saale; Груневальде, в Паульсборне.

Вредное действие на бетонные сооружения оказывают также и наносные напластования, как домашний строительный мусор, шлак и т. п. Сарторн сообщает следующий случай: на бетонном сооружении стоял деревянный желоб, в котором находился домашний сор. Дождевая вода вымывала из сора сульфат на бетон и производила его разрушение.

Влияние домашнего сора на бетон исследовали: Герман, Гельбин и Бах. Селитренные соли по Ролланду могут проникать в подпочвенную воду из уборных и вредить бетону.

По наблюдениям Германа, Гельбина и Баха разрушение бетонных каналов происходит чаще при одностороннем давлении воды, ибо вода проникая через стенку канала испаряется на внутренней поверхности и обогащает их гипсом. Нередко наблюдается в каналах, что внутренняя сторона превратилась в белую массу и разрушена, тогда как более глубокие части с наружной поверхности остаются крепкими и неповрежденными.

По Шпигельбергу бетонные разрушения почвенными водами наблюдались в Вене, в Германштадте, в Зибенбюргене, Бруке на Лейте, Фальдсберге в Австрии, в Медлинге около Вены.

По данным Ломбарда и Деформа выяснено, что быстро твердеющие цементы подвергаются разрушению примерно вдвое скорее.

По данным де Блок ван Куффелер медленно связывающий цемент самый прочный при составе $1:1\frac{1}{2}$, или $1:1\frac{1}{2}$ трасс:3 песка. При употреблении железобетона, каркас должен быть погружен не меньше 2 с/м от поверхности. Употребление трассы дает большую прочность. Относительно благотворного влияния трассы вопрос еще не решен — является ли оно следствием химического воздействия, или же механического увеличения плотности бетона.

В Ларошелле с 1852 г. ведутся опыты с погружением бетонных свай в различные почвенные условия. Замечено, что сваи выдержанные в течение года при влажном воздухе, оказываются значительно прочнее тех, которые употребляются сразу по заготовке их. Автор указывает огромный перечень имен, которые посвятили свой труд изучению вопроса о воздействии различных вод на бетон.

За ограниченностью времени мы не указываем на разрушение бетонных сооружений, труб и каналов от сточных вод разных химических производств, вод с газовых заводов, морской воды, вод угольных копей, а остановимся кратко на той части, которая касается вопроса о принятии целесообразных мер предупреждения цемента и бетона от разрушения проточными водами.

Стивенсон на этот счет дает следующее руководство: В канализационные трубы не следует выпускать: 1) сточные промышленные воды без предварительной соответствующей очистки, а равно воды из которых могут отлагаться на стенках примеси, способные подвергаться гниению; 2) воды содержащие воспламеняющиеся примеси (бензин и т. п.); 3) воды содержащие пар и горячую воду; 4) воды содержащие кислоты, вредно действующие на трубы.

Для контроля за составом сточной жидкости рекомендуется устраивать, около мест выпускающих опасные для труб воды, ревизионные колодцы, обделанные цементом для соответствующего наблюдения за его состоянием.

По предложению Барта действие сточной жидкости предварительно всесторонне испытывается на особой пробной трубе, и этим решается пригодность материала.

По вопросу о непосредственной охране бетонных труб от действия протекающей через них жидкости, можно найти указания в руководствах Барта, Роланда, Родта, Андерсона, Риттера, Бергвальда, Шульца и других.

Средства для защиты бетона от разрушения.

По Рубнеру затирка поверхности чистым цементом изолирует трубу от просачивания жидкости через поры стенок, хотя не гарантирует от появления на такой поверхности трещин.

По Юдту бетонные трубы, после хранения на складе в течение времени не менее $\frac{1}{2}$ года приобретали сопротивление воздействию на них жидкости, как и каменные.

Для получения более плотного бетона рекомендуется примесь к цементу мелкоразмолотой трассы, благодаря присутствию которой цемент твердеет медленнее, и масса получается плотной, трасса заполняет все поры бетона и препятствует проникновению в толщу бетона почвенной воды. Испытания в лабораториях и практических установках в морских доках показали преимущества трассы.

Рекомендуют примесь жидкого стекла к цементу, но по опытам Шмидта эта прибавка уменьшает прочность и плотность бетона.

Гардт рекомендует прибавлять к цементу углекислый барий. Лабораторные опыты дали благоприятные результаты с образцами, сделанными из цемента, которые содержали 5—15% углекислого бария.

Гизе и Ресслер взяли патенты на приготовление цементов с прибавлением соответствующих примесей, которые не подвергаются действию кислот и являются непроницаемыми.

Цеббе предлагает на сооружение наносит несколько оградительных бетонных слоев с разными примесями, напр. с серным цветом, уксусно кислой медью. Такой слой делается настолько плотным, крепким и прочным, что его можно наносить на подводные сооружения и пловучие суда, как для охраны железных конструкций, так равно и для защиты их от присасывания раковин и моллюсков.

Следует указать здесь также на покрытие поверхности бетонных сооружений мылистыми, маслянистыми и жировыми составными частями, также минеральными маслами и флуатами. Большинство этих препаратов по указаниям Шмидта, Амоса, Петри и Эйзелена влияют отрицательно на прочность бетона.

К этому же способу следует отнести смазку, пульверизацию или нагнетания в массу цемента особых веществ, которые повышают значительно степень прочности поверхности.

Молл рекомендует смазку бетонных стенок двумя растворами которые не действуют растворяюще друг на друга, и этим предупреждают проникновение жидкости в бетон.

Кроме этого для сооружений, где может происходить гниение по Кроифу, рекомендуется применение смазки из ава-изоляционных лаков, которая противостоит действию кислот.

Жидкая газовая смола хорошо проникает в бетон, угольная смола также довольно глубоко всасывается в бетон. Такими средствами по Паулу можно достигнуть, что поры, как на поверхности, так и на значительную глубину заполняются смолою.

Беттге рекомендует асфальтовый лак и целый ряд других веществ, как Negrit, Ipertol и др., которые противостоят действию кислот. Однако асфальтовый препарат не спасает бетон от мылистых масел, ибо асфальт растворяется маслом.

По Шонн'у уплотнение бетонных стен может быть достигнуто покрытием их металлами—слоем олова, цинка, алюминия.

По способу Бельта поверхность обсыпается металлическим порошком и под давлением гидравлического пресса порошок проникает в основ-

ную массу. Такая покрывка является защитой, как от проникновения жидкости, так и от мороза и перемен погоды.

По Кнауфу рекомендуется бетонные каналы одевать до $\frac{1}{6}$ наружной высоты каменными плитками.

В заключение следует отметить, что камень, кирпич и кислотоупорный клинкер являются наиболее подходящим строительным материалом для канализационных каналов.

Предложение—поручить Постоянному Бюро собрать литературный материал и составить очерк современного положения вопроса о влиянии различных вод и местных почвенных условий на прочность бетонных и железобетонных труб и каналов.

Прения и постановление по докладу проф. В. А. Дроздова приведены далее вслед за докладом инж. В. Э. Новодворского.

ДОКЛАД инж. В. Э. НОВОДВОРСКОГО.

О железобетоне в водопроводном и канализационном деле.

Доложено в Водопроводной Секции Съезда 29 апреля 1925 г.

Председатель *А. В. Кондрашев.*

Железобетон в настоящее время один из наиболее распространенных строительных материалов. Нет почти области строительной техники, где бы он не нашел того или иного применения, при чем, если сравнительно еще недавно можно было говорить о всеобщем «увлечении» железобетоном, в результате коего бывал преимущественно успех, но иногда и разочарование и даже глубокое недоверие к этому материалу,—то в настоящее время в связи с большим накопившимся опытом осуществленных сооружений, с одной стороны, и лабораторных исследований, с другой—мы можем говорить о железобетоне, как о материале и о конструктивном методе с вполне установившейся физиономией, с определенными хорошо известными достоинствами и недостатками. И те и другие находятся в тесной связи как с совершенством вырабатываемых техникой железобетона конструктивных приемов, так и с качествами составных материалов. Из них наиболее важное значение имеет, конечно, цемент. По отношению к последнему мы стоим в настоящее время по всем признакам на рубеже двух эпох. Наряду с классическим портланд-цементом, достоинства и недостатки коего нам хорошо знакомы, появляются новые разновидности цемента (трассовые цементы, глиноземистые цементы и т. д.), которые уже настолько отстают по своим качествам и состав от обычного портланд-цемента, что завоевывают самостоятельное место в ряде вяжущих строительных

материалов и вытесняют нормальный портланд-цемент из многих отраслей строительства.

Практическое использование старого опыта и новых достижений бетонной и железобетонной техники, конечно, не должно идти анархическим путем. Задача научных обществ и съездов, параллельно с изучением старых и новых форм,—их направление и регламентирование.

Водопроводные и санитарно-технические устройства обнимают целый ряд самых разнообразных сооружений, из которых некоторые не отличаются ничем существенным от подобных им сооружений в других областях техники; другие же носят специальный характер и должны удовлетворять особым условиям определяемым в зависимости от их назначения. Поскольку железобетон применяется для сооружений первого рода, к нему предъявляются общие требования, регулируемые Правительственными Нормами, а при проектировании сооружений применяются конструктивные формы и методы расчета, изучение и развитие коих составляет специальность технических кадров, занятых железобетонным строительством вообще. Но поскольку из железобетона строятся сооружения такого характера, что предъявляют к материалу особые требования, вытекающие из особенностей службы этих сооружений в составе водопроводных или канализационных устройств,—постольку регламентирование этих требований, с одной стороны, и изучение и совершенствование материалами с другой стороны входят в круг интересов и деятельности техников водопроводного и канализационного дела, а тем более их объединения в лице периодических водопроводных съездов и их постоянных органов.

Обратившись к разнородным сооружениям, обслуживающим водопроводные и санитарно-технические нужды, могущим быть построенными из железобетона, мы должны остановиться, главным образом, на всякого рода водохранилищах и водоводах, понимая таковые в широком смысле слова, т.-е. на сооружениях, в которых хранятся или по которым протекают жидкости,—в частном случае вода, в чистом или загрязненном виде.

Постоянное соприкосновение стенок этих сооружений с жидкостью, при своеобразном расположении внешних сил и совершенно особых конструктивных формах, ставят инженеру вполне определенные задачи, несколько отличные от задач в других отраслях железобетонного строительства.

Железобетон в применении ко всякого рода сосудам имеет уже свою историю. Он стал применяться самым официально признанным изобретателем нового материала—Монье. Даже название первого патента Монье 1867 года «un système de caisses-bossins meobiles en fer et eu ciment applicable à l'horticulture» показывает, что первые шаги железобетона были сделаны именно в области, которая нас специально интересует. В 1868 году им заявлен патент на бассейны и трубопроводы. За время с 1868 по 1873 годы, т.-е. за пять лет им построено до десятка бассейнов в разных местностях Франции общей емкостью

до 5.000 куб. метров. Таким образом, в отношении водоемов мы имеем более чем 50-летнюю давность. С тех пор наш материал не сходил со сцены в области постройки водоемов и трубопроводов. Как конструктивные формы, так и сам материал и способы производства работ непрерывно совершенствовались. Тоже можно сказать о методах расчета. В настоящее время можно указать бесчисленное множество примеров сооружений подобного рода, прекрасно выдержавших многолетние испытания. Нам не нужно для их изучения покидать границ нашего Союза. Русские инженеры имеют полное основание гордиться целым рядом выдающихся железобетонных сооружений по обслуживанию водоснабжения как городов, так и железных дорог.

И все же мы и в наше время слышим упреки по адресу железобетона и имеем часто дело с недоверием к нему—именно и особенно в области постройки сосудов и водоемов. В чем же дело.

Причина кроется в трудности усвоения и целесообразного использования свойств материала, правильнее—совокупности материалов, которая в тесной взаимной связи носит собирательно название железобетона.

Посильному изучению некоторых сторон этого дела посвящен настоящий доклад.

Ко всякому инженерному сооружению мы пред'являем требование прочности, долговечности и экономичности. Если имеем дело с сосудом или трубопроводом, то сюда присоединяется еще требование непроницаемости, которую в данном случае следует поставить на первое место.

Непроницаемость железобетона сводится, конечно, к непроницаемости бетонной массы. Абсолютно непроницаемого бетона не существует, но ту или другую степень непроницаемости, практически достаточную, мы можем достигнуть соответствующими мерами.

Проникновение жидкости, в частности воды, в тело бетона может происходить двояко, при чем мы будем иметь дело с совершенно различными явлениями, меры устранения коих также будут различны.

С одной стороны, сама масса бетона представляет тело более или менее пористое. Поры эти, в зависимости от способа изготовления и хранения бетона, могут быть заполнены воздухом, водой или другой жидкостью, посторонней добавкой к раствору и, наконец, соответствующими мерами при производстве бетона, об'ем самих пор может быть уменьшен до минимума путем более тесного сближения частиц тел, входящих в состав бетона. Поры бетона представляющие незаполненные промежутки между твердыми частями бетона, сообщаются между собой и, таким образом, образуют более или менее широкий, более или менее извилистый путь, по которому может происходить проникновение жидкости с одной поверхности на другую.

С другой стороны, под влиянием внутренних растягивающих напряжений, превосходящих временное сопротивление бетона растяжению, и вызванных, будь то внешними силами, будь то внутренними явлени-

ями, сопровождающими схватывание и твердение, в бетоне появляются нередко трещины, часто невидимые для глаза, но тем не менее являющиеся нарушениями непрерывности бетонной массы, и дающими доступ жидкостям, атмосферной влаге и газам в тело бетона.

Характерно, что первые пути проникновения влаги в бетон, составляющие принадлежность самой структуры бетона, не имеют прямого вредного влияния на заделанную в бетонную массу железную арматуру, поскольку они не приобретают слишком крупных размеров. Вторые же, а именно волосные трещины, не проникающие обычно глубже железной арматуры в бетон, обнаруживают, наоборот, весьма вредное влияние оказываемое на металлическую арматуру, как бы обнажая ее и лишая защитного покрова.

Эти волосные трещины, будучи таким образом, факторами особенно вредными для арматуры и сокращая срок службы последней, должны быть отнесены к причинам уменьшающим долговечность железобетона, и потому мы к ним возвратимся в части доклада посвященной долговечности железобетонных сооружений. Здесь же мы остановимся лишь на явлениях первого рода—пористости бетона и на способах ее уменьшения или ослабления ее вредного действия. Пористость, будучи причиной проницаемости, способствует увеличению поверхности соприкосновения жидкости с бетоном и может, таким образом, быть косвенной причиной разрушения самой бетонной массы, точнее—цементного раствора.

Для того, чтобы судить о рациональности способов уплотнения бетона надо составить себе ясное представление о происхождении пор.

Пористость бетона есть результат: 1) самого способа изготовления материала и 2) процесса, происходящего при схватывании бетона.

Промежутки между инертными составляющими частями бетона могли бы быть абсолютно или практически абсолютно заполнены цементирующим веществом, если бы последнее при затворении представляло бы идеальную жидкость и затем полностью переходило бы в твердое состояние без изменения объема и без выделения газов.

Действительный процесс, происходящий в бетоне, далек от этого идеала.

Прежде всего, самый способ приготовления бетона в том виде, в каком он применяется на практике, далеко несовершенен, а для изготовления стенок сосудов, какими являются резервуары и трубопроводы его, судя объективно, следовало бы считать недопустимым, если бы мы располагали практически осуществимыми более совершенными методами.

Если при постройке моста, перекрытия, и т. п. сооружений, находящихся сравнительно в благоприятных условиях взаимодействия с окружающей средой в конце концов не так важен вопрос плотности бетонной массы, лишь бы она оказывала известное сопротивление

внешним усилиям, то в сосудах плотность массы бетона играет перво-степенную роль.

Как же изготовляется бетон?

Путем длительного перемешивания составных частей его между собой, будь то в ручную, будь то механическим путем. Но что же мы перемешиваем. Принято говорить, что гравий (или щебень), песок, цемент и воду. Это не верно—обычно забывают воздух, который, благодаря принятым способам изготовления бетона (особенно т. н. жесткого бетона), тщательно и обильно примешивается к массе бетона и остается в ней, если не всегда в виде крупных каверн, то, во всяком случае, в виде отдельных мельчайших пузырьков воздуха, которые мы простым глазом или в лупу найдем на любом изломе цементного образца, хотя бы изготовленном в лаборатории самым тщательным путем.

Цементирующее вещество состоит из двух частей: жидкой воды и твердой, пылеобразной массы перемолотого цементного клинкера. Химический процесс схватывания обнимает и приводит взаимодействие лишь часть того и другого. Мы знаем, что часть воды остается в теле бетона в несвязанном виде, и что также и часть цемента остается в инертном состоянии. Последнее подтверждается уже некоторыми опытами (Шукин. Вестник Прикладной Химии и Химической Техники 1, 5, 1916¹) и находит оправдание в коллоидальной теории твердения цемента. Таким образом, отвердевшая бетонная масса состоит из:

1. Камневидной (щебень, галька, гравий, шлак. . .).
2. Песка.
3. Остатков зерен перемолотого клинкера не вошедших во взаимодействие с водой.
4. Цементирующего сложного соединения части клинкера с водой (кристаллы, гель).
5. Свободной воды.
6. Воздуха.

В соотношениях количества и взаимного расположения всех этих 6. составных частей бетона следует искать решения вопроса водонепроницаемости бетона, а не в соотношении камневидной, песка, цемента и воды, как обычно принято.

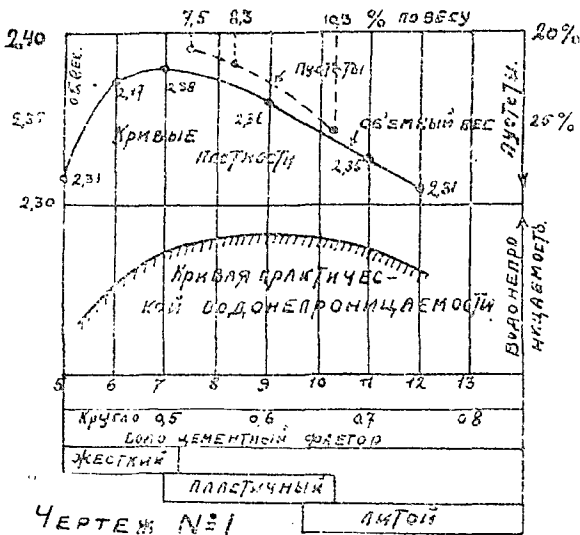
В соответствии с изложенным поры и пустоты в бетоне могут быть следующего происхождения.

1) От замешивания воздуха в изготовляемый бетон. Часть его удаляется при употреблении бетона в дело. При жестком бетоне он удаляется трамбованием, но недостаточно. В трамбованном бетоне всегда еще очень много воздушных каверн, разбитых трамбованием на более мелкие части.

При пластичном бетоне, в виду большей подвижности массы, воздух удаляется перемешиванием легче нежели в жестком трамбова-

¹) Инженер Назаров. Процесс твердения цемента с точки зрения коллоидальной химии—Строит. Промышл. 1923, № 1.

нием. В литом бетоне при внимательной работе пустот меньше всего, но зато увеличивается объем пор другого характера. Опытом установлено, что наиболее способствуют проницаемости бетона пустоты, заполненные воздухом.



ЧЕРТЕЖ № 1

Проф. Otzen'ом построен график, который мы здесь заимствуем¹⁾ наглядно рисующий картину зависимости степени непроницаемости от консистенции бетона (черт. 1).

Верхние две кривые характеризуют плотность и объем пустот и построены по лабораторным данным Графа.

Нижняя кривая основана на практическом опыте и характеризует результаты, осуществляемые на практике при постройке сооружений.

Максимум непроницаемости сильно передвинут в сторону пластичного и литого бетона.

Уменьшение содержания воздуха в замесе должно составить серьезную задачу современной бетонной и железобетонной техники водонепроницаемых устройств.

Несовершенство применяемых ныне способов изготовления бетона ощущается многими и в последнее время стали появляться попытки преобразовать процесс приготовления бетона на новых началах. К ним следует отнести, между прочим, затворение бетона паром, способ применяемый с успехом при постройке железобетонных вагонов во Франции²⁾ пневматическое бетонирование (т. н. «торкретирование») и «Аэро-бетоньерка» Шпренгера³⁾. Последняя хотя и не преследует тех целей, какие указаны выше, но свидетельствует о неустанных поисках новых методов изготовления бетона, в виду несовершенства старых.

2) От неправильной дозировки, когда раствор не заполняет всех пустот камневидной, а цемент с водой—пустот в песке. На этой причине мы не будем останавливаться, т. к., очевидно, для железобетонных сосудов нельзя применять ни тощего, ни пористого (по номенклатуре проф. Федоровича) бетона.

3) От недостатка воды для процесса окаменения

1) Der Baningenieur № 16 за 1923 год, стр. 471, статья «Stampfbeton oder goussbetou».

2) Handbuch für Eisenbetonbau B. VIII. Berlin 1922.

3) «Строит. Промышл.» 1923, № 2, стр. 45, статья Mavg us «Géni Civil».

цемента и для смачивания всех составных частей бетона. Само-собой понятно, что если количество воды, взятое для затворения бетона недостаточно для гидротации цемента, то продукт получится неудовлетворительный и неустойчивый. Кроме воды, потребной для затворения, нужна еще вода для смачивания составных частей бетона. Количество этой воды мало зависит от дозы цемента в смеси, а больше от состава самой смеси. Немцами введен своеобразный термин—Wasser-zement faktor, характеризующий потребное количество воды для увлажнения и придания определенной подвижности смеси. Этим термином обозначается весовое отношение практически потребного для затворения количества воды к количеству цемента в смеси. Оно колеблется в пределах от 0,40 до 0,80 в зависимости от состава и консистенции бетона. Для жесткого бетона оно равно от 0,4 до 0,5, для пластичного—от 0,5 до 0,65, а для литого—от 0,65 до 0,80, в то время как вода, потребная для гидротации цемента, не превосходит 0,11—0,12¹⁾ от веса цемента. Если указанный коэффициент понизить против минимума, потребного для получения жесткого бетона, то часть той доли воды, которая должна была пойти на гидротацию, останется в растворе в несвязанном виде и не весь цемент будет затворен. Такой бетон, конечно, в дело не годен.

4) От сохранения в отвердевшем цементе несвязанной химически воды. Этот избыток воды может испариться, оставив заполненные воздухом пустоты, может быть вытеснен жидкостью, заполняющей сосуд под давлением и, наконец, может путем диффузии смешаться с этой жидкостью и приобрести вредные для бетона свойства.

При современном состоянии цементной техники поры последнего рода, к сожалению, неизбежны. Схему их образования можно себе представить в виде нижеследующего простого геометрического подсчета, не претендующего, конечно, на точность, но дающего довольно наглядную картину.

Представим себе, что зерна цемента все одинаковой величины шарообразной формы диаметром $2r$.

Пусть активным будет лишь верхний слой зерна—толщиною δ , остальное ядро по тем или иным причинам остается инертным. Активный слой, пройдя в соприкосновение с водой, гидратируется, превращаясь частью в кристаллы, частью в коллоидальное состояние—в гель. Положим, что каждый об'ем активного вещества, равный единице, связывает об'ем воды равный m , при чем получается приращение суммы об'емов соединения γ . Пусть $\frac{r}{\delta} = n$. В результате процесса будем иметь об'ем оставшегося инертным клинкера.

$$v_0 = \frac{4\pi}{3} (r^3 - 3r^2\delta + 3r\delta^2 - \delta^3) = \frac{4\pi}{3} \delta^3 (n^3 - 3n^2 + 3n - 1)$$

¹⁾ По другим данным до 0,16.

Объем активной части клинкера:

$$Va = -\frac{4\pi}{3} \cdot \delta^3 (3n^2 - 3n + 1)$$

Пусть плотная масса составляет p частей от единицы объема цементного порошка. Количество зерна в единице объема будет:

$$\frac{p}{\frac{4\pi}{3} \delta^3 n^3}$$

Поэтому на единицу объема цемента приходится:

Активной массы

$$p \frac{3n^2 - 3n + 1}{n^3} = p \cdot N$$

Инертной массы—

$$p \frac{n^3 - 3n^2 + 3n - 1}{n^3} = p(1 - N)$$

Пустот, заполненных водой и воздухом:

$$1 - p$$

В результате получим:

Отвердевшего цементного вещества

$$p \cdot N(1 + m)(1 + \gamma)$$

Инертной массы—

$$p(1 - N)$$

Итого

$$W = p[N(1 + m)(1 + \gamma) + 1 - N] = p[1 + N(m + \gamma + m\gamma)] \dots (1)$$

Если $W = 1$, то должно получиться теоретически абсолютно плотное тело.

Если $W < 1$,—то пористое; назовем:

$$m + \gamma + m\gamma = \beta \dots (2)$$

$$W = p(1 + N\beta) = p + p \cdot N \cdot \beta \dots (3)$$

для обычного портланд-цемента можно принять для уплотненной массы при удельном весе 3,1 и объемном весе 1,8

$$p = \frac{1,8}{3,1} = 0,58$$

Величину W можем найти при разных n и разных β из:

$$W = 0,58 + 0,58N\beta$$

График этой зависимости представлен на чертеже 2.

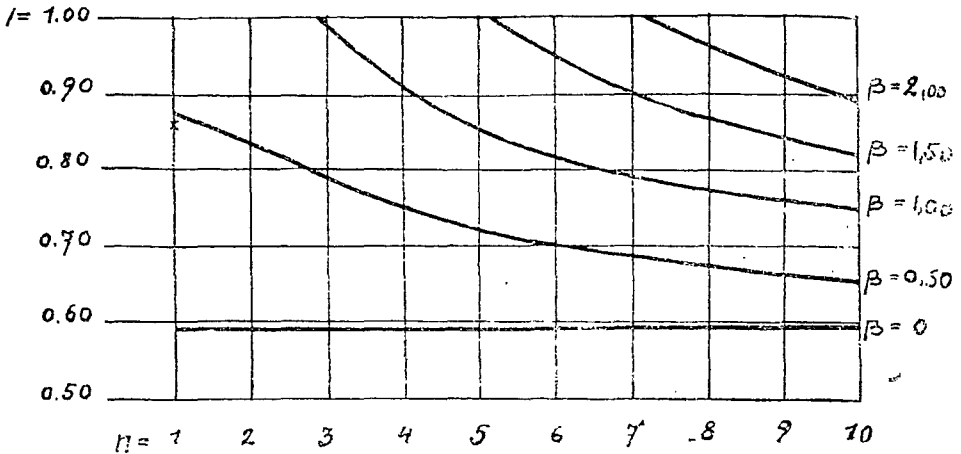
В цитированной выше статье проф. Otzen'a приведены его исследования над плотностью цементного камня в связи с количеством потребной для гидратации воды, при чем, полученные им цифры совпадают почти точно с результатом приведенного геометрического расчета. Проф. Otzen принимает, что весь цемент связывается с водой, т.е.

$$n = 1.$$

Путем определения удельного и объемного веса отвердевшего цементного камня нормальной консистенции он нашел объем пустот равный 16% или коэффициент плотности—0,84.

С другой стороны на основании, как своих личных опытов, так и данных других исследователей¹⁾ он нашел, что вес химически связанной с цементом воды составляет 11%, а объем—0,34 от объема плотной массы порошко-образного цемента. Объем полученного в результате гидратации твердого тела получает приращение в 0,13, т.-е. объем этот возрастает с 1,34 до 1,47. Относительное увеличение объема оказывается таким образом

ЧЕРТЕЖ № 2.



$$\gamma = \frac{0,13}{1,34} = 0,10.$$

Это увеличение объема происходит по его мнению за счет вытеснения излишней воды или воздуха из пор.

Подставляя приведенные цифровые данные в выведенные выше формулы (2) и (3) получим:

$$\beta = 0,34 + 0,10 + 0,34 \times 0,10 = 0,474$$

$n = 1; d = 1$

$$W = 0,58(1 + 0,474) = 0,855$$

или объем пустот 0,145, что очень близко к полученной Otzen'ом непосредственно цифре 0,160²⁾.

Конечно, то же самое решение может получиться и при других соотношениях n и β . Во всяком случае, изображенный нами выше график дает зависимость между n и β , т.-е. между толщиной активного слоя клинкера на поверхности каждого зерна (средняя величина зерна может быть всегда определена непосредственным просеиванием), с соотношением объемов взаимно связывающих количество клинкера и воды и приростом объема соединения.

¹⁾ Dr Goslich: «Wieviel Wasser ist im erhärteten portlandzement chemisch gebunden»—Zement 1923 S. 163.

²⁾ Для трех образцов: от 0,195 до 0,194.]

Мы не беремся выводить отсюда каких-либо заключений, касающихся теории твердения цемента, а лишь приходим к следующим положениям:

а) При заданной величине δ , m и γ , присущих данному цементу—объем образующихся пустот, заполненных водой, есть величина вполне определенная.

б) Наоборот,—факт постоянного присутствия определенного количества пустот в затвердевшем цементе, свидетельствует о неблагоприятном для получения плотной смеси соотношения между δ , m и δ в существующих цементах.

Отсюда вытекает и характер мер для увеличения плотности цементных растворов и непроницаемости бетонных стенок:

а) изыскания над получением цементов с более благоприятным соотношением между δ , m и γ . Повидимому именно трассовые и глиноземистые цементы должны быть отнесены к этой категории.

б) Считаясь с неизбежным образованием пустот в бетоне—примешивание к бетону такого рода посторонних добавок, которые способствовали бы затворенной воде устойчивее держаться в порах или сами служили бы той же цели заполняя поры и тем преграждали бы доступ жидкости извне.

Помимо этого мы располагаем еще тремя практическими методами, каковыми суть:

в) целесообразная дозировка бетона;

г) исполнение работ способами, при которых получается наименьший объем воздушных пустот в замесе;

д) покрытие бетонных поверхностей непроницаемым для воды или др. жидкости изолирующим слоем.

Следует считать совершенно бесспорным, что независимо от состава раствора и бетона последние две из указанных мер должны быть всегда использованы при постройке соответствующих сооружений.

Выше нами было указано на то обстоятельство, что более пластичный состав бетона лучше обеспечивает его плотность нежели жесткий. Литой и пластичный бетон вошли в обиход железобетонной техники по совершенно другим причинам и даже вопреки укоренившемуся мнению, что сильно трамбованный бетон менее проницаем для воды, нежели пластичный. Невозможность усиленного трамбования промежутков между стержнями железной арматуры в тесных пространствах форм железобетонных сооружений без опасности вмести и искоренить арматуру, есть основная причина перехода в железобетонных конструкциях к пластичному бетону. Американские методы сбережения дорогой рабочей силы привели к употреблению литого бетона в виду удобства его подачи. Из Нового Света этот способ перенят немцами, несмотря на ожесточенную борьбу консервативных

технических кругов потребителей бетона. Борьба против литого бетона основывалась главным образом на двух его кажущихся недостатках—меньшей прочности и меньшей плотности. В настоящее время можно считать доказанным, что, во первых, литой бетон лишь медленнее приобретает свойственную окончательно отвердевшему бетону прочность, при чем в возрасте от 6 мес. до 1 года разница между прочностью литого и трамбованного бетона уже мало ощутительна, и что во вторых, плотность литого бетона при достаточно тщательном и умелом его изготовлении не меньше, а даже больше, чем плотность трамбованного бетона, т. к. в нем отсутствуют или почти отсутствуют поры, заполненные воздухом.

При литом бетоне воздух удаляется во время приготовления бетона и не захватывается при бетонировании. Легкое же перемешивание жидкого теста достаточно для удаления случайно застрявших пузырьков воздуха.

Обследованием ряда германских мостов в последние годы ¹⁾ установлено, что стыки между отдельными слоями трамбованного бетона—наиболее проницаемая область, и что они всегда в большей или меньшей мере пропускают воду. В литом бетоне количество стыков, а тем самым и слабых мест, сокращается до минимума.

Мы считаем необходимым здесь еще раз подчеркнуть высказанные выше соображения, что старые способы, как изготовления бетона, так и самого бетонирования, крайне несовершенны и что работа над их усовершенствованием есть одна из насущнейших задач нашей техники, особенно техники непроницаемых устройств.

Предохранение самой поверхности бетона от непосредственного соприкосновения с жидкостью есть конечно средство достаточно радикальное, но лишь в соответствующих условиях и при выборе подходящего материала. Мы располагаем следующими главнейшими средствами.

Цементная штукатурка. Жирный цементный развор безусловно плотнее бетонной массы и потому противодействует проникновению жидкости в толщу бетона даже в случае соприкосновения с вредными для цемента веществами, мы имеем в Баку на Шолларском водоводе разительный пример, как вся толща бетона стенок водовода разрушена проникающими с наружи грунтовыми, содержащими сернокислые соли, водами в то время, как внутренняя штукатурка осталась невредимой. Наилучшие результаты получаются, как известно, при железнении поверхности штукатурки;

Цементная штукатурка, особенно из жирного раствора обладает одним крупным недостатком—она легко трескается. Хорошим средством против образования трещин следует считать закладку в штукатурку

¹⁾ См. статью O. Graf'a «Der Bauingenieur», за 1923 г. № 8.

металлической сетки.¹⁾ Следует также рекомендовать более частое расположение температурных швов.

Асфальтовые и кировые покрытия (последнее есть специфическое Бакинское средство), следует считать хорошими изолирующими слоями при условии принятия мер против образования трещин. Асфальт хорошо держится лишь тогда, когда он не подвержен непосредственно действию солнечных лучей и ветра, в противном случае он быстро ссыхается и трескается, но как изолирующий слой для резервуаров, для мостов, когда он покрыт слоем земляной засыпки, он держится хорошо. Кир—вещество более пластичное и гибкое, а потому в некоторых случаях его следует считать более выгодным для тех же целей. Хороши также некоторые смеси асфальта и кира, а также других битуминозных веществ. Что касается кира вообще, то это—материал еще очень мало изученный. На его исследование следовало бы обратить внимание.

Кесслеровские флюаты, растворимое стекло. Эти растворимые соли магнезии, цинка, алюминия, калия и натрия применяются для покрытия отштукатуренных поверхностей и дают хорошие результаты в водоемах, но неудовлетворительны для хранения нефти и ее производных, как показал американский опыт. Вообще оказалось на основании работ D. E. Pergew²⁾, что ни одно из предложенных для придания непроницаемости в отношении нефти средств не представляет никаких преимуществ перед обыкновенной жирной штукатуркой, с затиркой и железнением.

Облицовка из естественного камня, кирпича и стекла применяется чаще всего с успехом, первая и вторая для канализационных труб, третья—для едких и кислых жидкостей.

Наконец, в трубопроводах применяются еще деревянные и металлические внутренние оболочки. Некоторые сведения о них будут даны ниже, в части доклада, касающейся напорных трубопроводов.

О том, что выбор соответствующего вяжущего вещества и целесообразная дозировка цемента, являются наиболее рациональным и действительным способом придания бетону непроницаемости—спорить не приходится. Это доказано многочисленными опытами и об этом имеется богатая литература. Мы не будем здесь распространяться по вопросу составляющему тему других докладов. Подчеркнем только что наиболее подходящим вяжущим веществом оказались не только богатые кремнекислотой трассовые цементы, но и недавно изобретенные во Франции глиноземистые цементы.

Сделано и делается очень много попыток добиться полной непроницаемости цементных растворов и бетона путем прибавки в замес веществ по природе своей совершенно чуждых бетону, но долженствующи-

1) Как на удачный пример можно указать на тепловой канал на территории Изюмских главных мастерских Сев.-Дон. ж. д., уложенный в пропитаном водой песке.

2) К. Баум. Нефтехранилища.

щих закупорить поры бетона или непосредственно или путем удержания в них воды. Помимо разных патентованных средств о которых трудно сказать что либо определенное даже в случае более или менее удачного их применения в течение хотя бы нескольких лет, пробовали примешивать к бетону ряд самых обычных легко доступных рыночных материалов. Таковыми являются зеленое мыло, делающее бетон действительно непроницаемым, но понижающее наполовину его прочность и нефть и нефтяные остатки получившие особенное распространение в качестве добавок к бетону в Америке, как будто с хорошими результатами.

Все же добавку несвойственных бетону веществ, хотя и дающих пока сравнительно удовлетворительные результаты не следует считать тем правильным путем по которому должна идти техника непроницаемого бетона. Решение вопроса непроницаемости должно быть найдено в технологии самих вяжущих веществ. Прочность железобетонного сооружения нельзя рассматривать в целом.

Как известно, идеальным следует считать сооружение, спроектированное таким образом, чтобы все элементы его были одинаково прочными, т.-е. обладали бы одинаковым запасом прочности по отношению к наибольшим усилиям могущих в них возникнуть при невыгоднейшем сочетании возможных внешних сил—нагрузок, давлений, повышения температуры и проч.

В сооружениях, выстроенных из однородных материалов, это требование сводится к такому подбору сечений отдельных составных элементов, чтобы во всех частях при максимальных усилиях получились бы одинаковые напряжения, с учетом, конечно, коэффициента уменьшения в сжатых частях. Тогда можно будет считать, что запас прочности одинаков. В сооружениях из неоднородных материалов, как железобетон, положение усложняется потому, что в каждом отдельном сечении имеется несколько областей с совершенно различными коэффициентами прочности. По «правилам и нормам» 1921 года коэффициенты прочности установлены следующие: для железной арматуры—1,8, для бетона на сжатие—4—4,5, для бетона на растяжение в сооружениях, не допускающих образования трещин в бетоне—1,5, в прочих коэффициент прочности бетона в растянутой области сечения вовсе не устанавливается, т.-е. допускается разрушение бетонной массы.

Само собой разумеется, что сооружения, о которых идет речь в настоящем докладе, т.-е. сосуды и трубопроводы, содержащие жидкости, относятся к первой категории.

Задание коэффициентов прочности есть, конечно, дело Правительственных норм и Технических условий. «Правила и нормы» 1921 года внесли значительные изменения и дополнения в предшествовавшие русские нормы б. М.П.С. 1911 г., М.В.Д. 1914 года и Военно Инженерного Ведомства 1911 года, но они, к сожалению, не могут считаться достаточно полными для сооружений, преследующих специальные цели,

Правильное задание коэффициентов прочности должно состоять из трех частей: 1) нормы нагрузок, 2) правила расчета и 3) нормы допускаемых напряжений.

Тогда действительный коэффициент прочности, который назовем буквой m , можно себе представить в виде произведения трех множителей

$$m = \alpha \cdot \beta \cdot k \dots (4)$$

где α —характеризует точность внешних, принятых в расчет, норм нагрузок, β —точность методов расчета и k —запас прочности материалов, обусловливаемый принятыми в расчет допускаемыми напряжениями.

Из трех множителей первый должен быть возможно ближе к единице

$$\alpha \geq 1$$

В случае подвижной нагрузки, например для мостов, в α учитывается, конечно, возможный рост в течение определенного ряда лет тяжести обращающихся по дороге повозок (подвижного состава), а потому при постройке обычно

$$\alpha > 1$$

В гражданских сооружениях вес толпы, вес снега, давление ветра принимают наибольшие, какие могут фактически иметь место, согласно опытных данных в проектируемых сооружениях, и потому

$$\alpha = 1$$

В сооружениях специального характера, о которых идет речь в настоящем докладе, необходимо стремиться к тому, чтобы, в виду невозможности роста действующих сил с течением времени

$$\alpha = 1$$

потому, что всякое увеличение α сверх единицы вызовет непроизводительную трату материала, а наименьшее α ниже единицы—риск образования совершенно нежелательных трещин в растянутой части бетона, где коэффициент k не превышает 1,5.

«Правила и нормы» 1921 года, как относящиеся ко всем вообще железобетонным сооружениям, возводимым в пределах Союза, не могли, конечно, детализировать все виды нагрузок и проч. внешних сил, которые могут встретиться для разного рода сооружений. Это—дело соответственных заинтересованных ведомств и учреждений.

Силы и внешние влияния, действующие на сооружения, устраиваемые для целей водопроводных и канализационных—суть следующие:

- а) внутреннее давление жидкостей,
- б) внешнее давление жидкостей,
- в) давление ветра и нагрузка снегом,
- г) нагрузка подвижными грузами,
- д) давление земли,
- е) влияние температуры,
- ж) усадка бетона.

Для надземных сооружений при разумном и добросовестном подходе к расчету, совершенно достаточно статьи 1 «Правил и Норм»

1921 года, чтобы не сделать грубой ошибки ни в пользу прочности ни в ущерб ей.

При сооружениях подземных (каналы, резервуары), где преобладающим является давление земли и где влияние изменений температуры значительно ослаблено, указаний ст. 1 совершенно недостаточно, и при одинаково добросовестном, но все же суб'ективном подходе к расчету могут получиться колебания в величине коэффициента α в пределах двух или даже нескольких раз, и тогда вполне возможны такие курьезы, как недавно предложенный для Баку проект весьма серьезного железобетонного сооружения, в котором размеры получились больше размеров существующего уже десять лет, менее выгодного по очертанию чисто бетонного сооружения.

По Frühling¹⁾ нагрузка на квадратный метр свода подземных каналов, выполненных в траншеях, выражается в первое время по их засыпке следующим законом

$$p_1 = 2000 \left[\frac{5}{3} - \frac{(5-t)^3}{75} \right] \dots (5)$$

где t —глубина свода под поверхностью земли в метрах.

Начиная с глубины в 5 метров давление остается постоянным.

Для расчета подземных каналов Frühling рекомендует брать $\frac{2}{3} p_1$, плюс давление передающееся через слой земли от подвижной нагрузки, выражаемое формулой:

$$p_2 = 5000 \left(\frac{5-t}{5} \right)^2 \dots (6)$$

При глубине 5 метров влияние подвижной нагрузки равно нулю.

Вышеприведенные формулы основаны на довольно произвольных допущениях, что, во первых, грузы расположенные выше 5 метров над сооружением не производят на него никакого давления и что величина давления приходящегося на 1 кв. метр горизонтальной поверхности сооружения в пределах пяти метров обратно пропорциональна квадрату расстояния от этой поверхности. Вес грунта принят 2000 kgr/m³.

При разных глубинах получают следующие давления:

$t =$	0.5	1	2	3	4	5 метров
$\frac{2}{3} p_1 =$	600	1085	1742	2080	2205	2222 kgr/m ²
$p_2 =$	4050	3200	1800	800	200	5 „ „
Итого . . .	4650	4285	3542	2880	2405	2222 kgr/m ²

Сравним с подсчетом основанным на других предположениях. Пусть грунт будет настолько сыпучим и лишенным внутреннего сцепления, что p_1 пропорционально глубине заложения и равно давлению столба земли, об'емный вес которого равен 2000 kgr/m³.

Подвижную нагрузку примем в соответствии с приказом НКПС от 8-го ноября 1922 года за № 3925, предписывающим расчет мостов

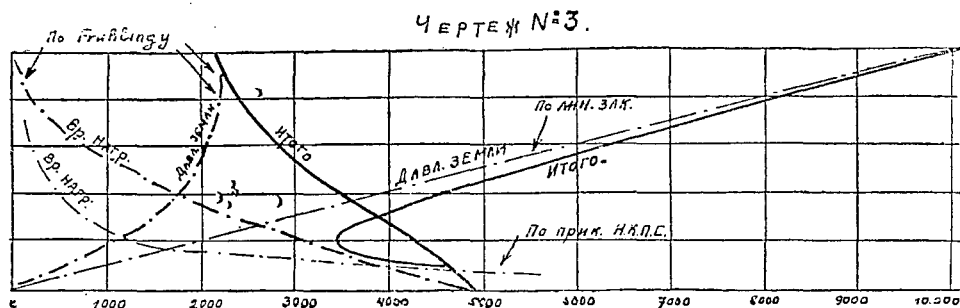
¹⁾ А. Frühling. Die Entwässerung der Städte; Leipzig. 1910.

производить нагрузкой десятитонными автомобилями или 15-ти тонным катком.

Предположим, что давление от колес распространяется под углом в 45°. Произведя подсчет для разных глубин и взявши наибольшие возможные значения с учетом динамического коэффициента согласно ст. 2 «Правил и Норм» 1921 года, получим

$t = 0.5$	1	2	3	3	5 метров
$\frac{2}{3}p_1 = 1000$	2000	4000	6000	8000	10000 kgf/m^2
$p_2 = 3600$	1300	463	236	132	89 > >
Итого . . .	4600	3300	4463	6236	8132 10089 kgf/m^2

Для сравнения представим те и другие результаты в виде графика (черт. 3).



До глубины в полтора метра расчет по второму способу, как будто выгоднее. Вместе с тем и положенные в основу расчета предположения в этих пределах следовало бы признать более правильными. При больших глубинах суждение о правильности того или другого подхода к расчету может дать лишь опыт¹⁾. Нам кажется что верный путь должен лежать где то по середине. Во всяком случае здесь следует отметить, что из изложенного видно, как коэффициент L может опуститься ниже единицы настолько, что и произведение LK для растянутой области бетона станет меньше единицы и появление трещин будет неизбежным.

Если определение давления грунта на единицу горизонтальной поверхности весьма проблематично и в большей мере зависит от субъективного возрения составителя проекта, то тем более это относится к боковому распору земли на стенки каналов, у которых преобладает высота над шириною (овоидальные, эллиптические и т. п.).

Пусть вертикальное давление p тем или иным путем установлено. Боковое давление q будет функцией p и угла естественного откоса грунта. Последний зависит не только от состава почвы, но и от сухости грунта и от условий производства работ по вырытию и засыпке траншеи.

¹⁾ Существуют еще и другие методы определения нагрузки на подземные сооружения, например О. Коттерс'я, предложенный им для туннелей.

Вертикальное давление земли вызывает в сечениях кольца моменты положительные в вершине и в нижней точке кольца и отрицательные в боковых сечениях кольца, (считая положительными моментами выпрямляющие кривизну кольца и отрицательными—моментами ее увеличивающие). Например в круговом кольце радиуса r постоянного сечения моменты, вызванные равномерно распределенной по горизонтальной проекции кольца нагрузкой, будут в ключе и в основании:

$$M_0 = + \frac{\rho r^2}{4}$$

в диагональном горизонтальном сечении:

$$M_1 = - \frac{\rho r^2}{4};$$

Горизонтальное давление распора земли вызовет моменты противоположных знаков.

Пусть для простоты расчета горизонтальное давление будет постоянно по высоте трубы и равно $q = \psi \rho$,
где $\psi < 1,00$

Тогда моменты в вершине и боках будут:

$$M_0 = - \psi \frac{\rho z^2}{4};$$

$$M_1 = + \psi \frac{\rho z^2}{4};$$

При совокупном действии обеих сил:

$$\Sigma M_0 = \frac{\rho z^2}{4} (1 - \psi)$$

$$\Sigma M_1 = \frac{\rho z^2}{4} (\psi - 1)$$

Ошибка в определении ψ на n процентов вызовет при этих условиях ошибку в расчетных моментах на:

$$100 \left(1 - \frac{1 - \psi \left(1 + \frac{n}{100} \right)}{1 - \psi} \right) = \frac{n}{1 - \psi} \text{ процентов}$$

Например, если введенный в расчет угол естественного откоса $\varphi = 26^\circ$, а допущенная при этом в n ошибка составляет 20%, то $\psi = 0,625$ и ошибка в расчетном моменте:

$$\frac{20}{1 - 0,625} = 53,5\%;$$

Еще более неблагоприятные результаты получатся при очертании поперечных сечений каналов, близких к кривой давления. Ошибка может в этом случае возрасти в несколько раз.

Изложенное приводит нас к заключению, что нередко практикуемый расчет по совокупному действию наибольшего вертикального давления и наибольшего горизонтального распора—неправильен и ненадежен. Следовало бы во избежание крупных ошибок рассчитывать двойко:

1) по наибольшему вертикальному давлению и некоторой доле горизонтального давления и затем, 2) по наибольшему горизонтальному и некоторой доле вертикального давления.

Между прочим небезинтересно указать, что Баку-Шелларский водовод расчитан именно по способу, который мы выше квалифицировали, как неправильный. Многочисленные повреждения водовода свидетельствуют о нашей правоте.

Разрушение овоидальных сечений каналов явление нередкое. Большинство этих разрушений безусловно вызвано неправильным расчетом, ввиду отсутствия руководящих норм расчета.

Остановимся далее на распределении нагрузок при расчете подземных резервуаров.

Слой земли, покрывающий резервуар, составляет обычно от 0,60 до 1,50 метров. Вес ее по сравнению с собственным весом перекрытия весьма велик. Принимая во внимание, что слой раз насыпанной земли никогда не снимается за исключением редких случаев ремонта изолирующего слоя, подобные перекрытия большей частью рассчитывают на сплошную равномерно распределенную нагрузку и при засыпке готового сооружения придерживаются строго определенного заранее установленного порядка.

При таких условиях, вытекающий из расчета коэффициент прочности отдельных элементов сооружения относится лишь к случаю нормальной нагрузки. В исключительных случаях, когда приходится раскрыть часть сооружения и вынутой землей загрузить соседний участок допускают известные перенапряжения материала сверх нормального, т. е. понижают коэффициент прочности. Для сжатых частей бетона и растянутой арматурой в этом не представляется опасности, так как для них коэффициент k всегда больше двух.

Но в растянутой области бетона с коэффициентом k не свыше $1\frac{1}{2}$ подобные перенапряжения могут вызвать появления трещин, которые в резервуарах наполненных водой совершенно не желательны.

Не менее существенным для подземных сооружений является вопрос о температурных напряжениях.

Как каналы, так и резервуары покрыты слоем земли защищены от непосредственного влияния колебаний температуры наружного воздуха. Содержащиеся в них вода и другие жидкости обладают большей частью постоянной температурой, изменяющейся в сравнительно небольших пределах. Следует ли рассчитывать на колебания температуры на $\pm 15^\circ$ как это предписывается «Нормами» 1921 года или нет?

Прусские нормы 1916 года предусматривают для подземных сооружений введение в расчет колебание температуры всего на $\pm 10^\circ$.

Наблюдения над построенными в 1919—23 годах фирмой Düsckeohoff и Widmann в Германии напорными трубопроводами диаметром в 1 до $1\frac{1}{2}$ метров в Seeburg (525 метров длины), Owen (1346 м.), Untrlenningen (125 м.)—показали, что температурные швы, расположенные в расстоянии 35 метров один от другого вовсе, не работают. Это дало возможность

фирме исполнить следующий трубопровод в Vöhreubach (1662,5 м.) совершенно без температурных швов, что не вызвало никаких повреждений в эксплуатации.

Думается, что для подземных сооружений «Нормы» 1921 года преувеличены. в таких сооружениях, как подземные резервуары больших размеров или каналы, температурные швы конечно нужны, но они предназначены более для избежания усадочных трещин нежели температурных перенапряжений, ибо при жирных составах, из которых обыкновенно возводятся подобные сооружения, усадка до начала эксплуатации может оказаться значительной.

Переходя далее к множителю β уравнения (4) заметим, что он может быть и менее и более единицы

$$\beta \geq 1;$$

идеальным будет случай когда $\beta = 1$.

«Правила и Нормы» 1921 года допускают расчет сооружений при $\beta < 1$, а именно без учета влияния температуры и усадки бетона, причем это влияние оценивается «Нормами» каждое в размере до $\frac{30}{100-30} 100 = 43\%$, а обоих вместе до 83% от усилий без учета температуры и усадки. Отсюда прямое следствие: т. к. коэффициент k не превышает 1,5, то он не предохраняет сооружения от образования трещин в растянутой области бетона.

Таким образом мы должны считаться с фактом, что расчетные усилия могут составлять лишь

$$\frac{1.00}{1.83} = 0.55 \text{ действительных}$$

т.е. при вполне точном в остальном расчете

$$\beta = 0.55$$

Точные методы расчета разрабатываются все более подробно. Наука о расчете инженерных сооружений делает быстрые успехи и благодаря усовершенствованию приемов становится все более доступной широким техническим кругам. Необходимость точных расчетов должна быть особенно подчеркнута. В последней части настоящего доклада рассмотрены два важных для наших сооружений случая расчета, в которых мы считаем необходимым внести большую определенность против принятых сейчас методов. Особенно хотелось бы подчеркнуть необходимость обязательной во многих случаях проверки упругой устойчивости сооружений¹⁾. К сожалению, этот вопрос в «Правилах и Нормах» 1921 года недостаточно подчеркнут, а ст. 16 требующая расчета стержне на предельный изгиб редактирован дале менее точно нежели в предшествовавших русских нормах.

Вернемся еще раз к последнему из множителей уравнения (4), коэффициенту прочности самого материала k . Величина этого коэффици-

¹⁾ См. также статью проф. Дубяго в № 6—7 «Строительной промышленности за 1924 год».

ента, принятая для бетона на сжатие и для железа, конечно, совершенно достаточна и целесообразна, но для бетона на растяжение в частях соприкасающихся с водой, а особенно в тех случаях, когда вода находится под напором ее следует считать недостаточной.

Действительно, согласно п.п. б. и з. ст. 17 допускается принимать в изгибаемых частях:

$\sigma_c^1 = 25$ до 30 клг/см², а при растяжении без изгиба:

$$\sigma_c^1 = 14 \text{ до } 18 \text{ клг/см}^2;$$

Исчисляя те же напряжения по п.п. б. и з. ст. 18, принимая среднее сопротивление бетона раздроблению равным 180 куб/см², получим для изгибаемых частей:

$$\sigma_c^1 = 36 \text{ клг/см}^2, \text{ а для растянутых сечений:}$$

$$\sigma_c^1 = 18 \text{ клг/см}^2$$

Определение σ_c^1 по временному сопротивлению бетона растяжению практического значения не имеет т. к. редко лаборатории, обслуживающие работы, располагают необходимыми приборами. Отсюда следует, что «Правилами и Нормами» 1921 года вполне узаконены допускаемые напряжения бетона на разрыв до 36 клг/см², при которых коэффициент прочности k безусловно опускается до единицы, если не ниже ее.

Для сосудов, содержащих жидкости, а особенно для напорных трубопроводов это должно быть категорически запрещено, как условие, сокращающее долговечность бетона.

Говорить о долговечности железо-бетона — задача неблагодарная. Легко привести примеры недолговечных сооружений, но ввиду молодости всей системы трудно привести примеры сооружений старинные 25—20 лет. Все же нам достоверно известно, что многие из построенных возведенных еще самим Менье, существуют до сих пор и, наконец, праотец всех железобетонных сооружений, лодка построенная Samboi в 1854 году сохранила доныне полную трудоспособность. Это, пожалуй одно из самых старых судов вообще. Ему в прошлом году исполнилось семьдесят лет.

Долговечность железобетона находится, конечно, в прямой зависимости от долговечности, входящих в его состав материалов и от их взаимной связи. В идеальном железобетонном сооружении, находящемся в нормальных условиях, эксплуатации в защищенном от действия атмосферных осадков и газов, железо находится в более благоприятных условиях нежели в металлических конструкциях. Оно надежно предохранено от ржавчины, мало подвержено колебаниям температур и мало испытывает сотрясений от динамических нагрузок.

Самый же бетон на воздухе не уступает по долговечности естественному камню.

Но лишь только железобетон подвергается действию газов или жидкостей, имеющих свойство химически соединяться с железом или со свободной известью в цементном растворе, появляется опасность

разрушения железа или раствора или обоих вместе. Опасность эта находится в прямой зависимости от возможности проникновения вредных химических факторов в толщу бетона.

Не подлежит сомнению, что гладкая ровная без всяких трещин поверхность жирной цементной штукатурки почти что абсолютно устойчива по отношению даже к водам, содержащим сернокислые соли. Но лишь только вредным газам или растворам предоставляется возможность проникнуть внутрь бетонной массы, начинается их разрушительное действие. Поэтому основным врагом долговечности железобетона следует считать пустоты, каверны, поры и трещины в бетоне. Таким образом существует прямая связь между долговечностью железобетона, с одной стороны, и прочностью и непроницаемостью его, с другой стороны. Прекрасной иллюстрацией приведенного положения служит весьма обстоятельное обследование германских мостов, произведенное германским железобетонным комитетом и рядом других организаций в период времени 1916—1922 г. В Пруссии было обследовано до 200 мостов. Большое количество в Вюртемберге. В Швейцарии—6 мостов.

Из обследованных сооружений большой процент оказался с повреждениями и трещинами, в которых железо было тронут ржавчиной, местами до того сильной, что произошло облупливание покрывающего арматуру слоя бетона. Ржавление происходило:

1) вследствие проникновения воды сверху через толщу бетона благодаря плохой изоляции; причина—недобросовестная работа или недостаточный надзор за сооружением; отмечено, что в этих случаях просачивание воды происходит, главным образом, по стыкам отдельных слоев трамбованного бетона;

2) вследствие обнажения арматуры; причина—смещение арматуры во время работы, неправильное ее расположение, недостатки форм или недостаточно плотный бетон;

3) вследствие проникновения воды и газов в трещины бетона; причины — образование трещин вследствие неправильного расчета, осадки опор, раннего раскружаливания или недостаточной жесткости кружал, ранней пробной нагрузки, неудачной конструкции, все это в соединении с чрезмерным приближением арматуры к наружным поверхностям.

В результате Имперское Министерство Путей Сообщения циркуляром от 31 октября 1922 года предписало железным дорогам ряд правил в дополнение к общим техническим условиям для железобетонных сооружений, представляющих большой интерес не только для мостовых сооружений, но и для всех других находящихся в неблагоприятных условиях в отношении окружающей среды. Эти правила тем более поучительны и для наших целей. Мы приводим ниже все 15 пунктов.

1. В местах, подверженных непосредственному действию дождя или дыма, наружные точки арматуры, в том числе хомутов и распре-

делительной арматуры, должны быть покрыты слоем не менее 4 см., в прочих местах—не менее 2,5 см.

2. Бетон должен быть совершенно плотным и по соседству с арматурой не должен держать частей размерами крупнее 2 см.

3. Не следует применять систем с очень широкой арматурой.

4. Надсводные конструкции должны быть запроектированы по всей ширине, включая шековые стены в виде независимых от свода конструкций.

5. Косые своды требуют большей тщательности как в проектировании так и в выполнении арматуры особенно в острых углах.

9. Трехшарнирные арки с затяжками не свойственны железобетонным конструкциям.

7. Целесообразной проектировкой сооружений следует устранять возможность образования трещин от осадки опор.

8. Штукатурки следует вообще избегать.

9. Особенное внимание следует обратит на безукоризненное выполнение изолирующего слоя проезжей части.

10. Необходимо заботиться о расположении арматуры согласно проекта и о сохранении ее положения во время бетонирования.

11. Следует применять сильные и жестко спертые формы.

12 Не следует слишком рано раскружаливать сооружений.

13. Пробной нагрузке следует сообразовать величину нагрузки с возрастом бетона. Ни в коем случае нельзя нагружать сооружения полной расчетной нагрузкой вскоре после раскружаливания.

14. Сооружения строить из железобетона лишь в тех случаях, когда они не будут подвергаться действию сильных морозов.

15. Следует путем поливки устранять возможности слишком быстрого высыхания железобетонных конструкций.

Многие из этих правил коренным образом изменили практиковавшиеся до сих пор приемы. Они тем более ценны, что все выведены из наблюдения над сооружениями исполненными в разные сроки с 1892 по 1914 год.

Все они могут почти целиком быть отнесены также к интересующим нас сооружениям, но, конечно, с учетом особенностей их службы.

Все вышеизложенное нам кажется достаточно убедительным для заключения о необходимости развития существующих «Технических условий» и «Правил и Норм» 1921 года в применении к сооружениям обслуживающим водопроводы и санитарно-технические нужды.

По некоторым пунктам вполне достаточно имеющегося опыта как наших, так и заграничных построек. По другим надо еще собрать материал и изучить его. Накопление материала должно итти организовано и планомерно. Взять на себя такую ответственную работу может только такая сильная организация, как Водопроводные и Санитарно-Технические С'езды в лице Постоянного Бюро через свои низовые органы в лице местных групп. Желательно, чтобы программа работ была выработана XIII С'ездом в виде специальной анкеты, которая должна быть

заполнена для каждого более или менее значительного железобетонного сооружения в отдельности.

Предлагаемая нами примерная программа составляет приложение к настоящему докладу (стр. 71).

Об экономичности сооружения приходится говорить лишь тогда, когда достаточно обеспечено выполнение первых трех из поставленных выше требований, а именно непроницаемость, прочность и долговечность. Но так как экономические расчеты остаются решающими в выборе материала для сооружения и системы, конструкции, особенно в крупных сооружениях, то им следует посвятить достаточно внимания.

На стоимость сооружения влияют главным образом два фактора—метод производства работ (преобладающее влияние стоимости рабочей силы) и система конструкции (преобладающее влияние стоимости материалов).

До революции кон'юнктура рынка труда не благоприятствовала в строительной технике развитию усовершенствованных методов производства—работ, направленных к сбережению—рабочей силы не только в России, но даже и в Германии и потому механизация бетонных и железобетонных работ применялась лишь на наиболее крупных работах, а в средних ограничивалась лишь производством самого бетона, но не его подачей.

В Америке же давно выработались совершенно своеобразные методы производства бетонных работ, сокращающие до минимума расход рабочей силы. К наиболее выдающимся из них следует отнести метод литого бетона.

В настоящее время литой бетон начинает быстро завоевывать симпатии даже в осторожной Германии.

Наша современная кон'юнктура безусловно содействует сбережению труда путем той или другой формы механизации работ, но с другой стороны, недостаток оборотных средств тормозит развитие оборудования строительных организаций.

В настоящее время еще трудно сказать какие формы приобретет начавшаяся помимо всех трудностей механизация некоторых работ. Во имя удешевления строительства следует приветствовать всякую в этой области инициативу, в особенности попытки применения литого бетона (не как цель, а как средство). Но в этом направлении уверенности в успехе у нас далеко еще нет.

Зато многое можно уже сейчас сделать вполне реально, по другому пути—рационализации конструкций.

С одной стороны этому может способствовать развитие и детализация «Правил и Норм» о которых говорилось выше, с другой—усовершенствование методов расчета. К рассмотрению некоторых из них сейчас перейдем.

К разряду наиболее крупных сооружений, возводимых из железобетона, относятся запасные резервуары большой емкости, фильтры, крытые отстойные бассейны, а также трубопроводы большого диаметра

и протяжения, каковыми являются ливнепуски, водоводы для чистой воды и наконец напорные трубопроводы, делаемые в последнее время все чаще из железобетона и доходящие до чудовищных размеров. Емкость железобетонных, напорных и запасных резервуаров в несколько миллионов ведер представляют в настоящее время обычное явление. Приведем несколько примеров:

Г О Р О Д.	Емкость ведер.	Год постройки.	Количество бетона.		Система покрытия.	Толщина засыпки.
			Всего м ³ .	На 1 м ³ ем- кости м ³ .		
1. Магдебург.	830.000	1914	2600	0,260	Плоское по перего- родку.	1,00
2. Баку (проект)	1.108.000	в постройке.	3061	0,230	Цилиндр. кольцевые своды.	1,00
3. South Stafford- shire.	1.600.000	перестроен в 1923	1900	0,095	Плоское по колон.	—
			(без стен).			
4. Пюриберг.	4.200.000	1918	13800	0,276	Цилиндр. своды по колоннам.	1,20
5. Баку (проект)	4.700.000	в постройке.	7000	0,125	Крест. св. по колон.	1,00
6. Кливленд (Сев.- Амер. С. Ш.).	40.000.000	1921	89600	0,138	Крест. св. на колон.	0,60

Колебание цифр расхода бетона на единицу полезной емкости резервуара зависят не только от общей схемы внутреннего расположения резервуара и от еб'ективных условий входящих в состав задания для проектирующего и строителя, но и от более или менее удачного выбора системы. Между тем каждый лишний литр бетона приходящийся на единицу емкости резервуара, будучи помножен на общую емкость даст в итоге весьма ощутительные разницы в расходе бетона, а потому и в стоимости сооружения. Например, при емкости резервуара в 5.000.000 ведер или около 60.000 м³ разница в 0,01 м³ бетона на кубический метр емкости резервуара и при стоимости одного кубического метра железобетона в 80 руб. составляет 48.000 рублей. Этот простой пример нам кажется достаточно убедительным для того чтобы обратить сугубое внимание на выработку рациональных форм перекрытий, чего конечно нельзя сделать без выработки точных методов расчета. На эту сторону вопроса нам хотелось бы обратить особое внимание с'езда.

Основные конструктивные элементы большого закрытого водоема суть следующие:

- а) дно и фундаменты опорных частей перекрытия,
- б) наружные стены,
- в) внутренние стены,
- г) опоры поддерживающие перекрытие,
- д) перекрытие,
- е) впускные и выпускные устройства.

Вопрос устройства дна и фундаментов и выбора для них материалов (бетон или железобетон) менее всего поддается теоретическому исследованию в общей форме. Здесь основная задача—правильное сочетание общего характера сооружения с чисто местными условиями грунта, а потому правильное решение задачи может быть намечено лишь в каждом отдельном случае.

Впускные и выпускные устройства могут быть запроектированы самым различным способом и находятся в зависимости как от общей схемы протекания воды через водоем, так и от желания придать ту или иную архитектурную обработку всему сооружению.

Наружные стены, входящие в состав поверхности ограничивающей водоем и представляющие переход от верхнего перекрытия к дну и фундаментом, определяются в зависимости от конструкции того и другого. Они почти всегда должны воспринимать кроме веса перекрытия еще и боковое давление грунта, а потому носят преимущественно характер подпорных стенок.

Так как распор сводчатого перекрытия направлен в сторону противоположную распору земли, то при сводчатой системе покрытия получается более экономные формы боковых стен, нежели при плоском.

Наружные стены часто даже при железобетонных резервуарах делают чисто бетонными ввиду того, что собственный вес их играет существенную роль в сопротивлении внешним силам.

При благоприятных местных условиях следует рекомендовать, все же железобетонные системы в виду возможности использования веса земли или забутки из самого даже слабого камня, если таковой имеется на месте работ, для придания стене достаточной устойчивости, подобно тому, как это практикуется в таких типичных сооружениях, как портовые набережные.

Система верхнего перекрытия и ее промежуточные опоры в виде ли отдельных колон или сплошных стен является решающей в вопросе об экономическом проектировании подобного рода водоемов.

Характерной чертой перекрытия запасных резервуаров и прочих водохранилищ большой емкости является тяжелая нагрузка засыпкой земли, на которую они должны быть рассчитаны. Слой земли колеблется в зависимости от климатических условий от 0,60 до 1,20 метров, При средней толще его в 0,90 м. вес засыпки составляет не менее 1400—1600 kg/m^2 , что представляет весьма солидную нагрузку.

Другой характерной особенностью этой нагрузки—ее сравнитель-

ная неподвижность, постоянство, которое может даже быть регламентировано определенной инструкцией о порядке нагрузки готового резервуара и о порядке обнажения перекрытия на случай ремонта.

Вместе с тем постоянство нагрузки, положенное в основу расчета, может повлечь за собой большие ошибки при проектировании перекрытия, о которых будет речь впереди.

Весьма существенным является вопрос выбора характера опор передающих вес перекрытия на фундамент. Цели, преследуемые общим расположением конструктивных частей подобного рода водоемов, позволяют обычно располагать внутренние опоры довольно близко одна от другой. Наибольшие пролеты редко превосходят 7,00 метров.

Если по заданию не требуется устройства системы внутренних стен и перегородок, направляющих течение воды, то в этом случае опорами служат конечно колонны. Но если внутренность резервуара проектируется в виде ряда сообщающихся между собой лишь в конечных пунктах галлерей по которым вода должна совершать извилистый путь, то в этом случае могут быть два решения:

1) использовать стены в качестве непрерывных опор перекрытия.

2) опереть перекрытие на отдельные колонны, konstrуируя стены лишь в виде тонких перегородок не несущих никаких нагрузок. В этом случае перегородки могут быть и не из железобетона, а из кирпича, камня и т. п. материала, причем представляется возможность выбрать наиболее дешевый из имеющихся под рукой материалов.

При всей кажущейся простоте и выгоде первого решения, оно имеет свои крупные недостатки.

Стенку, несущую тяжелую нагрузку перекрытия, редко удается делать тоньше 15 см., особенно при высоте в 5—6 мет.

Возьмем для примера случай 6-ти метрового пролета и засыпки толщиной в 1,00 метр. при высоте 5 метров. Нагрузка на пог. метр. стены составит, считая перекрытие толщиной в 0,15 м.

$$(0,15 \times 2400 + 1,00 \times 1600) 6,00 = 11700 \text{ кг.}$$

При основном допускаемом напряжении на сжатие бетона 35 кг./см.², необходимая толщина стенки будет при содержании арматуры в 1%—12 см.

Действительно, по формуле Ренкина, принимая при плоском перекрытии один конец стержня закрепленным, а другой соединенным шарнирно, имеем при расчетной длине $l = 0,7h$ коэффициент уменьшения $S = 0,512$; тогда:

$$b = \frac{11700}{35 \times 0,512} = 7 \text{ см.}$$

При сводчатом перекрытии нужно принимать $l = h$ и тогда $S = 0,262$, и

$$b = \frac{11700}{35 \times 0,262} = 35 \text{ см.}$$

Имея в виду, что нерационально внутри резервуара располагать арматуру ближе 3 см. от наружной грани, получаем расстояние между

обонми арматурами при толщине стенки в 12 см. равным 6 см., что следует признать недостаточным. Таким образом, толщину стенок и пришлось бы сделать не меньше 15 см.

Если непрерывную стенку мы заменим колоннами в расстоянии 6,00 метров друг от друга, то вполне достаточным размером их будет 45×45 см., ибо

$$\sigma_6 = \frac{11700 \times 6,00}{45 \times 45} = 35 \text{ кг./см.}^2$$

Если распределить площадь колонны по длине стенки, то получится толщина в 3.4 сантиметра, т.е. лишь 17% от площади соответствующей стены. За счет части полученных 83% экономии можно всегда сделать легкую перегородку из любого материала и выгадать еще на жесткость системы и устойчивости перекрытия.

Действительно момент инерции сечения стены на протяжении равном расстоянию между колоннами l , при толщине стены b будет:

$$I_{\text{ст.}} = \frac{lb^3}{12},$$

а момент инерции сечения одной колонны,

$$I_{\text{кол.}} = \frac{h^4}{12},$$

где h —сторона колонны.

Отношение моментов инерции обоих сечений:

$$\frac{I_{\text{кол.}}}{I_{\text{ст.}}} = \frac{h^4}{lb^3};$$

в нашем примере будем иметь:

$$\frac{I_{\text{кол.}}}{I_{\text{ст.}}} = \frac{45^4}{600 \times 15^3} = 2,00$$

т.е. система колонн, размерами 45×45 см., расположенных в расстоянии 6 метров друг от друга, вдвое жестче сплошной стенки, толщиной 15 см.

Само собой разумеется, что при вполне жестких опорах сводчатое перекрытие выгоднее плоского.

При правильном подборе очертания свода по кривой давления для полной нагрузки, в своде появляются изгибающие моменты лишь при несимметричной нагрузке и от колебаний температуры. Несимметричная нагрузка перекрытий резервуаров бывает лишь в редких случаях, во время первоначальной засыпки и во время ремонта. В этих случаях можно соответствующими мерами предосторожности ослабить ее вредное влияние. Во всяком, случае преобладающим будет влияние нормальной силы от распора, равного приблизительно:

$$H = \frac{pl^2}{8f}.$$

Возвращаясь к взятому нами выше численному примеру, полагая

$$f = 1/5, \quad l = 1,2,$$

получим:

$$H = \frac{1960 \times 6,00^2}{8 \times 1,2} = 6100 \text{ kgr.}$$

Толщина сечения в ключе определяется:

$$h = \frac{6100}{35 \times 100} = \approx 2,0 \text{ см.},$$

чего, конечно, нельзя сделать, но толщина в 8 см. вполне допустима.

Укладывая двойную арматуру, мы получаем сечение хорошо сопротивляющееся и некоторым изгибающим моментам от односторонней нагрузки и температуры. У пят будут утолщения в среднем до 12 см. Принимая во внимание длину дуги для данного случая

$$S = 1,103l$$

и считая среднюю толщину свода 10 см., получим об'ем перекрытия на 1 кв. метр.

$$0,10 \times 1,103 = 0,11 \text{ м.}^3$$

или среднюю толщину всего перекрытия равной 11 сантиметрам.

К этому следует добавить, что процентное содержание железа при сводчатом перекрытии получается минимальное—не свыше 0,8—1,0%.

Плоское ребристое перекрытие получается значительно больших размеров.

Если даже принять во внимание преимущественно сплошную нагрузку и полагать расчетный момент равным:

$$M = \frac{pl^2}{12},$$

то и тогда получаем при предельных допускаемых напряжениях (40 и 1000) высоту ребер (для нашего численного примера) не меньше 35 см. при ширине их около 25 см.

При толщине плиты в 13 см., расстояние между отдельными ребрами определяется в 2,00 м.

Средняя толщина всего перекрытия будет, таким образом—

$$13 + \frac{22 \times 25}{200} = 16 \text{ см.}$$

т.-е. на 45% больше нежели сводчатого, при значительно большем содержании железа (не менее 2%).

При всей своей очевидной экономичности сводчатое перекрытие имеет недостаток меньшей жесткости и устойчивости, что при резких смелой проектировке может повлечь за собой катастрофу подобную той, которая имела место с тремя Мадридскими резервуарами в 1905 году.

Вопрос устойчивости сводчатых многопролетных перекрытий, насколько нам известно, до сих пор не разрабатывался. Между тем для правильного расчета перекрытий резервуаров он имеет решающее значение.

Разберем простейший случай двух параболических арок, опирающихся снаружи на незыблемые устои, а по середине имеющих одну

общую опору в виде колонны с заделанным неподвижно основанием. Нагрузку будем считать равномерно распределенной по горизонтальной проекции сводов. В пятах арок предлагаем шарнирные соединения (черт. 4).

Пусть равномерно распределенная нагрузка будет—

- пролет— l ,
- высота стойки— h ,
- стрелка под'ема сводов— f .

Для данного случая можем представить себе две формы равновесия:

а) в случае, когда стойка остается прямой,

б) в случае, когда стойка изгибается в сторону одного пролета так, что шарнир отходит от исходного положения на некоторую величину, ур-ние изогнутой оси стойки будет

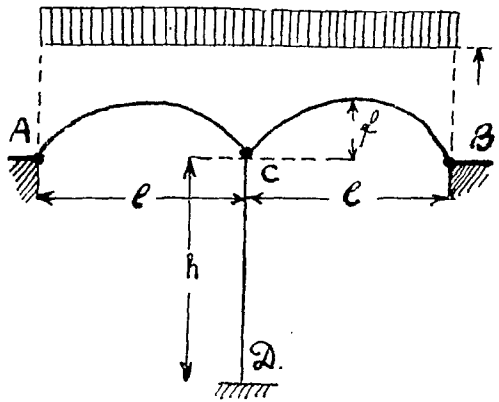
$$EI_h \frac{d^2 y}{dx^2} = M \dots \dots \dots (1)$$

где

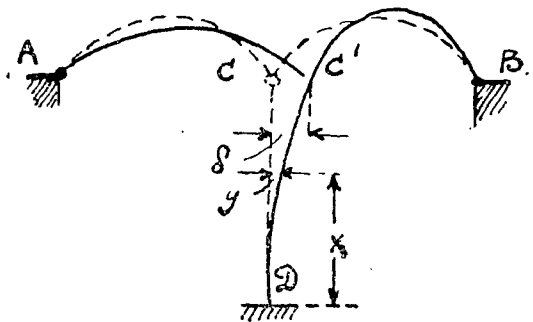
$$M = pl(\delta - y) + \Delta H(l - x) \dots (2)$$

Под ΔH мы подразумеваем разность распоров в правом и левом пролете.

Для параболического очертания



ЧЕРТЕЖ № 4



$$H = \frac{pl^2}{8f}$$

разность распоров в соседних пролетах при перемещении точки C возникает по двум причинам:

1. От изменения очертания сводов. Назовем проистекающую отсюда разность распоров через

$$\Delta_1 H.$$

2. От упругого противодействия самих арок, каковую разность назовем через $\Delta_2 H$.

Эти две разности противоположных знаков.

Пусть увеличение стрелы под'ема свода при уменьшении пролета на δ будет δ_f .

Положим, что после деформации очертание свода остается параболическим. Тогда:

$$\Delta_1 H = \frac{p(l + \delta)^2}{8(f - \delta_f)} - \frac{p(l - \delta)^2}{8(f + \delta_f)}$$

Усилие $\Delta_2 H$ необходимое для преодоления упругого противодействия двух арок перемещению средней опоры на δ , определится из формулы:

$$\delta = \frac{\Delta_2 H}{2} \int_0^s \frac{z^2 ds}{EI_s}$$

где I_s — момент инерции сечения арки, а Z есть переменная ордината оси свода относительно координатной оси проходящей через шарниры, а интеграл взят по всей длине свода.

Если сечение свода постоянное то, принимая во внимание симметрию свода

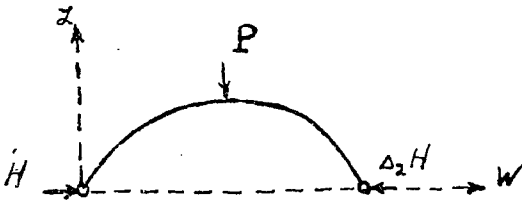
$$\Delta_2 H = \frac{2\delta EI_s}{s} = \frac{\delta EI_s}{s^2} \int_0^s z^2 ds \quad (3)$$

$$\Delta H = \frac{p}{8} \left[\frac{l^2 + 2l\delta + \delta^2}{f - \delta_f} - \frac{l^2 - 2l\delta + \delta^2}{f + \delta_f} \right] - \frac{\delta EI_s}{s^2} \int_0^s z^2 ds$$

приведа выражение в скобках к одному знаменателю и отбрасывая члены содержащие высшие степени весьма малых величин, имеем:

$$\Delta H = \frac{p}{4} \left(\frac{2l\delta + l^2 \delta_f}{f^2 - \delta_f^2} \right) - \frac{\delta EI_s}{s^2} \int_0^s z^2 ds \quad (4)$$

Чтобы найти приращение стрелы свода δ_f соответствующее сокращению пролета на δ , приложим вертикальную силу P к вершине свода и распор $\frac{\Delta_2 H}{2}$ в пятах.



Чертеж № 5.

Выражение потенциальной энергии будет

$$V = 2 \int_0^{s/2} \frac{\left(\frac{1}{2} \Delta_2 H + \frac{1}{2} P w \right)^2}{2EI_s} ds$$

расположение осей координат указано на чертеже 5

$$\frac{\delta V}{\delta P} = \frac{1}{EI_s} \left[\frac{1}{2} \Delta_2 H \int_0^{s/2} z w ds + \frac{1}{2} P \int_0^{s/2} w^2 ds \right]$$

Приравняв P нулю, получим

$$\delta f = \frac{\Delta_2 H}{EI_s} \frac{1}{2} \int_0^{s/2} z w ds. \dots \dots \dots (5)$$

Из (3) и (5) имеем:

$$\delta_r = \delta \frac{\int_0^{s/2} z w ds}{\int_0^{s/2} z^2 ds}$$

назовем:

$$\int_0^{s/2} z w ds = W$$

$$\int_0^{s/2} z^2 ds = Z.$$

Тогда ур-ние (4) напишется так:

$$\Delta H = \frac{pl}{2f} \delta \left(1 + \frac{l}{f} \frac{W}{Z} \right) - \delta \frac{EI_s}{Z} \dots \dots \dots (41)$$

Если бы точка C имела свободу перемещения по горизонтальной плоскости, то критическую нагрузку мы нашли бы приравняв ΔH нулю:

$$0 = \frac{pl}{2f} \delta \left(1 + \frac{l}{f} \frac{W}{Z} \right) - \delta \frac{EI_s}{Z}$$

$$p_a = \frac{EI_s 2f}{Zl \left(1 + \frac{l}{f} \frac{W}{Z} \right)} \dots \dots \dots (6)$$

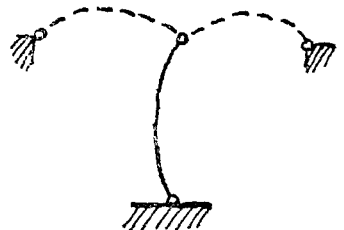
Это соответствует случаю шарнирного закрепления опорной стойки у основания, при очень длинной и очень жесткой стойке.

Критическая нагрузка для одной лишь стойки без влияния арок может быть:

$$p_1 = \frac{\pi^2 EI_h}{h^2 l};$$

в случае шарниров в обоих концах (чертеж б);

$$p_2 = \frac{\pi^2 EI_h}{4h^2 l};$$

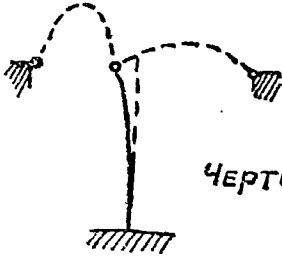


ЧЕРТЕЖ N 6

в случае заделки (черт. 7) нижнего и свободного верхнего конца, и наконец

$$p_3 = \frac{\pi^2 EI_h}{0,49h^2 l};$$

в случае закрепленного нижнего конца и шарнирного верхнего, неразрывно связанного с вертикалью (чертеж 8). Комбинация двух арок и стойки с заделанным опорным сечением может дать целый ряд форм равновесия:



ЧЕРТЕЖ N=7.

I. Если $p_a > p_3$, то критическая нагрузка для системы будет $p = p^3$ и наиболее вероятная форма равновесия (кроме нормального состояния), изображенная на чертеже.

II. Если $p_3 > p_a > p_2$, то арки будут увеличивать величину критической нагрузки для стойки, а потому критическая нагрузка для всей системы

будет между p_2 и p_a .

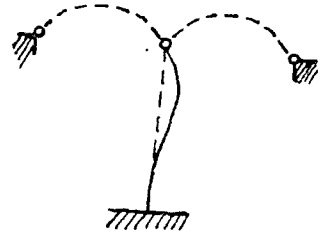
$$p_a > p > p_2.$$

III. Если $p_2 > p_a$, то арки будут способствовать уменьшению критической нагрузки для стойки, а для всей системы будет

$$p_2 > p > p_a.$$

Для случая II и III наиболее вероятная форма равновесия будет изображенная на чертеже 7.

Случай I не представляет по своей простоте никакого интереса, но замечательно то, что при расчете подобных перекрытий обычно рассчитывают на продольный изгиб лишь стойку, как бы заранее предreshая, что имеет место случай I.



ЧЕРТЕЖ N=8

Гораздо важнее и интереснее случаи II и III.

Дифференциальное уравнение (I) принимает вид.

$$EI_h \frac{d^2 y}{dx^2} = pl(\delta - y) + (h - x) \left[\frac{pl}{2f} \delta \left(1 + \frac{lW}{fZ} \right) - \delta \frac{EI_s}{Z} \right] \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{pl}{EI_h} y + x \frac{1}{EI_h} \left[\frac{pl}{2f} \delta \left(1 + \frac{lW}{fZ} \right) - \delta \frac{EI_s}{Z} \right] = \left\{ pl\delta + h \left[\frac{pl}{2f} \delta \left(1 + \frac{lW}{fZ} \right) - \delta \frac{EI_s}{Z} \right] \right\} \frac{1}{EI_h} \cdot (7)$$

уравнение вида:

$$y'' + ay + bx = c;$$

общий интеграл которого будет:

$$y = C_1 \cos ax + C_2 \sin ax + C_3 x + C_4 \dots \dots \dots (8)$$

$$\text{где } a = \sqrt{\frac{pl}{EI_h}}$$

напишем:

$$y' = -a C_1 \sin ax + a C_2 \cos ax + C_3$$

$$y'' = -a^2 C_1 \cos ax - a^2 C_2 \sin ax.$$

Неизвестные коэффициенты определим из условий на концах стержня DC :

при $x=0$ будем иметь $y=0$; $y'=0$; $y''=C$

при $x=h$ будем иметь $y=\delta$

отсюда получим:

$$\begin{aligned} C_1 + C_4 &= 0; \\ \alpha C_2 + C_3 &= 0; \\ C &= -\alpha^2 C_1; \\ \delta &= C_1 \cos ah + C_2 \sin ah + C_3 h + C_4; \end{aligned}$$

решая эти четыре ур-ния, находим:

$$C_1 = -\frac{C}{\alpha^2};$$

$$C_4 = +\frac{C}{\alpha^2};$$

$$C_2 = \frac{\delta - \frac{C}{\alpha^2}(1 - \cos ah)}{\sin ah - ah}$$

$$C_3 = -\alpha \frac{\delta - \frac{C}{\alpha^2}(1 - \cos ah)}{\sin ah - ah};$$

Вставляя полученные коэффициенты в ур-ние (8) получим:

$$y = -\frac{C}{\alpha^2} \cos \alpha x + \frac{\delta - \frac{C}{\alpha^2}(1 - \cos ah)}{\sin ah - ah} \sin ah - \alpha \frac{\delta - \frac{C}{\alpha^2}(1 - \cos ah)}{\sin ah - ah} x + \frac{C}{\alpha^2} \quad (9)$$

Изменение потенциальной энергии всей системы, происходящее при отклонении точки C от первоначального положения (черт. 4) в положение C^1 , т.-е. при горизонтальном перемещении точки C на величину δ , будет (пренебрегая работой сжимающих сил):

$$V_{\delta} = \int_0^h \frac{M^2}{2EI_h} dx - pl\delta_h - 4 \int_0^{s/2} \frac{M^2}{2EI_s} ds \dots \dots (10)$$

Под потенциальной энергией всей системы мы понимаем как энергию изгиба, так и возможную работу внешних сил.

В формуле (10) δ_h — есть вертикальное перемещение точки C соответствующее горизонтальному перемещению δ :

$$\delta_h = \frac{1}{2} \int_0^h (y')^2 dx;$$

$$V_{\delta} = \int_0^h \frac{EI_h}{2} (y'')^2 dx - \frac{pl}{2} \int_0^h (y')^2 dx - 4 \int_0^{s/2} \frac{M^2}{2EI} ds \dots \dots (11)$$

Третий член правой части равен, принимая во внимание, что:

$$M = \Delta HZ$$

$$4 \int_0^{s/2} \frac{(\Delta H)^2 z^2}{2EI_s} ds = 2 \frac{(\Delta H)^2}{EI_s} \int_0^{s/2} z^2 ds = 2 \frac{(\Delta H)^2 z}{EI_s}$$

Первые два члена найдем простым интегрированием, вставив в под'интегральные функции первую и вторую производные правой части ур-ния (9), но т. к. точное решение не является задачей настоящего доклада, то для упрощения расчета ограничимся приближенным решением, введя в расчет вместо действительной формы изогнутой оси стойки, синусоиду, ур-ние которой будет:

$$y = \delta \left(1 - \cos \frac{\pi x}{2h} \right) = \delta - \delta \cos \frac{\pi x}{2h} \dots \dots \dots (12)$$

$$y' = \delta \frac{\pi}{2h} \sin \frac{\pi x}{2h};$$

$$y'' = \delta \frac{\pi^2}{4h^2} \cos \frac{\pi x}{2h};$$

$$\int_0^h \frac{EI_h}{2} (y'')^2 dx = \frac{EI_h}{2} \delta^2 \frac{\pi^4}{16h^4} \int_0^h \cos^2 \frac{\pi x}{2h} dx = EI_h \delta^2 \frac{\pi^4}{64h^3} \frac{pl}{2} \int_0^h (y')^2 dx = \frac{pl}{2} \delta^2$$

$$\frac{\pi^2}{4h^2} \int_0^h \sin^2 \frac{\pi x}{2h} dx = \frac{pl}{16} \delta^2 \frac{\pi^2}{h};$$

Чтобы получить критическую нагрузку нужно V_0 приравнять нулю и полученное ур-ие решить относительно p . Оно примет вид:

$$EI_h \delta^2 \frac{\pi^4}{64h^3} - \frac{pl}{16} \delta^2 \frac{\pi^2}{h} - 2 \frac{(\Delta H)^2 Z}{EI_s} = 0. \dots \dots \dots (13)$$

Подставляя вместо ΔH его значение из (4'), имеем:

$$EI_h \delta^2 \frac{\pi^4}{64h^3} - \frac{pl}{16} \delta^2 \frac{\pi^2}{h} - 2 \left[\frac{pl}{2f} \delta \left(1 + \frac{l W}{f Z} \right) - \delta \frac{EI_s}{Z} \right] \frac{2Z}{EI_s} = 0;$$

сокращая на δ^2 получим:

$$EI_h \frac{\pi^4}{64h^3} - pl \frac{\pi^2}{16h} - p^2 l^2 \frac{\left(1 + \frac{l W}{f Z} \right)^2 Z}{2f^2 EI_s} = \frac{pl}{f} 2 \left(1 + \frac{l W}{f Z} \right) - 2 \delta^2 \frac{EI_s}{Z} = 0$$

$$p^2 l^2 \left(1 + \frac{l W}{f Z} \right)^2 \frac{Z}{2f^2 EI_s} - pl \left[\frac{2 \left(1 + \frac{l W}{f Z} \right)}{f} - \frac{\pi^2}{16h} \right] + 2 \frac{EI_s}{Z} - \frac{EI_h}{64h^3} \pi^4 = 0.$$

Это ур-ие можно представить в таком виде:

$$\frac{p^2}{p_a^2} p_a^2 l^2 \left(1 + \frac{l W}{f Z} \right)^2 \frac{Z}{2f^2 EI_s} - \frac{p}{p_a} p_a l \left[\frac{2 \left(1 + \frac{l W}{f Z} \right)}{f} - \frac{\pi^2}{16h} \right] + 2 \frac{EI_s}{Z} - \frac{EI_h}{64h^3} \pi^4 = 0$$

$$\left(\frac{p}{p_a} \right)^2 \frac{2EI_s}{Z} - 2 \frac{p}{p_a} \left(1 - \frac{\pi^2 f}{32h} \frac{1}{1 + \frac{l W}{f Z}} \right) \frac{2EI_s}{Z} + \frac{2EI_s}{Z} \left(1 - \frac{\pi^4}{128h^3} \frac{Z I_h}{I_s} \right) = 0.$$

назовем:

$$\frac{\pi^2 f}{32 h} \frac{1}{1 + \frac{l}{f} \frac{W}{Z}} = \lambda \dots \dots \dots (14)$$

$$\frac{\pi^4}{128} \frac{Z I_h}{h^3 I_s} = \mu \dots \dots \dots (15)$$

окончательно;

$$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 - 2 \frac{p}{p_a} (1 - \lambda) + 1 - \mu = 0;$$

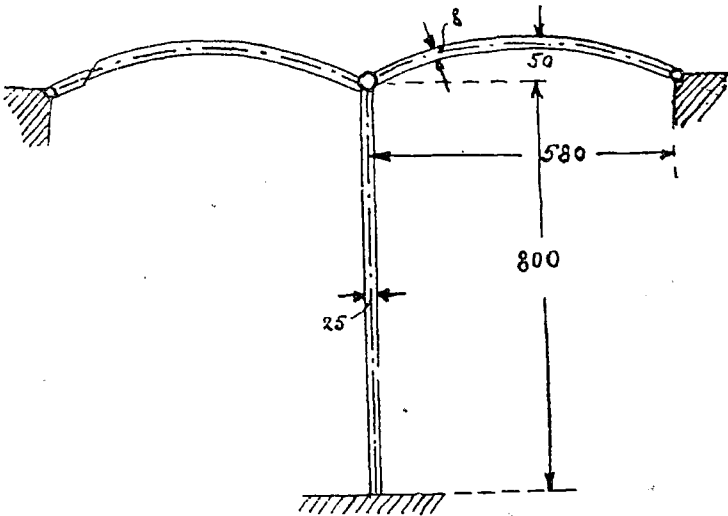
$$\frac{p}{p_a} = 1 - \lambda \pm \sqrt{(1 - \lambda)^2 - (1 - \mu)};$$

$$p = p_a (1 - \lambda \pm \sqrt{\lambda^2 + \mu - 2\lambda}) \dots \dots \dots (16)$$

Из ур-ния (16) находим p предварительно определив p_a из (6), λ из (14) и μ из (15).

Перед радикалом должен быть взят знак плюс или минус по смыслу самого решения. Если $p_3 < p_a$, то и $p < p_a$ и должен быть взят знак — и обратно, если $p_3 > p_a$, то знак +.

Проверим полученные формулы на примере (черт. 9).



Чертеж № 9.

Два свода опираются на ряд промежуточных колонн, расположенных на взаимном расстоянии 2 метра. Сечение колонны 25 × 25 см.

$$I_h = \frac{25^4}{12} = 32500 \text{ см.}^4.$$

Средняя толщина сводов 8 см.

$$I_s = \frac{200 \times 8^3}{12} = 8500 \text{ см.}^4.$$

$$E = 210000 \text{ кгг./см.}^2.$$

$$h=800 \text{ см.}; l=580 \text{ см.}; f=50 \text{ см.}$$

Очертание арки будем считать параболическим. Тогда приблизительно:

$$Z = \frac{4}{15} f^2 l; \quad W = \frac{5}{48} l^2 f.$$

$$Z = \frac{4 \times 50^2 \times 580}{15} = \approx 386000 \text{ см.}^3.$$

$$1 + \frac{l}{f} \frac{W}{Z} = 1 + \frac{75}{192} \frac{580^2}{50^2} = \approx 53,5.$$

Найдем сначала критическую нагрузку для двух сводов по ф-ле (6) в предположении свободного передвижения среднего шарнира по горизонтальной плоскости:

$$p_a = \frac{EI_s \cdot 2f}{Zl \left(1 + \frac{l}{f} \frac{W}{Z}\right)} = \frac{210000 \times 8500 \times 2 \times 50}{386000 \times 580 \times 53,5} = 14,9 \text{ кгр./см.}$$

или

$$\frac{14,9 \times 100}{2} = 745 \text{ кгр./ш.}^2.$$

Критическая нагрузка для одной лишь стойки в предположении свободного верхнего конца:

$$p_b = \frac{\pi^2 EI_s}{4l^2} = \frac{3,14^2 \times 210000 \times 32500}{4 \times 580 \times 800^2} = 45 \text{ кгр./см.}$$

или

$$\frac{45 \times 100}{2} = 2250 \text{ кгр./ш.}^2.$$

Критическая нагрузка для совокупности двух арок и стойки должна лежать между этими двумя цифрами.

Далее находим

$$\lambda = \frac{3,14^2}{32} \frac{50}{800} \frac{1}{53,5} = 0,00036$$

$$\mu = \frac{97 \times 386000 \times 32500}{128 \times 800^3 \times 8500} = 0,00218$$

$$p = p_a (0,9993 + \sqrt{0,00218 - 0,00072}) = 1,0375 p_a = 15,3 \text{ кгр./см.}$$

$$\text{или } 765 \text{ кгр./м.}^2.$$

Взятые нами цифры отвечают размерам сводов и стоек Мадридского резервуара, обрушившихся под действием повышения температуры при сплошной нагрузке в 700 кгр./м.².

Несмотря на то, что наша схема не вполне отвечает схеме того перекрытия, критическая нагрузка полученная нами совпала почти точно с той, которая вызвала действительное разрушение перекрытия.

Возьмем другой пример. Проект сооружения, представленный в Отдел Водоснабжения Баксовета на конкурс.

Опоры—сплошные стены толщиной 20 см. Перекрытие—сплошные цилиндрические своды толщиной от 8 до 12 см. (средняя 10 см.).

$$h = 450; l = 640; f = 150;$$

$$I_h = \frac{20^3 \times 100}{12} = 66500$$

$$I_s = \frac{10^3 \times 100}{12} = 8300$$

$$Z = \frac{4}{15} 150^3 640 = 3840\ 000; 1 + \frac{l}{f} \frac{W}{Z} = 1 + \frac{640^2}{150^2} \frac{75}{192} = 8,1$$

$$= \frac{210\ 050 \times 2 \times 150}{3840\ 000 \times 640 \times 8,1} = 31,6 \text{ кгг./см или } 3160 \text{ кгг./м.}^2$$

$$\lambda = \frac{3,14^2}{32} \frac{150}{450} \frac{1}{8,1} = 0,0127;$$

$$\mu = \frac{3,14^4}{128} \frac{3840\ 000}{450^3} \frac{66500}{8300} = 0,250;$$

$$p = 3160 (0,987 + \sqrt{0,250 - 0,025}) = 4620 \text{ кгг./м.}^2.$$

Действительная нагрузка сооружения:

$$\text{Слой земли } 1600 \left(1 + \frac{1,50}{3} \right) = 2400 \text{ кгг./м.}^2.$$

$$\text{Собственный вес } 2400 \times 0,10 = \frac{240}{2640} \frac{\text{с}}{\text{с}}$$

Таким образом коэффициент устойчивости составляет $\frac{4620}{2640} = 1,75$, вместо требуемого — 4.

Основная разница между взятой нами схемой и обычной, действительной, в том, что узел в котором сходятся арки со стойкой—жесткий, а не шарнирный и, что количество пролетов больше двух. Жесткое соединение пят сводов между собой на результаты расчета не повлияют так как обе пяты на шарнирном соединении поворачиваются на одинаковый угол. Жесткое соединение со стойкой увеличивает устойчивость конструкции так как требует другой формы изгиба стойки. Количество пролетов на ход расчета повлияет только изменением численных коэффициентов перед членами уравнения (10).

Наконец, здесь следует подчеркнуть, что рассмотренный метод применим, конечно, лишь в пределах упругих деформаций.

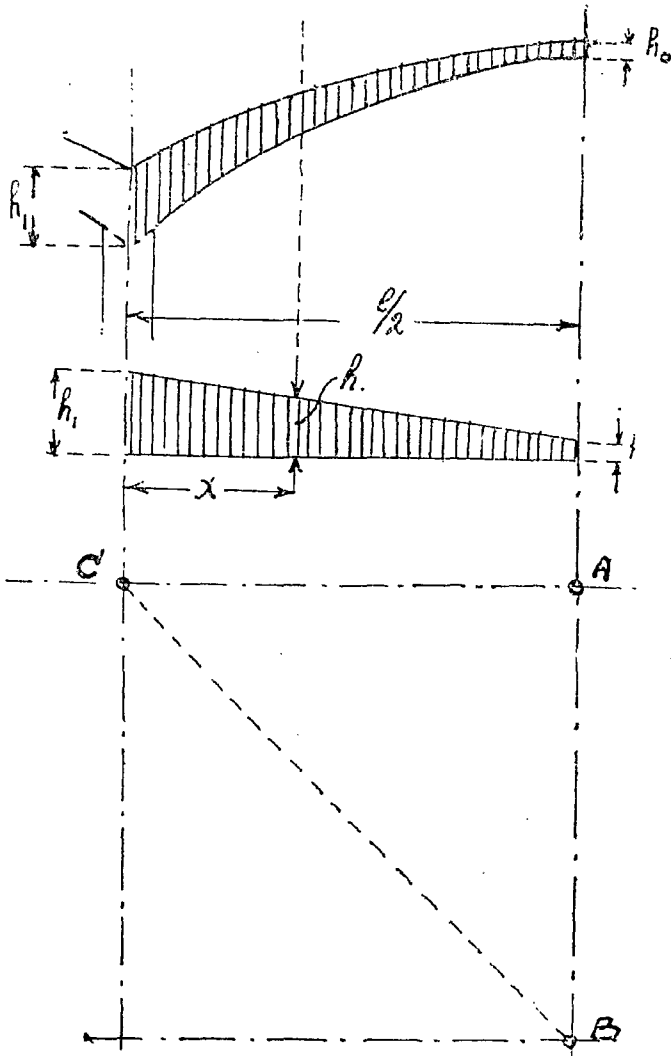
В нашу задачу в настоящем докладе не входит подробное рассмотрение форм равновесия для разного рода частных случаев и для более сложных систем. Мы хотели лишь указать на необходимость подобного расчета и на способ расчета.

Проверка сводчатых многопролетных перекрытий на устойчивость чрезвычайно важна. Лишь она может нам дать уверенность в правильности принятых размеров и избавить нас от излишней осторожности, давая нам возможность экономить на материале до предела.

К совершенно особому классу перекрытий должны быть отнесены железобетонные крестовые своды.

По экономичности своей (в смысле расхода материала) они близки к цилиндрическим сводам и даже превосходят последние.

Действительно. Пусть толщина вертикального сечения свода пролетом l возрастает от середины к пятam по линейному закону (черт. 10).



Чертеж № 10.

В сечении, отстоящем от опоры на расстоянии x , толщина сечения будет

$$h = h_1 - 2 \frac{h_1 - h_0}{l} x.$$

Объем свода на длину l вдоль образующей, т.-е. свода перекрывающего пространство l^2 , будет:

$$V_{\text{к}} = \frac{h_1 + h_0}{2} \cdot \frac{l}{2} \times 2 = \frac{1}{2}(h_1 + h_0)l^2.$$

Объем же крестового свода образованного из восьми полураспалубков ABC , и перекрывающего ту же площадь будет

$$V_{\text{кп}} = 8 \int_0^{\frac{l}{2}} h x dx = 8 \int_0^{\frac{l}{2}} \left(h_1 - 2 \frac{h_1 - h_0}{l} x \right) x dx = \frac{1}{3}(h_1 + 2h_0)l^2,$$

$$V_{\text{к}} - V_{\text{кп}} = \frac{1}{2}(h_1 + h_0)l^2 - \frac{1}{3}(h_1 + 2h_0)l^2 = \frac{1}{6}(h_1 - h_0)l^2.$$

Если $h_0 = \frac{1}{2}h_1$, то экономия составляет 11%.

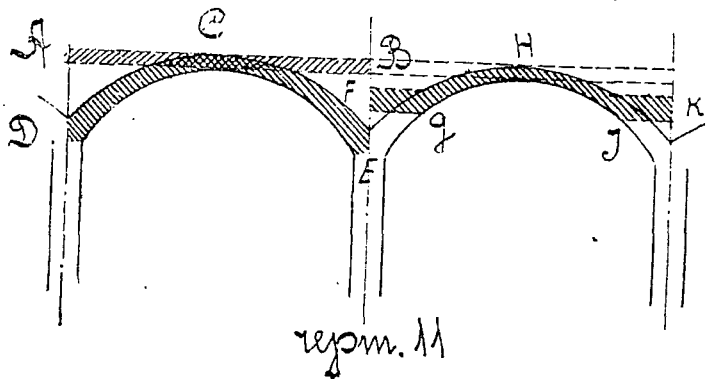
$$\frac{4}{12 \times 3} = 0,11$$

Затем крестовые своды прекрасно сочетаются с колоннами, не требуя никаких дополнительных балок между колоннами. Их недостаток—более трудная и дорогая опалубка. С этим можно бороться рациональным конструированием кружал.

Но главное достоинство железобетонных крестовых сводов—их жесткость.

Благодаря тому, что арматура в них пропускается через пересечения распалубков, получается вполне жесткое перекрытие, по своим свойствам близко подходящее к безбалочным грабовидным перекрытиям. Мало жесткое сечение получается лишь в ключе свода. В любом другом пересечении с вертикальной плоскостью получается сечение по фигуре подобной $FgHIK$ или DCE на чертеже 11 и обладает огромной жесткостью, возрастающей от среднего сечения ACB к опорному DCE .

Поэтому можно считать, что при достаточной жест-



кости колонн, крестовые своды обладают полной упругой устойчивостью.

Крестовые своды применены в проекте строящегося в настоящее время в Баку нового железобетонного резервуара «+110» емкостью 4.700.000 ведер.

Вполне удачным следует считать также решение задачи на втором из строящихся в Баку железобетонных резервуаров, а именно на Хурдаланском «+119» емкостью 1.100.000 ведер.

Здесь форма резервуара круглая, а потому цилиндрические своды, перекрывающие галлерии получили кольцевое в плане очертание, способствующее их устойчивости и жесткости.

Если при постройке резервуаров большой емкости расходуются большие массы бетона и потому даже малый процент экономии в расходе материала дает ощутительную сумму сбережений на всем сооружении, то не менее серьезным является вопрос рационального проектирования поперечных сечений крупных трубопроводов, которые в последнее время все чаще делаются из железобетона. Несмотря на то, что при современном состоянии цементной техники не может быть рекомендовано потребление бетона для трубопроводов, отводящих сточные воды загрязненные домовыми или фабричными отбросами, остается все же еще ряд таких трубопроводов для устройства коих железобетон остается весьма пригодным материалом. Таковыми являются—ливне-спуски городских канализаций, водоводы для чистой воды со свободным уровнем, напорные трубопроводы для тех же целей и напорные трубопроводы для силовых установок—поскольку они не смачиваются грунтовыми водами, содержащими вредные для бетона вещества. Наконец, мы сохраняем убеждение, что непригодность современного бетона для вод содержащих растворы некоторых солей и других реактивов, кроется лишь в несовершенстве портланд-цементов и способов производства работ, и что мы безусловно идем к достижению таких качеств цементов, при которых бетон вновь займет видное место даже в тех условиях, в которых он сейчас не применим.

Обращаясь к анализу рационального проектирования сечений трубопроводов, уложенных в земле, обратим внимание на три категории внешних сил, вызывающих в них те или иные усилия:

1. Внутренние давления.
2. Внешние нагрузки, включая сюда активное давление земли.
3. Внешние реакции основания.

Первые силы наиболее определены. Расчет их не встречает затруднений. Поэтому рациональное проектирование железобетонных трубопроводов в которых преобладают внутренние давления, не представляет особенных трудностей; поскольку внутренним давлениям не противостоит внешних мало определенных упругих реакций.

Поэтому в случае напорных трубопроводов наиболее решающими являются вопросы практического характера, а также выбор некоторых норм расчета.

В настоящее время напорные трубопроводы, строятся преимущественно из железобетона с напором—до 2—3 атмосфер, но встречаются напоры и до 30 атмосфер. При таком давлении решающим является вопрос водонепроницаемости, которая во всяком случае должна обеспечиваться двояко:

- 1) путем соответствующего выбора материала и способа производства работ; 2) путем покрытия внутренней поверхности водонепроницаемым слоем.

Ни в коем случае нельзя рекомендовать добавление в этих случаях в бетон посторонних не свойственных бетону веществ.

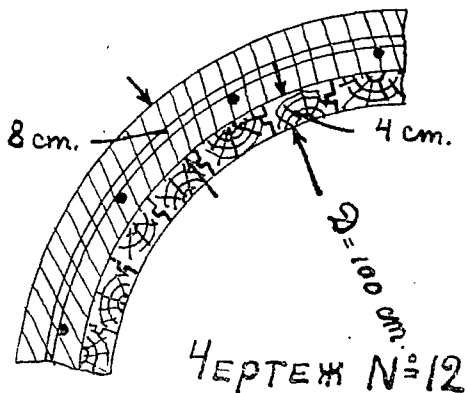
Будучи подвержены большим растягивающим усилиям и одновременно напору воды стремящейся проникнуть в малейшие трещины, бетон должен в этом случае обладать однородностью и высоким сопротивлением разрыву при достаточной уверенности в постоянстве такового.

Лучшую гарантию в этом направлении дает лишь применение высокосортного цемента, а особенно трассового цемента и глиноземистого цемента. Последние трубопроводы подобного рода, построенные в Германии—все почти из трассового цемента.

Бетонные стенки трубопроводов должны быть независимо от содержания железа проверены на растяжение, при чем, не следует допускать напряжений в бетон превышающих 10—12 kg/cm².

Наконец, следует обязательно тщательно покрывать внутреннюю поверхность более или менее водонепроницаемым слоем, для устройства коего рекомендуется цементная штукатурка, но не исключена возможность и других предохраняющих оболочек. Здесь следует указать на несколько своеобразных устройств.

При малых диаметрах напорных труб (меньше 1½ метров) чрезвычайно затруднено, даже при хороших мастерах, тщательное нанесение слоя штукатурки. Фирмой Duckerhoff u. Widmann построен в Vöhrenbach i. Baden напорный железобетонный трубопровод длиной 1662,5 м. диаметром (в свету) 1,00 м. *), при чем в виду затруднительности устройства штукатурки, таковая была заменена устройством деревянной опалубки в виде плотно пригнанной деревянной трубы, оставленной внутри трубопровода навсегда (черт. 12).



Доски опалубки толщиной 4 см были точно прифугованы и соединены как в продольных швах, так и в поперечных стыках шпунтами. Внутри доски гладко выструганы, снаружи покрыты инертным. Толщина железобетонных стенок 8 см, напор доходит до 2,6 атмосфер.

Конструкция оказалась очень удачной. Ее особенно следует рекомендовать у нас, где опытных штукатуров труднее найти, чем в Германии, а хорошие плотники и лес есть.

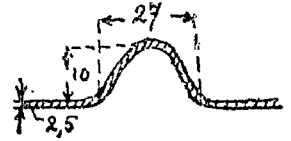
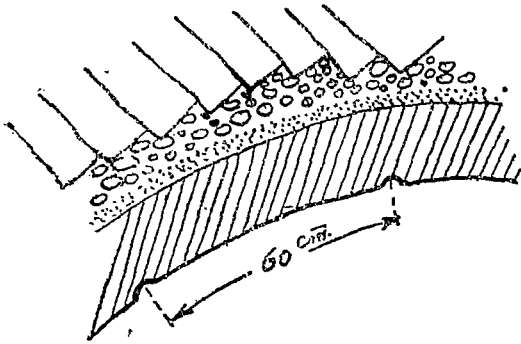
Другой интересный метод устройства внутренней оболочки—примененный инженером Graben'ом в Люцерне **).

Это устройство остающейся в трубопроводе опалубки из листо-

*) Der Bauingenieur 1924. II. 7 s. 205.

**) Beton u. Eisen 1923, II. 13 s. 170.

вого железа толщиной 2,5 мм, при чем для того, чтобы оболочка не подвергалась сама растяжению, она делается с продольными волнами в расстоянии 60 см. одна от другой (см. чертеж 13).



ЧЕРТЕЖ № 13.

Железная оболочка с обеих сторон красится особым составом для предохранения от ржавчины и для устранения возможности схватывания железа с бетоном.

Подобного рода устройства применяются при давлении до 4 атмосфер и при диаметре до 3,5 метров, преимущественно в штольнях, где внутреннему давлению противостоит снаружи реакция твердого грунта.

Вообще техника напорных железобетонных трубопроводов делает большие успехи. Можно отметить осуществление труб диаметром до 6 метров (около Grenoble во Франции) и с внутренним давлением до 30 атмосфер.

Что касается проектирования напорных трубопроводов, то здесь следует подчеркнуть, что расчет прочности стенок должен быть произведен двояко:

во-первых, в предположении, что работает только одно железо, при чем напряжения не должны превосходить обычно допускаемых, но лучше их несколько понизить, например, до 800 kgf/cm^2 ; во-вторых, в предположении, что работает и железо и бетон на растяжении, при чем, допускаемые в этом случае в бетоне напряжения, не должны превосходить 10—12 килограммов на квадратный сантиметр.

Напряжение в железе определяется при условии пренебрежения работой бетона приблизительно по формуле:

$$\sigma_1 = q \frac{2r}{fe}$$

при давлении на единицу внутренней поверхности q , радиусе внутреннего очертания r , длине трубы b и площади арматуры fe .

Если $fe = pbd$, где d толщина стенок, то

$$\sigma_1 = q \frac{2r}{pd}$$

Напряжение в бетоне (без учета влияния железа) определится по формуле Ляме *)

*) Более подробные данные о расчете напорных трубопроводов можно найти в статье L. Mühlhofer'a в № 18 'Der Bauingenieur' за 1923 год.

$$\sigma_b = q \frac{(2r^2 + d^2)}{(2r + d)}$$

Для того, чтобы бетон и железо были использованы одинаково хорошо, необходимо, чтобы $\sigma_b = 10 \text{ kgf/cm}^2$, $\sigma_i = 1000 \text{ kgf/cm}^2$. При $n = 15$ получим

$$\frac{1000 \cdot p d}{2r} = \frac{10 (2r + d)}{2r^2 + d^2}$$

$$p = 0,01 \frac{(2r + d) \cdot 2r}{(2r^2 + d^2) d} \approx 0,02 \left(1 + \frac{d}{2r}\right)$$

При больших диаметрах содержание железа должно быть около 2%; так, например, при диаметре в 1 метр и давлении 3 атмосфер площадь железа составит:

$$\mu = \frac{3 \times 50 \times 100}{1000} = 15 \text{ cm}^2/\text{m},$$

а толщина стенок около

$$\frac{15 \times 100}{2 \times 100} \approx 8 \text{ cm}.$$

В виду того, что запас прочности бетона против образования трещин составляет при допускаемых напряжениях в 10 kgf/cm^2 не больше 1,5, и, что поэтому не может быть полной уверенности в том, что трещин не будет, техника ищет новых путей обеспечения напорных железобетонных труб от опасности образования трещин, без одновременного чрезмерного увеличения расхода бетона.

В этом направлении чрезвычайно интересной представляется система инженера Эмпергера ¹⁾ (т. н. System Emperges-Umlauf). Здесь труба состоит из двух слоев. Внутренняя бетонная труба, успевшая отвердеть, обматывается спиральной или круговой стальной проволокой, которой особыми натяжными приборами придается начальное натяжение настолько большое, что в бетоне появляются сжимающие напряжения доходящие до 14 kgf/cm^2 . Когда подобная труба подвергается затем давлению изнутри, первоначально растягивающие напряжения в железе увеличиваются, в сжимающие в бетоне уменьшаются, но могут и не перейти через нуль. Таким образом опасность образования трещин растяжения в бетоне совершенно устраняется.

Арматура покрывается наружным предохранительным слоем бетона.

Подобные трубы испытывались Эмпергером лабораторным путем до давления в 18 атмосфер и дали хорошие результаты.

О применении их на практике нам пока ничего не известно.

В соответствии с родом преобладающих сил напорные трубы делаются обычно круглого сечения.

Трубопроводы со свободным уровнем, укладываемые на некоторой глубине в грунте, делаются сечения наиболее близко подходящего к очертанию кривой давления.

¹⁾ Beton u. Eisen 1923 H 17/18 p 19.

«Beton röhre für Innendruck» von Emperger.

Здесь мы имеем двоякого рода силы, действующие на трубы извне: более или менее определенная нагрузка от засыпки землей и временной нагрузки и совершенно неопределенная величина реакции основания.

О внешних нагрузках мы уже говорили в начале настоящего доклада. Здесь остановимся на вопросе о реакции грунта.

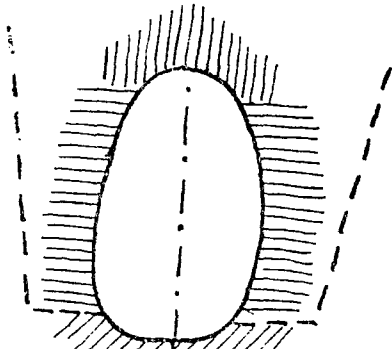
Не подлежит сомнению, что грунт обладает упругими свойствами. Но численные величины характеризующие эти упругие свойства пока мало изучены. Если мы, на основании опытов некоторых железнодорожных инженеров имеем понятие о т. н. коэффициенте балласта, характеризующем упругие свойства балласта под шпалами, то об упругом противодействии дна и стенок траншей, в которых укладываются трубопроводы, мы можем лишь догадываться.

Благодаря этому способы расчета сечений подобных трубопроводов большей частью чрезвычайно примитивны. В лучшем случае они рассчитываются, как упругое кольцо подверженное определенной нагрузке с реакцией основания равномерно распределенной по дну. Часто—как свод па двух самостоятельных опорах, а в худшем случае—размеры их берутся просто по осуществленным уже сооружениям.

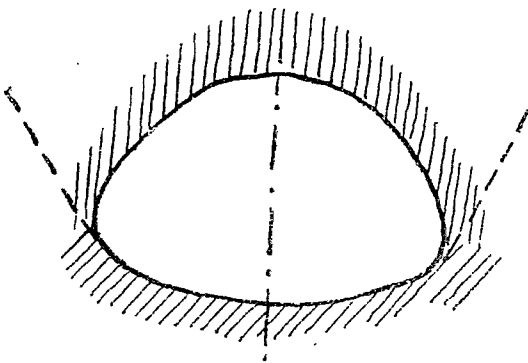
Пока мы имеем дело с малыми трубами, когда преобладают соображения конструктивного характера, последний способ хорош. Но для крупных сооружений, строящихся для пропуска больших количеств воды, где есть возможность подобрать экономичные сечения, следует расчет вести как упругого кольца с учетом упругих свойств грунта.

Можно различить два типа сечений: а) стоячие сечения, где преобладает высота. Сюда относятся всякого рода озоидальные и проч. водоводы, канализационные трубы и проч. и б) лежачие сечения с преобладающей шириной. Таковыми делаются чаще всего всякого рода ливневые выпуски и другие трубы (например, железнодорожные), предназначенные для пропуска дождевых и ливневых вод.

Вокруг этих труб можно отличить три зоны, обозначенные на чертеже 14 различной штриховкой.



ЧЕРТЕЖ № 14



Зоны, в которых проявляются исключительно активные силы (на чертеже заштрихованы вертикально).

Отличительной чертой этих сил—независимость от деформации сечения трубы.

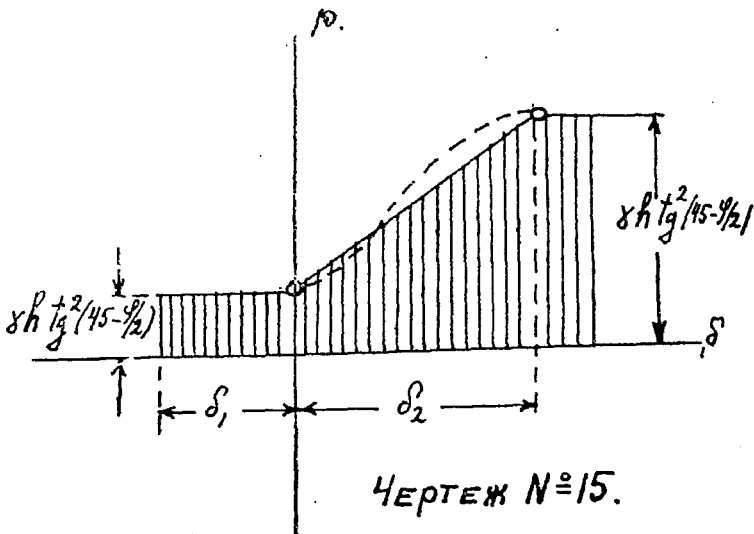
Зоны, в которых проявляются исключительно пассивные силы—реакции (заштрихованы наклонно). Они при упругом основании будут функциями деформаций трубы.

Наконец, зоны, в которых могут проявляться и те и другие (заштрихованы горизонтально).

Вокруг стоячих сечений будем иметь все три зоны. Поэтому расчет их наиболее труден и наименее определен.

Вокруг лежащих сечений имеем преимущественно лишь две зоны—первую и вторую.

Зоны первой категории—это область засыпки траншей в которой укладывалась или строилась труба. Зоны второй категории—нетронутый, при устройстве траншей, грунт на котором заложена труба. Образование третьей зоны вокруг стоячих сечений происходит от того, что между стенками трубы и откосами траншеи остается узкий промежуток, который, будучи засыпан землей с тщательной утрамбовкой служит, как бы промежуточным телом с одной стороны, передающим на боковые стенки трубы давления верхнего столба засыпки и распор от стенок траншеи, если таковые перейдут в движение, с другой стороны сопротивляющимся упруго, направленным наружу деформациям трубы, будучи зажатым между трубой и упругим грунтом.



Чертеж N ≅ 15.

Возьмем простейший случай вертикальной стенки трубы и горизонтальной засыпки высотой h . Пусть угол истественного откоса φ . Распор земли будет $p = rhtg^2(45^\circ - \varphi/2)$.

Стенка трубы под влиянием давления p , очевидно, входя в состав упругого кольца (трубы) должна получить некоторое перемещение внутрь трубы, которое назовем δ_1 , (см. чертеж 15). Теперь предполо-

жим другой случай. По мере возрастания давления p , увеличивается также нагрузка на вершину свода настолько, что вызываемого этим усилия достаточно для противодействия перемещения стенки. Тогда $\delta = 0$, но давление p остается равным:

$$p = r h t g^2 (45^\circ - \varphi/2).$$

Сделаем третье предположение. Под влиянием вертикальной нагрузки на свод кольцо настолько деформируется, что вытесняет прилегающую массу земли. При этом должен быть преодолен весь отпор земли равный (по теории Кулона)

$$p = r h t g^2 (45^\circ + \varphi/2).$$

Преодоление всего отпора земли неминуемо сопровождается значительным перемещением массы земли, каковое может произойти лишь после предварительного упругого ее сжатия, чему должно соответствовать определенное перемещение стенки:

$$\delta = \delta_2$$

При дальнейшем увеличении δ , раз земля уже пришла в движение, увеличение p не произойдет.

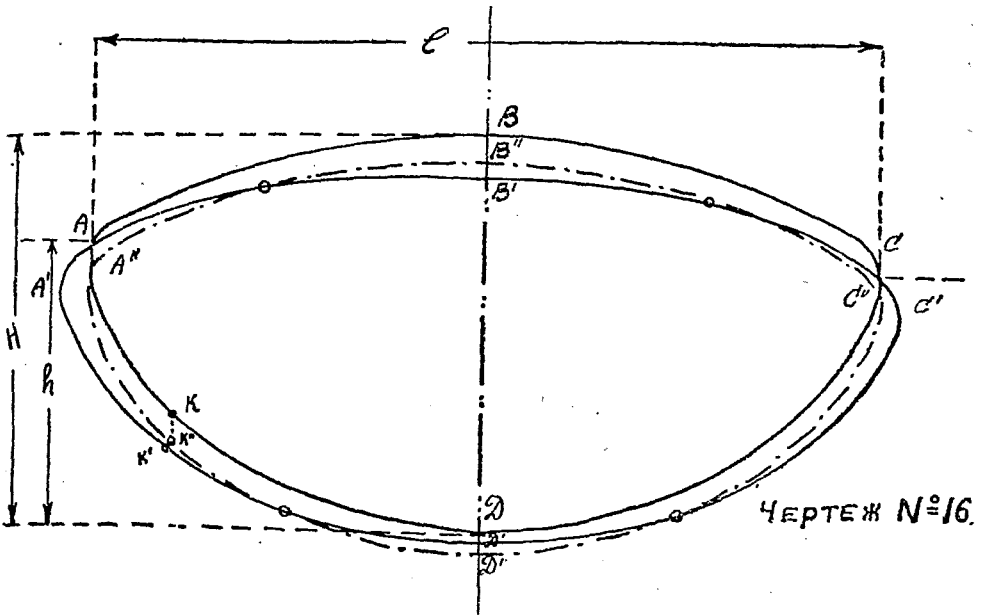
Таким образом эпюра величины p (изображенная на черт. 15) будет ограничена вне участка $O - \delta_2$ двумя прямыми линиями параллельными оси δ . В самом же промежутке $O - \delta_2$ она изобразится в виде кривой или прямой наклонной линии AB , действительное очертание которой нам пока совершенно неизвестно. Проще всего конечно принять ее за прямую и тогда на участке $\delta = 0$ до $\delta = \delta_2$ получится линейная зависимость давления на стенку и деформации трубы. Причем p будет состоять из двух величин: активного давления земли — $\gamma h t g^2 (75^\circ - C/2)$ и упругой реакции грунта, выражаемого функцией первой степени от δ .

Таким образом при трубах стоячего типа в третьей зоне следует внешние силы считать постоянными, если под влиянием совокупности внешних сил произойдет сокращение поперечника трубы и в виде функции от деформации поперечника,—если происходит его удлинение. Расчет сечения труб в этих условиях сводится к расчету упругого кольца в упругой же среде или упругого кольца на упругом основании. Точный расчет весьма затруднителен. Можно ограничиться нижеследующим приближенным расчетом, вполне достаточным в виду малой еще изученности упругих свойств грунтов.

Пусть имеем трубу с очертанием оси поперечного сечения $ABCD$ показанным на чертеже 16.

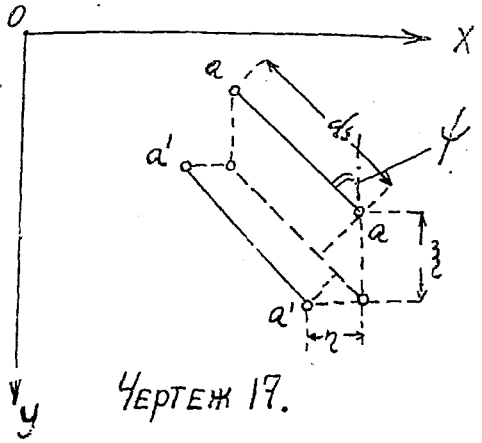
Под влиянием—внешней нагрузки и упругих реакций грунта ось деформируется и переместится в положение $A'B'C'D'$. Переход в новое положение можно рассматривать как бы состоящим из двух стадий: 1) вертикального перемещения всей оси по направлению действующих сил без изменения очертания из положения $ABCD$ в положение $A''B''C''D''$ (как если бы труба была абсолютно жесткая) и 2) деформации упругой оси трубы под влиянием внешних сил, причем из положения $A''B''C''D''$ она перейдет в положение $A'B'C'D'$.

Упругие свойства грунта расположенного ниже линии AC предположим такими, что реакция грунта в любой точке оси K , нормальная к означенной оси, пропорциональна перемещению точки K в том же нормальном к оси направлении.



Передвижение точек оси по касательной предположим происходящим без трения.

Выделим элементарный отрезок оси aa (черт. 17), который после деформации пусть займет положение $a'a'$. Перемещение этого отрезка по нормали назовем δ ; тогда нормальная реакция грунта на этот отрезок будет $\epsilon \delta ds$ где ϵ есть коэффициент пропорциональности характеризующий упругие свойства грунта выражаемый в единицах $\frac{g}{c^3}$ так как означает давление на единицу поверхности вызывающее нормальное к поверхности перемещение на единицу длины.



Если угол площадки с вертикалью будет ψ , то перемещение площадки можно представить в виде последовательного перемещения по двум координатным осям вертикальной OY , в направлении внешних сил и горизонтальной OX . Они будут равны. Назовем вертикальное перемещение ξ и горизонтальное η , вертикальному перемещению ξ соответствует нормальное перемещение $\xi \sin \psi$ и реакция грунта:

$$\epsilon \xi \sin \psi ds = \epsilon \xi dx;$$

горизонтальному перемещению η соответствует нормальное перемещение $\eta \cos \psi$ и реакция грунта:

$$\varepsilon \eta \cos \psi ds = \xi \eta dy$$

Таким образом мы можем рассматривать нижнюю часть оси кольца, как подверженную действию системы горизонтальных и вертикальных распределенных по вертикальной и горизонтальной проекциям сил. Интенсивность этих нагрузок пропорциональна горизонтальным и вертикальным перемещениям точек оси.

Если-бы кольцо не деформировалось (было-бы абсолютно жестко), то под давлением внешней нагрузки p , равномерно распределенной по всей ширине кольца l , все кольцо должно было бы получить осадку:

$$\delta = \frac{pl}{k\xi} = \frac{P}{k\xi} = \frac{p}{\xi} \\ P = k\xi \delta \dots \dots \dots (1)$$

в этом случае $\xi = \delta$, а горизонтальных перемещений бы не произошло, $\eta = 0$.

Если кольцо деформируется, то, назвав вертикальное перемещение отдельных точек основания через δ_ξ , а горизонтальное через $\delta_\eta = \eta$

мы можем написать:

$$pl = P = \varepsilon \int_{(e)} \delta_\xi dx; \dots \dots \dots (2)$$

из (1) и (2) имеем;

$$\delta = \varepsilon \frac{\int \delta_\xi dx}{l}$$

для горизонтальных перемещений можно написать:

$$0 = \varepsilon \int_{(h)} \delta_\eta dy$$

Если бы перемещения точек оси вдоль координатных осей изобразить графически как на чертеже 18, в виде кривых $A''B''C''$ и KLM , а перемещение δ в виде прямой $A'C'$, то площадь $AA'C'C$ должна быть равна площади $AA''B''C''C$ что следует из ур-ния (2) которое можно представить еще и в таком виде

$$\int_{(e)} (\delta_\xi - \delta) dx = 0$$

назовем $\delta_\xi - \delta = \xi$;

$$\text{тогда: } \int_{(e)} \xi dx = 0;$$

Так как реакции пропорциональны перемещениям, то их также можно представить в следующем виде.

Вертикальные реакции—

$$\varepsilon \delta_{\xi} = \varepsilon \delta + \varepsilon \xi = p + \varepsilon \xi$$

и горизонтальные реакции—

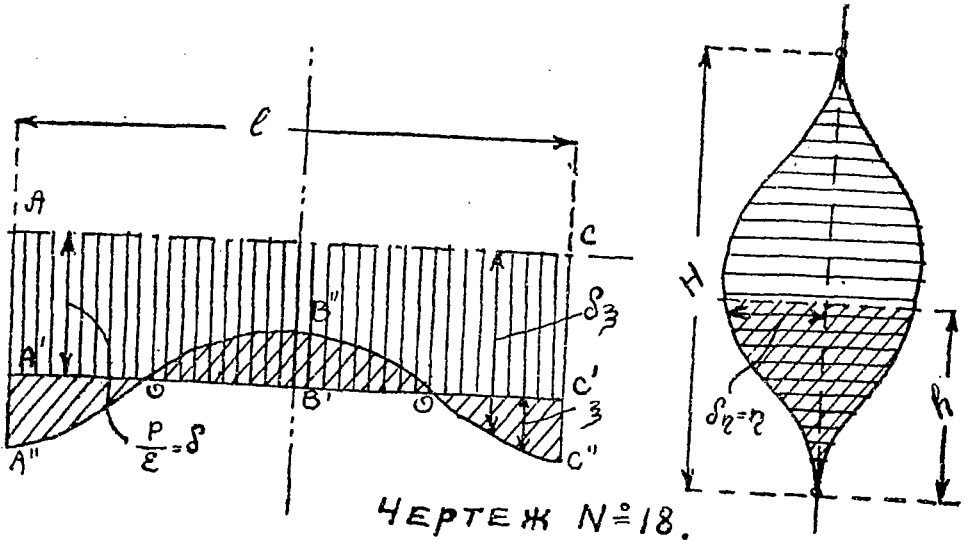
$$\varepsilon \delta_{\eta} = \varepsilon \eta + 0$$

Первая состоит из двух частей: постоянной, равной внешней нагрузке p , известной заранее и переменной $\varepsilon \xi$ обладающей тем свойством, что равнодействующая всех элементарных реакций $\varepsilon \xi$ равна нулю.

$$\int \varepsilon \xi dx = \varepsilon \int \xi dx = 0$$

(e) (e)

Назовем искомую нормальную реакцию грунта через kr , причем она будет слагаться из вертикальной $\varepsilon k \xi$ и горизонтальной $\varepsilon k \eta$. Примем параметр k за статически неопределимую величину, предполагая, что вид функции r , значит и ξ и η нам заранее известны.



Основной системой будем считать замкнутое кольцо шириною в единицу длины, вырезанное из трубы двумя поперечными сечениями и подверженное действию внешней нагрузки P и вертикальной реакции грунта равной $pl = P$.

На основании теоремы Бетти можем написать:

$$\sum P_m \delta_{mr} - \int_S kr \delta_{rr} ds = 0 \dots \dots \dots (3)$$

где P_m —означает действительные внешние нагрузки системы, в том числе и реакции p ;

δ_{rr} —взаимные перемещения точек приложения реакций kr при действии на основную систему одних только этих реакций при $k=1$. Составляющие перемещения δ_{rr} по координатным осям назовем:

- вертикальную — ξ_{rr}
- горизонтальную — η_{rr}

δ_{mr} —перемещение точек приложения внешних сил при действии одних лишь реакций kr при $k=1$.

На основании теоремы о взаимности перемещений можем написать

$$\Sigma P_m \delta_{mr} = \int_{(s)} r \delta_{0r} ds$$

где δ_{0r} — есть перемещение точек приложения реакций kr при действии внешних сил (в том числе и реакций p) на основную систему. Составляющие перемещения δ_{0r} по координатным осям назовем:

вертикальные — ξ_0 ,
горизонтальные — η_0 .

Из ур-ния (3) определяем:

$$K = \frac{\Sigma P_m \delta_{mr}}{\int_{(s)} r \delta_{rr} ds} = \frac{\int_{(s)} r \delta_{0r} ds}{\int_{(s)} r \delta_{rr} ds};$$

действительные реакции и их перемещения можем заменить их составляющими по координатным осям.

$$K = \frac{\int_{(c)} \varepsilon \xi \xi_0 dx + \int_{(k)} \xi \eta \eta_0 dy}{\int_{(e)} \varepsilon \xi \xi_{rr} dx + \int_{(h)} \xi \eta \eta_{rr} dy} = \frac{\int_{(c)} \varepsilon \xi \xi_0 dx + \int_{(h)} \eta \eta_0 dy}{\int_{(e)} \varepsilon \xi \xi_{rr} dx + \int_{(h)} \eta \eta_{rr} dy} \dots \dots \dots (4)$$

Составляющие ξ_{rr} и η_{rr} взаимных перемещений точек приложения парных сил kr при действии совокупности этих сил на основную систему и грунт и $k=1$, состоящее из осадки грунта и деформации кольца могут быть представлены в виде сумм $\xi_{rr} = \xi + \xi_1$

$$\eta_{rr} = \eta + \eta_1$$

и выражение (4) примет вид

$$K = \frac{\int_{(e)} \varepsilon \xi \xi_0 dx + \int_{(h)} \eta \eta_0 dy}{\int_{(e)} \varepsilon \xi \xi_1 dx + \int_{(h)} \eta \eta_1 dy + \int_{(e)} \varepsilon \xi^2 dx + \int_{(h)} \eta^2 dy} \dots \dots \dots (5)$$

В этом выражении нам известны ξ_0 , η_0 , ξ_1 и η_1 , которые легко определяются обычным способом принятым для определения деформаций кривых брусьев под действием определенных нагрузок.

Неизвестными остаются ξ и η .

Если мы, соображаясь с возможными формами деформации нижней части кольца, зададимся ξ и η в виде ф-ций от x и y то выражение k приобретет определенное численное значение. Можно ξ и η выразить в виде тригонометрических кривых. Но проще всего положить

$$\eta = \eta_0 \text{ и } \xi = \xi_0.$$

Действительно, при очень жестком кольце или при вполне твердом грунте при котором $\varepsilon = \infty$, деформации кольца и грунта будут равны нулю

$$\left. \begin{aligned} k\xi_{\varepsilon=\infty} &= 0 \\ k\eta_{\varepsilon=\infty} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

Если, наоборот, $\varepsilon=0$, т.е грунт оказывает весьма малое упругое сопротивление, в пределе будем иметь

$$\left. \begin{aligned} k\xi_{\varepsilon=0} &= \xi_0 \\ k\eta_{\varepsilon=0} &= \eta_0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

При промежуточных значениях ε , получаются промежуточные значения $k\xi$ и $k\eta$, а т. к. k есть функция от ε , а ξ_0 и η_0 от ε не зависят, то проще всего предположить, что

$$\xi = \xi_0 \text{ и } \eta = \eta_0,$$

а k в первом случае будет равно нулю, во втором единице. Очевидно при таком предположении погрешность окажется невелика, а формула (5) значительно упростится, приняв вид

$$k = \frac{\int_0^{l/2} \xi_0^2 dx + \int_0^h \eta_0^2 dy}{\int_0^{l/2} \xi_0^2 dx + \int_0^h \eta_0^2 dy + \int_0^{l/2} \xi_0 \xi_1 dx + \int_0^h \eta_0 \eta_1 dy} \dots \dots \dots (8)$$

$$1 + \frac{\int_0^{l/2} \xi_0^2 dx + \int_0^h \eta_0^2 dy}{\int_0^{l/2} \xi_0 \xi_1 dx + \int_0^h \eta_0 \eta_1 dy}$$

Обратим внимание, что $\int_0^{l/2} \xi_0^2 dx$ есть удвоенная абсолютная величина статических моментов площадей $B''B'O$ и $C''C'O$ (чертеж 18) вокруг оси $A'C'$, а $\int_0^h \eta_0^2 dy$ есть удвоенная абсолютная величина статического момента площади KLM вокруг оси KM .

Назовем

$$\int_0^{l/2} \xi_0^2 dx + \int_0^h \eta_0^2 dy = S$$

Тогда выражение (8) еще упростится

$$k = \frac{1}{1 + \frac{1}{S} \left[\int_0^{l/2} \xi_0 \xi_1 dx + \int_0^h \eta_0 \eta_1 dy \right]} \dots \dots \dots (9)$$

Ход расчета будет следующий:

Сначала принимаем реакцию грунта равномерно распределенной по горизонтальной проекции основания. Рассчитываем кольцо графо-аналитическим способом и находим величины вертикальных и горизонтальных, составляющих деформации ξ_0 и η_0 той части кольца, на которую распределяются упругие реакции грунта. Затем вторично рассчитываем кольцо под действием одних только сил упругих реакций

$$\varepsilon \xi_0 \text{ и } \varepsilon \eta_0$$

и вновь находим составляющие деформации кольца ξ_1 и η_1 . Вычертив те и другие, легко найти графически или иным путем интегралы, входящие в ур-ние (9). По ним определяем k .

Действительные усилия в сечениях кольца представятся в виде суммы усилий, полученных при первом расчете и умноженных на k усилий, полученных при втором расчете.

Само собой разумеется, что для подобного расчета нужно знать действительную величину коэффициента ε , характеризующего упругие свойства грунта. К сожалению они нам мало известны. По некоторой аналогии с так называемым «коэффициентом балласта» можно сказать, что ε не ниже 5 kgf/cm^3 , а вероятнее всего значительно выше, в пределах 15—20, а может быть и больше kgf/cm^3 .

Экспериментальное изучение коэффициента ε следует считать одной из очередных задач в области строительства канализационных и водопроводных сооружений. Остается лишь пожелать, чтобы те учреждения, которым предстоит в ближайшем будущем осуществление крупных работ по проведению подземных каналов, ассигновали средства на это дело.

Непосредственное определение упругих свойств грунтов связано очевидно с колоссальными затруднениями. Мы не думаем вдаваться в методологию подобных опытов, но нам хотелось бы здесь указать на один путь который нам кажется достаточно простым.

По Lamb'у, если на поверхности однородного изотропного тела ограниченного лишь с одной стороны беспредельной плоскостью, возникают какие-либо возмущения, то в каком-либо другом месте той же поверхности появляются три рода волн, из коих наиболее сильные и вместе с тем наиболее медленно—поверхностные волны идущие со скоростью

$$v_s = m \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

где m —коэффициент равный около 0,92—0,96, μ коэффициент поперечной упругости и ρ —плотность данного тела. С другой стороны для скорости распространения колебаний имеем

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

где T —время одного колебания и λ длина волны

$$\frac{\lambda}{T} = m \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

$$\mu = \frac{\lambda^2 \zeta}{T^2 m^2} \dots \dots \dots (10)$$

в выражении для μ неизвестными будут λ и T . Затруднение в определении T и λ заключается в том, что в грунте колебания затухают очень быстро и распространяются недалеко. Даже при сильных сравнительно взрывах область распространения колебаний очень мала. Но здесь нам придут на помощь явления резонанса.

Кто не замечал, сидя в комнате выходящей на улицу, что иногда легкий экипаж вызывает сотрясения большие нежели громадная фура.

Это происходит очевидно тогда, когда частота ударов колес экипажа по камням мостовой совпадает с частотой естественных колебаний, свойственных грунту.

Отсюда следует, что T мы можем определить, давая тем или иным путем ударам в грунт (проездом фуры, работой мотора) такую частоту, при которой получаются явления резонанса.

Тогда остается определить λ . Для этого существует ряд приборов. Полученный из формулы (10) коэффициент μ не есть еще тот коэффициент ϵ , который входит в наши формулы. Но между ними существует аналитическая связь, изучение которой должно бы идти параллельно с экспериментальным определением μ .

Т е з и с ы.

1. Особенности службы железобетона в водопроводных и канализационных сооружениях вызывают необходимость специального изучения этого материала в применении к указанным сооружениям.

2. Многолетний опыт существующих сооружений может дать богатый материал, поэтому было бы желательно, чтобы XIII Съезд организовал специальную Всесоюзную Анкету по обследованию существующих железобетонных сооружений, обслуживающих водопроводно-санитарные нужды.

3. Ввиду некоторых пробелов в существующих нормах, выработанных не для специальных водопроводных и канализационных сооружений, Съезды должны озаботиться пополнением этих пробелов путем издания дополнений к существующим нормам.

4. Экономичность конструкций выдвигается на первый план в сооружениях с массовым потреблением материала, каковыми являются резервуары большой емкости и подземные каналы большего сечения.

Для удешевления подобных сооружений следует, с одной стороны, рекомендовать экономические способы производства работ — в том числе применение литого бетона — с другой — уточнение расчетов.

Особенно серьезное значение по отношению к поименованным сооружениям следует признать за расчетом устойчивости многопролетных перекрытий и за расчетом кольцевых сечений на упругом основании. Для усовершенствования последних необходимо изучить экспериментально упругие свойства грунтов.

Программа анкеты о службе железобетонных сооружений в составе водопроводных и санитарно-технических устройств.

1. Наименование сооружений (резервуар, коллектор.....).
2. Краткое описание сооружения и системы конструкции, по возможности с приложением чертежей.
3. Год постройки и время производства бетонных работ (лето, осень.....).
4. Из каких материалов сооружение исполнено (указать качество песка, гравия, щебня, марку цемента, состав бетона.....).
5. Качество воды (с приложением анализа); если другая жидкость, то точно указать—какая.
6. Скорость протекания воды.
7. Температура воды и воздуха внутри сооружения. Колебания температуры.
8. Наивысшая и наименьшая годовая температура наружного воздуха.
9. Есть ли температурные швы, их конструкция, расстояние между ними. Работают ли?
10. Качество и характер грунта.
11. Есть ли грунтовые воды, их анализ?
12. Есть ли дренажи; какие? Работают ли?
13. Сделан ли изолирующий слой; какой?
14. Наибольшее давление воды внутри сооружения.
15. Имеется ли штукатурка внутренних и наружных поверхностей?
16. Замечаются ли повреждения штукатурки? Их описание.
17. Замечаются ли повреждения бетона, трещины, расслоения, выпучивания, химические перерождения? Подробное описание всех повреждений с указанием их вероятных причин.
18. Замечаются ли повреждения железа? Какие? Расстояние арматуры до внутренних и наружных поверхностей. Сорт арматуры. Подробное описание всех повреждений с указанием их вероятных причин.
19. Производился ли ремонт сооружения. Какой. Когда. Чем был вызван?

Прения по докладам проф. П. А. Велихова, проф. А. А. Байнова, инж. Г. К. Дементьева и инж. В. Э. Новодворского.

По докладу проф. П. А. Велихова были заданы вопросы:

- 1) изготавливаются ли пуццолановые цементы в СССР?
- 2) что представляет собою трасса?
- 3) не падает ли с течением времени сопротивляемость глиноземистого цемента?
- 4) насколько водонепроницаем трассовый цемент?

Проф. П. А. Велихов. На Новороссийском заводе изготовление пуццоланового цемента широко еще не поставлено потому, что встречаются экономические затруднения, но стремление поставить это производство на широкую ногу имеется. Мальцовские заводы тоже изготавливают этот материал, но не решаются назначить на него цену меньшую, чем на обыкновенный портланд-цемент, между тем, как главное преимущество этого материала заключается в том, что он обладая всеми свойствами обыкновенного цемента гораздо дешевле его.

Конечно, при развитии спроса на этот материал Мальцовские заводы могли бы продавать этот цемент по более низким ценам.

Мне еще задает вопрос т. Севастьянов о том, что представляет трасса; это частный случай пуццолановых веществ. Пуццолановые части мы делим на две категории, а именно: категорию естественную и искусственную; естественная, в свою очередь, делится на три группы. Пуццолан представляет из себя порошкообразную массу, а трасса представляет твердый вулканический туф; кроме того, имеются еще пуццолановые осадочные породы. Затем задают вопрос, не падает ли сопротивление глиноземистого цемента с течением времени? Нет; его сопротивление после года остается на одной высоте. Затем относительно водонепроницаемости трассового цемента. Мои исследования показали, что цемент воду не пропускал, и можно допустить, что водонепроницаемость его велика.

По докладу инж. Г. К. Дементьева были заданы вопросы:

1) Производились ли опыты на разрушение цемента углекислыми водами, что чаще всего имеется в нашей практике? Как полагает докладчик, какой тип цемента полезнее было бы применять в смысле тампонажа источников, насыщенных или пересыщенных углекислыми газами, напр., типа Нарзана. Нам приходилось применять тампонаж для Нарзана и мы применяли обыкновенный портланд-цемент.

2) Не может ли газовое содержание водовода, плюс возможность проникновения воды, дать комплекс таких явлений, которые создадут новое растворяющее на бетон действие, если мы имеем неполное заполнение трубопровода? В Шолларском водопроводе газовый объем очень велик и принимает ли он большое участие в растворимых действиях?

Г. К. Дементьев. Опытов по вопросу о влиянии на цемент углекислой воды не делалось, но я могу сказать, что, вероятно, углекислые воды могут действовать и очень плохо и очень хорошо. Если они способны создать непроницаемую корку углекислого кальция на теле бетона, то дальнейшее действие будет парализовано; если будет воздействие воды, содержащей кислые карбонаты, то может произойти растворение извести.

Что касается того, какой тип цемента предпочтительнее, я могу сказать относительно общих факторов, которые я стремился узнать; всякий цемент, который твердеет быстро, является наиболее устойчивым. Конечно, влияние почвенной воды может быть суб'ективное.

но это влияние сводится или к процессу повышенного растворения извести или к тем изменениям, которые сопряжены со сменой об'ема.

Желательно ли изучение таких почвенных вод? Несомненно желательно тем более, что в настоящее время мы анализом почвенных вод располагаем в скудном количестве. Соотношения солей в этих водах мы не знаем. Кроме того, нами не изучены эти воды с точки зрения содержания различных веществ, к которым относятся продукты нефти, растворенные газы, некоторые вещества, как бромистая сода. Таким образом, анализ почвенной воды является чрезвычайно важным и по районам и по горизонтам.

Что касается того газового об'ема, который находится в Бакинском водоводе, то я должен сказать, что несомненно еще очень много факторов, которые там действуют так или иначе на тело бетона, но с этой точки зрения мне неизвестно, чтобы производились опыты или исследования. Те исследования, которые были сделаны, являются первичными, ориентировочными и указывают только, что там происходит какой то процесс, который вызывает нежелательные явления. Но эти опыты не являются исчерпывающими, а только указывают определенную необходимость дальнейшего исследования.

По докладу инж. В. Э. Новодворского.

Н. И. Надеждинский. Я хотел сделать маленькое заявление по частному вопросу, который проник в два доклада. Это — применение асфальта в целях предохранения бетона от разрушения. Я сам считаю достаточно полезным этот способ предохранения, но по тем данным, которыми я располагаю, полагаю необходимым предупредить от слишком доверчивого отношения к этой мере и вот на каких основаниях: последние работы немецкого профессора Меркефа и русского А. Н. Саханова показали, что асфальт состоит из 3-х частей: асфальтина или твердого асфальта, нейтральных смол и масел. Асфальтин обуславливает твердость асфальта, смолы—вязкость, очень валкую при предохранительной мере в этом деле и масла понижают своим количеством действие смол. В процессах изменения химического состава асфальта происходит постепенное окисление частиц, в результате чего количество смол уменьшается. Другими словами, асфальт постепенно приобретает хрупкость, твердость, способность трескаться и, таким образом, с течением времени он подвергается разрушениям. Следовательно, асфальт, как мера предохранения бетона от воздействия на него разных реагентов, не может считаться мерой долговечной, мерой, которая могла бы надолго предохранить действие на бетон этих реагентов. Поэтому я хотел бы предупредить о слишком³ доверчивом отношении к асфальту и сказать, что с моей точки зрения нужно считать те меры наиболее рациональными и правильно решающими вопрос, которые основаны на связывании этих свободных окислов, вернее—гидрата окисла кальция, которые должны образоваться в результате твердения цемента.

Л. Н. Диасамидзе. Должен указать из практики, что смолистые вещества не всегда твердо сопротивляются солончакам. Если мы возьмем керосино-провод, то увидим, что он тоже раз'еден, и придется устанавливать совершенно новую линию через Шемаху. Правда, это сокращает дорогу на несколько верст, но это требует большой суммы денег, и это служит показателем того, что смолистые вещества не так хорошо сопротивляются солончакам.

Н. И. Надеждинский. Второе заявление я хотел бы сделать по поводу действия сернистых вод на бетон. Из своей маленькой практики, я хотел бы поделиться следующим фактом. В Горячеводске, около Грозного, имеются сернистые источники. Эти горячие источники служат не только для лечебных целей, но и для питья. Эта вода охлаждается, а потом употребляется для питья и хозяйственных целей. Но так как сернистая вода способствует быстрому раз'еданию железа, то нередко случаи утечки воды и вода поступает в грунт. В тех случаях, когда штукатурка покрыта масляной краской и на нее действует эта вода, наблюдается такое явление: появляются маленькие пузырьки, постепенно увеличивающиеся, доходят до 5 сантим. диаметром и начинают лопаться; когда штукатурка освобождается от масляной пленки, то внутри ее оказывается серно-кислая соль, т.-е. гипс, который произвел это разрушение.

Таким образом, это наблюдение подтверждает вообще явление разрушаемости цементного раствора, в котором находится сернистая соль.

Председатель. Имеются некоторые соединения асфальта настолько прочные, что безусловно предохраняют бетон от разрушения. Это, между прочим, следовало из одного доклада проф. Лахтина. Поэтому здесь все-таки следует быть осторожным и утверждать, что таких соединений нет—у нас оснований не имеется.

П. А. Велихов. По поводу заявлений, инж. Надеждинского я предлагал бы внести заявление. Особое внимание должно быть обращено на производство работы асфальтовых веществ разного рода, как изолирующих, предпослав этой работе производственную анкету В. Э. Новодворского. Необходимо, чтобы Водопроводный С'езд высказал пожелание о производстве глиноземистого цемента в Союзе, тем более, что к этому представляется полная возможность. Необходимо отметить, что глиноземистый цемент конкурирует в некотором отношении с высокосортным портланд цементом нормального вида. Производство глиноземистого цемента в Союзе необходимо, чтобы быть вне зависимости от Франции и других стран.

А. А. Байков. Здесь высказывались, что для тампонирования скважин нужен быстро схватывающий цемент. Я с этим не согласен. Для тампонирования скважин нужен медленно схватывающий цемент, а глиноземистый цемент—не медленно схватывающий. Для буровых скважин понадобится 6—7 часов для схватывания, а затвердение должно произойти очень быстро. В этом отношении высокосортный

тампоначный цемент характеризуется такими свойствами, что он вызывает медленное начало схватывания и быстрое отверждение, и в том смысле они являются более подходящими для тампонирования буровых скважин. Но так как качество глиноземистого цемента еще далеко не установлено, тем более, что цемент этот молодой, не имеет даже 10 летнего возраста (первые работы по изготовлению глиноземистого цемента относятся к 1910 г., а заводское производство и практическое применение началось в 15—16 г.), я бы предложил высказываться об этом осторожнее. Говорить о том, что необходимо поставить производство этого цемента, было бы пожалуй, преждевременно потому, что производство этого цемента все-таки есть предприятие очень дорогое, ибо этот цемент даже за границей стоит в два-три раза дороже портланд-цемента, а у нас будет стоить еще дороже потому, что и материал находится в месте неудобном для разработки в смысле добычи и запаса и в смысле доставки в промышленные районы. В виду этого желательно высказаться не о производстве этого цемента у нас в Союзе, а о практическом изучении этого цемента применительно к различным техническим целям.

Голос. Существует специальная комиссия по изучению бокситов, и можно будет вынести такого рода пожелание, чтобы Постоянное Бюро вошло в сношение с этой Комиссией.

А. Н. Шахназаров. Тампоначный цемент схватывается при других условиях, чем строительный цемент. Требования, предъявляемые к цементу, следующие: чтобы начало схватывания было 4 или 5 часов потому, что тампонирование происходит в течение 4—5 часов и, самое главное, что цементируются не при нормальной консистенции, а при 80% консистенции, и требования, предъявляемые к этому цементу, должны быть таковы, чтобы на разрыве было около 25 килогр. на квадратный сантиметр.

П. А. Велихов. По поводу глиноземистого цемента я вижу из прений, что достаточно было бы ограничиться тем упоминанием, которое имеется в проекте в п. 4, где сказано, обратить особое внимание на цемент пуццолановый и глиноземистый, и предложение ввести отдельный пункт 5-й я снимаю тем более, что третий С'езд уже высказался за желательность этого производства. Мне хотелось бы сказать несколько слов в защиту глиноземистого цемента. Проф. А. А. Байков говорит, что нужно очень осторожно относиться к этому цементу. Но его испытаний произведено очень много во Франции, Англии и Америке, и в результате остановились на его применении. Кроме того, у нас имеются сведения о бетонных постройках, осуществленных несколько лет тому назад и я думаю, что опасаться их разрушения в будущем, нет никаких оснований. Американские постройки доказали, что его качество прочно и надежно, и поэтому я думаю, желательно было бы подчеркнуть, что именно на этот цемент нужно обращать больше внимания, именно такое внимание, какое обращает Англия; мы же пока обращаем меньше внимания.

Постановление С'езда по докладам проф. П. А. Велихова, проф. А. А. Байкова, инж. Г. К. Дементьева, проф. В. А. Дроздова и инж. В. Э. Новодворск ого.

1. С'езд высказывает пожелание, чтобы Постоянное Бюро установило и поддерживало постоянный контакт с нормативными учреждениями Союза, работы которых затрагивают области, имеющие отношение к санитарной технике, для согласования соответственных норм с достижениями, нуждами и запросами этой отрасли техники.

2. В частности С'езд поручает Постоянному Бюро пересмотр ныне действующих норм по железобетону для согласования их с нуждами санитарной техники, предпослав этому производство соответствующей анкеты с тем, чтобы результат этой работы был доложен ближайшему С'езду.

3. Для изучения влияния грунтовых и канализационных вод, а также других химических реагентов на бетоны разного состава, в частности, на бетоны, изготовленные на пуццолановых, трассовых и глиноземистых цементах или имеющие в своем составе специальные примеси, С'езд полагает целесообразной организацию специальных опытов, поручая Постоянному Бюро разработку программы их, изыскание средств и самое осуществление их, высказывая пожелание о том, чтобы достигнутые результаты были доложены ближайшему С'езду. В частности особое внимание при этих опытах должно быть обращено на изучение работы асфальтовых веществ разного рода, как изолирующих материалов.

Доклад инж. А. Н. МЯМИНА.

Дефекты водовода «Шоллар-Баку».

Доложено в пленарном заседании С'езда 26 апреля 1925 г.

Председатель *Д. С. Черкес.*

Настоящий информационный доклад имеет целью дать сведения о дефектах водовода «Шоллар-Баку», выяснить причины их возникновения, сообщить о принятых мерах и получить от с'езда компетентные указания в отношении дальнейшей работы по ликвидации этих дефектов.

Для более правильного суждения о них, необходимо предварительно познакомиться с общей конструкцией водовода «Шоллар-Баку» и с некоторыми данными его постройки.

Общее протяжение водовода, от Сборного-Межевого колодца артезианской воды в Шоллере до резервуаров +110 в Баку, составляет 186,60832 километров.

По своей конструкции он не однороден, а именно:

1. На протяжении 147,09373 килом., от Сборного-Межевого колодца (в Шоллере)—до Насосной станции (близ Сумгаита), водовод—бетонный, набивной, в пропорции 1:2:4, яйцевидного сечения 120×170 см., самотечный, со средним уклоном 1:2750. В его состав

входят также 30 чугунных дуккеров $D=1200$ мм, со средними гидравлическими уклонами 1:1500, расположенные в местах пересечения водоводом речек и оврагов и имеющие общее протяжение 7,60927 кил.

При каждом дуккере, в начале и в конце его, имеются бетонные надстройки в виде входных и выходных башен. Из числа названных дуккеров 26 расположены в северной половине водовода, между ст. Худатом и Кизил-Буруном, а 4 в южной, между Кизил-Буруном и ст. Насосной. В число последних входит большой дуккер «Ата-Чай» (№ 4), длиной 5.213,89 метров непосредственно переходящий в бетонный туннельный провод того же наименования, протяжением 790 метров и уклоном 1.1000. Бетонный туннель «Ата-Чай», имея профиль 220×280 см., конструирован для пропуска воды по крытому лотку с профилем 120×100 см., а также для свободного прохода по боковой, ходовой, его части. Пропускная мощность этого участка водовода в целом = 6.000.000 ведер воды в сутки (при высоте слоя воды в 116 сантим.).

2. От насосной станции (близ Сумгаита) до изливной камеры (близ Хурдалана), на протяжении 18.746,78 метров, проложен чугунный напорный провод $D=800$ мм, при чем через р. Сумгаит-Чай он переброшен не в виде дуккера, а посредством бетонного крытого моста акведука, длиной 50,80 метр., где чугунные раструбные трубы заменены стальными заварными фланцевыми трубами того же диаметра (вн. $D=814$ мм).

Пропускная расчетная мощность напорного провода = 3.000.000 ведер воды в сутки, при полной высоте под'ема воды $H=140$ метров (при подаче же 1.500.000 ведер воды в сутки, гидродинамический напор на станции $H=122,5$ метр).

3. Далее, от Изливной Камеры (близ Хурдалана) до приемных городских резервуаров +110 метров (над уровн. Касп. моря) в Баку, водовод—снова самотечный. В его общее протяжение 20,76781 кил. входят:

а) бетонный водовод (набивной состав 1:2:4) яйцевидной профили 100×150 см., протяжением 15,33131 килом. с уклоном 1:1500,

б) такой же, но уширенной профили 120×150 см. на протяжении 1,09950 кил. с уклоном 1:1000,

в) чугунный провод $D=1200$ мм протяжением 260 метров (в районе нефтяных Хурдаланских пластов) при уклоне 1:1500,

г) чугунный дуккер «Гаджи-Гасан» $D=800$ мм, протяжением 3,307 кил., со средним гидравлическим уклоном 1:750,

д) «Баладжарский» бетонный тоннель, сечением 220×280 см., прорезывающий Баладжарскую возвышенность на протяжении 770 метров, с уклоном 1:1000, при чем тоннель этот той же конструкции, что и «Атачаевский».

Таким образом, пропускная мощность этого конечного участка водовода не однообразна, т.к. его бетонная часть обладает пропускной способностью = 6 000.000 ведер воды в сутки, дуккер же «Гаджи-Гасан» может пропустить всего лишь 3.000.000 ведер воды в сутки.

При постройке водовода «Шоллар-Баку» приходилось во время рытья траншей применять водоотливы и порохострельные работы.

Вся северная часть этого водовода, на протяжении около 60 верст, считая от Шоллара, проходит по болотистой равнине с высоким уровнем грунтовых вод. Здесь, при производстве работ, пришлось применить максимум напряжения для откачки воды (центробежными и паровыми насосами) и отводя ее дренажами, при чем дренажные трубы закладывались под водоводом по всей его длине.

Крепления траншей, достигавших глубины 13 метров, были иногда, вследствие плывунов, весьма сложной конструкции; часто также применялись при этих работах и шпунты.

При постройке южной части водовода у подножия горного отрога, а также при постройке тоннелей «Ата-Чай», между Кизил-Буруном и Сиазанью, и «Баладжарского», применялись порохострельные работы в весьма мощных каменных пластах.

По линии водовода, через каждые 600 метров, устроены входные колодцы для его осмотра, а между входными колодцами (на случай сложных ремонтов водовода), по три глухих, перекрытых крышками и засыпанных землей, колодца, при чем до глубины 7 метров крышки применялись бетонные, а свыше 7 метров чугунные, ребристые.

На своем протяжении водовод «Шоллар-Баку» пересекает полотно жел. дороги в 9 местах, имея над собою каменные мостовые арки.

Для соблюдения точного уклона водовода, через каждые $\frac{1}{2}$ кил. заложены были специальные реперы, состоящие из врытых в землю каменных столбов с пирамидальной вершиной, внутрь которой вделан железный стержень с выступающей полукруглой центрированной головкой. Реперы эти поставлены на твердом основании, связаны между собою и линией водовода засечками, с точным показанием на планшетах румбов и азимутов их.

Кроме этих обычных реперов, были заложены особые, контрольные, реперы на весьма прочных основаниях, тщательно выверенные специальной комиссией инженеров-геодезистов.

Остается отметить еще, что работы по постройке водовода «Шоллар-Баку» были начаты в августе 1912 года и закончены к 1-му января 1917 года, после чего состоялось включение водовода на всем его протяжении в нормальную эксплуатационную работу.

На основании имеющихся в водопроводном архиве документов, видно, что еще во время постройки водовода не все было благополучно, и во многих случаях наблюдались различные дефекты при выполнении бетонных, глинообкладных и штукатурных работ, в отношении которых различными Комиссиями производились расследования, а строителями водовода давались заключения.

1) В отношении бетонных работ:

а) По вопросу об образовавшихся трещинах в водоводе, было заявлено, что инженер В. В. Линдлей в заграничных работах своих производил ряд опытов для выяснения этого вопроса

и пришел к тому заключению, что трещины эти,—при длине водовода от 6—10 метров,—неизбежны и являются результатом изменения объема бетона при его схватывании; при меньших же длинах бетонных сооружений они не наблюдаются.

б) По вопросу о проникании почвенной воды в водовод было дано разъяснение, что таковое просачивание воды внутрь водовода наблюдается в местах с незаконченными штукатурными работами и происходит, главным образом, в швах сопряжения бетонного пода со стенками водовода.

Наблюдавшийся же случай стояния воды в водоводе высотой до 40 см. был объяснен накоплением воды не только от просачивания ее через стенки, но, главным образом, от проникновения грунтовых вод через открытые части водовода и образования в конце водовода запруды.

Комиссия с такими объяснениями однако не согласилась и признала, что проникание грунтовой воды в водовод происходит от неудовлетворительного исполнения бетонных работ.

в) По вопросу о спуске в траншее изготовленного снаружи бетона по деревянным желобам, Комиссия пришла к заключению, что во многих местах уклон желобов допускается большой, и ставятся таковые слишком высоко, вследствие чего бетон распадается на свои составные части.

г) По вопросу об образовании трещин в тоннеле «Ата-Чай», было заявлено, что трещины в тоннеле, как и в водоводе, являются следствием молекулярных усилий, образующихся в бетоне, что трещины эти впоследствии будут покрыты штукатуркой, и никакой опасности собою не представляют.

2) В отношении глино-обкладочных работ:

а) По вопросу о возможности изменения внешней формы глиняной обкладки при трамбовании земли, было дано заключение, что можно бы это проверить раскрытием засыпанной траншеи, но что это сопряжено с большими расходами по откачке воды.

Управа же распорядилась: впредь, до выяснения результатов проверки, исполнять обкладку глиной, по возможности, более густой консистенции.

3) В отношении штукатурных работ:

а) По вопросу об образовании мелких волосных трещин, было дано разъяснение, что волосные трещины на водонепроницаемость не могут иметь никакого влияния, а образование их объясняется металлизацией цемента, т.-е. перегревом тех мест, где притирка штукатурки производилась слишком сильно. Комиссия эти соображения разделила и пришла к заключению, что образование волосных трещин опасности в смысле проникания через них воды иметь не может.

б) По вопросу о приемачивании поверхности штукатурки, было заявлено, что, в виду производства штукатурки в сырых местах, смачивания ее не требуется, но тем не менее требование об этом уже предъявлено подрядчику.

в) По вопросу об отстаивании внутренней штукатурки водовода, было заявлено, что такие места выламываются и вновь исправляются, исправленные же места берутся под наблюдение.

г) По вопросу об образовании мокрых пятен на штукатурке, появление таковых приписывается конденсации влажного воздуха, комиссия, однако, с этим не согласилась и произвела анализ воды, появившейся на штукатурке водовода.

д) По вопросу о штукатурке свода водовода снаружи, с целью воспрепятствовать прониканию в водовод грунтовых вод, было заявлено, что покрытие свода водовода асфальтовым слоем толщиной 20 мм предположено только в тех местах, где водовод пересекается небольшими речками и канавами, что покрытие кружал железными листами даст такую гладкую внутреннюю поверхность свода, что едва ли вода через нее проникнет; если же в будущем и произойдет просачивание воды, то всегда имеется возможность устранить его изнутри.

Но в данном случае мнения разделились, так как другое ответственное по постройке лицо полагало, что вода главным образом, проходит в местах стыков. Управа, присоединяясь к этому, постановила, что штукатурка свода снаружи или асфальтовое перекрытие его, вызывающие большие расходы, являются преждевременными.

4) В отношении же устройства дренажа, предполагавшегося для понижения уровня грунтовых вод, вопрос решается отрицательно отчасти из экономических соображений (сметная стоимость 300.000 руб.), отчасти из просто-соображений, что если готовый водовод окажется проницаемым, то всегда имеется возможность воспрепятствовать прониканию в него грунтовых вод посредством внутренней штукатурки, тем более, что если даже на первых порах и будет наблюдаться просачивание грунтовых вод, то увлекаемая водой глина закупорит впоследствии имеющиеся в бетоне поры, и, таким образом, дальнейшее проникание воды само собой может прекратиться.

Приводимая ниже выдержка из одного донесения старшего технического надзора, описывающая состояние построенной части бетонного водовода на Дивичинском участке, является характерной обрисовкой тех дефектов, которые отмечались и на других его участках; а именно: «Почти во всех местах, где водовод проходит ниже уровня грунтовых вод, замечается просачивание воды в водовод по горизонтальным швам, между подом водовода и его стенками. Шов этот является самым слабым, хуже всего исполняемым, мостом нашего водовода».

Во время установки деревянных форм для стенок по готовому уже бетонному поду водовода, за формы, между обшивкой формы и стенками траншеи, насыпается сверху земля.

Удалить оттуда, с поверхности бетона, эту землю, превращающуюся в грязь, в виду слишком узкого пространства между формой и стенкой траншеи и довольно значительной высоты формы, — нет никакой возможности; это плохо удается, не смотря на применение специальных лопат, метел и стальных щеток.

Всегда на бетоне пода остается тонкая пленка глинистой грязи, которая держится так крепко, что смыть ее поливанием воды сверху не удается.

Этот тонкий слой грязи раз'единяет бетон пода и стенок у их основания и служит проводником для грунтовых вод при их проникании в водовод.

Перед накладыванием штукатурки шов этот по внутренней поверхности водовода на 2—4 сантиметра вырубается и его заполняют раствором. Эта мера однако же недостаточно обеспечивает водовод от просачивания воды, а раз'единение бетона пода водовода от бетона стенок вредно должно отразиться на прочности сооружений».

Были и такие случаи, когда, благодаря уменьшению водоотливных работ из траншей, вода заливала не только траншеи, но даже и часть уже готового водовода, при чем особенно много этой воды было на уч. Дивичи.

Все эти выдержки из архивных документов приведены здесь мною для того, чтобы, хотя приблизительно, осветить картину постройки бетонного водовода в прошлом и чтобы связать ее с теми печальными результатами, какие мы наблюдали в недалеком прошлом и наблюдаем в настоящем.

В перюд эксплуатационного времени с 1918 по 1922 г. на многих участках водовода, особенно в местах с высоким уровнем грунтовых вод, происходило выпучивание цементной штукатурки и образование в стенах трещин.

Меры, принимавшиеся для ликвидации этих дефектов, заключались в очистке пораженных мест от старой штукатурки, расчистке и вырубке свищей и трещин и заделке их новой цементной штукатуркой нормального состава 1:2.

Признанным же больным участком водовода считался лишь Сиазанский его участок, на протяжении 60—63 километров (между ст. Сиазань и Кизил-Бурун), где, вследствие высокого уровня почвенных вод и солончаковой почвы, происходило непрерывное раз'едание бетона почвенными солями, с образованием больших свищей и трещин в своде, стенках и поде водовода.

Ремонт этого «больного» участка производился периодически в зависимости от его осмотра.

Здесь следует отметить, что за время эксплуатации Шолларского водопровода с 1917 г. по 1923 г. о действительном состоянии водовода

снаружи и внутри на всем его протяжении не все было известно, так как программных, единовременных, осмотров его на всем протяжении за это время не производилось по разным причинам, главным образом, вследствие гражданской войны, во время которой технический надзор за водоводом, между насосной и Шолларом, был вообще слаб, а также вследствие других неотложных работ и ремонтов, связанных с восстановлением технического обслуживания водовода, с возобновлением бурения в Шолларе, с пожаром насосной ст. и т. д. и т. д.

И только в 1923 году, когда наладилось техническое обслуживание водопровода в целом, по инициативе заведующего отделом водоснабжения были снаряжены две экспедиции, для детального обследования водовода на всем его протяжении, как снаружи, так и внутри: одна от Шоллара до насосной станции и другая от изливной камеры до резервуара + 110.

Выйдя походным порядком из Шоллара 22 мая 1923 г. и прибыв в насосную станцию 5 июня, первая комиссия детально осмотрела порученный ей участок водовода протяжением около 144 километров; вторая комиссия произвела осмотр своего участка, изливная камера резервуара + 110, протяжением около 21 километра, за время с 16 по 18 июня 1923 года.

Мне пришлось принять личное участие в первой экспедиции (Шоллар - насосная), в качестве председателя комиссии, которая, произведя детальный осмотр всего порученного ей участка водовода, как снаружи, так и внутри, обнаружила во многих случаях неисправное состояние и загрязнение его, как внутри, так и снаружи, а местами и весьма серьезные повреждения катастрофического характера.

Все эти дефекты были подробно отмечены в полевом журнале Комиссии, при чем для ликвидации нескольких серьезных дефектов были приняты соответствующие меры.

В общем, наружные неисправности и дефекты водовода заключались: в просадке траншей водовода, в подмывах речками земляных насыпей у нескольких входных или выходных башен дуккеров, в повреждении старых бетонных лотков и отсутствии таковых в нужных местах для пропуска атмосферных и оросительных вод через насыпь по траншее водовода, в отсутствии для тех же целей кюветов вдоль водовода, в загрязнении входных и выходных башен дуккеров, а также самого водовода через входные в него колодцы, вследствие повреждения на них люков окрестными сельчанами и разборки оттуда воды ведрами.

Также была обнаружена запущенность и неисправность задвижек водовода каналового типа и обслуживающих их ручных механизмов (передач) в дуккерных башнях, засорение выпусков, запашка и засев крестьянами полосы отчуждения водовода и пр. пр.

Другими словами, была констатирована крупная запущенность и недостаточный технический надзор за водоводом, что в общем сравнительно легко ликвидировать принятием соответствующих мер.

К более серьезным дефектам водовода надлежит отнести его внутренние повреждения, которые, фиксируя их по течению воды в водоводе, т. е. в направлении от Шоллара до Насосной, начинаются с 138-го его километра (район высокого уровня грунтовых вод) и заключались в следующем:

От 138-го кил. до первой трети 137 кил.: водовод внутри по всей площади покрыт осадками почвенных солей белого цвета, которые, по характеру своего расположения, указали на имевшиеся в большом количестве трещины в бетоне, пропускавшие внутрь почвенные воды и в настоящее время отчасти затянувшиеся солями.

Со второй трети 136-го кил. и до начала 132 кил.—трещины и свищи с незначительным пропуском грунтовой воды внутрь водовода.

В середине 130 кил.,—два свища, один в своде и другой на шведе со стеной,—пропускавшие почвенную воду во внутрь водовода.

В начале 127-го кил.:—свищи с осадками солей.

В середине 126-го кил.:—повреждена внутренняя штукатурка.

В самом начале 124-го кил.:—в водоводе две кольцевые трещины.

В середине 123-го кил.:—четыре кольцевых трещины.

В начале 122-го кил.:—три кольцевых трещины.

В середине 121 кил.:—трещины и осадки солей на стенах водовода.

В конце 120-го кил.:—одна кольцевая трещина.

В середине 120-го кил.:—шесть кольцевых трещин.

В начале 120-го кил.:—пять

В конце 119-го кил.:—трещины в стенах и повреждена штукатурка.

Голов. камера дуккера № 11:—трещины в шведе присоединения камеры к водоводу.

С первой половины 119-го кил. и до конца 118-го кил.:—трещины и свищи.

С конца 118-го кил. до середины 117 кил.:—трещины и свищи, пропускавшие почвенную воду.

С конца 113-го кил. до середины его:—трещины, свищи и осадки солей.

В конце 112-го кил.:—повреждена штукатурка.

В средней части 112-го кил.:—свищи, трещины и осадки солей.

В средней части 111-го кил.:—повреждена штукатурка.

В начале 111-го кил.:—трещины, кольцевые и продольные, с повреждением штукатурки.

В начале 110-го кил.:—трещины, свищи и осадки солей.

В середине 109-го кил.:—продольные и поперечные трещины с обильными осадками солей и повреждением штукатурки.

В конце 108-го кил.:—трещины, свищи и осадки солей.

От последней четверти 107-го кил. и до последней четверти 106-го кил.:—трещины и осадки солей.

От последней четверти 106-го кил. и до его середины:—местами повреждение штукатурки.

От середины 106-го кил. и до начала 105-го кил.:—трещины, свищи повреждения штукатурки и осадки солей в большом количестве на стенах и особенно в лотке водовода.

От дуккера № 9, т. е. с конца 104-го кил. и до его середины:—кольцевые и продольные трещины и обильные осадки солей.

С начала 104-го кил. до конца 103-го кил.:—сталактиты на много численных, затянувшихся трещинах дна и стен повреждения штука турки.

В последних трех четвертях 103-го кил.: — трещины, свищи и сталактиты.

В первой четверти 103-го кил. и в первой половине 102-го кил.:—трещины и осадки солей.

От вентиляционной шахты в середине 99-го кил. и до его начала:—волосные трещины, продольные и кольцевые.

От середины 96-го кил. и до конца 95-го кил.:—то же со сталактитами.

На первой трети 95-го кил. и на последней четверти 94-го кил.:—трещины продольные, волосные.

На первой четверти 92-го кил. и во второй половине 91-го кил.:—свод сильно пропускает грунтовую воду.

В первой половине 91-го кил.:—трещины и свищи.

Во второй половине 90-го кил.:—трещины, свищи и соли.

В первой половине 90-го кил.:—только кольцевые трещины.

В конце 89-го кил.:—трещины кольцевые и продольные и свищи, при чем на протяжении двух метров с пропуском воды и осадками солей.

С конца 89-го кил. до конца 86 кил., т.е. на протяжении около трех километров:—трещины и свищи в своде и стенах.

В первой четверти 86-го кил. и во второй половине 85-го кил.:—то же и осадки солей.

Во второй половине 84-го кил.:—волосные трещины и осадки солей.

В первой половине 84-го кил.:—волосные трещины и осадки солей.

В первой половине 84-го кил. и в последней четверти:—продольные трещины и свищи, при чем в конце этого километра повреждены штукатурка и бетон.

Далее до первой трети 83-го кил.:—волосные трещины, продольные и кольцевые.

С 82,369 кил. до 81,865 кил., т.е. на протяжении 504 метра:—трещины с ясно выраженным перерождением бетона под влиянием солей. Этот участок является единственным такого рода во всей северной части водовода, представляя собою начальную стадию разрушения водовода солями.

В первой четверти 82-го кил. и во второй половине 81-го кил.:—сплошные сквозные трещины штукатурки и бетона.

В первой половине 81-го кил.:—трещины, свищи, повреждения штукатурки и осадки солей.

От кил. 79,131 до кил. 77,259, т.е. на протяжении 1842 метров:— водовод внутри совершенно не оштукатурен.

В последних трех четвертях 78-го кил.:— имеются трещины и свищи.

В первой трети 77-го кил. и во второй половине 76-го кил.:— кольцевые и продольные трещины с прорастанием насквозь корней дерева.

В первой половине 76-го кил.:— кольцевые и продольные трещины.

Во второй половине 75-го кил.:— трещины и повреждения штукатурки.

Во второй половине 72-го кил.:— одна кольцевая трещина.

В отношении Дуккера № 4 «Ата-Чай» (между 68,949 кил. и 63,736 килом.):— не закончена постройкой шахта выпуска, обнаружены размывы и просадки этого выпуска, залит водою вантуз, нет шахты на 2-й задвижке выпуска, сильный размыв у этой задвижки, вследствие ее течи. Обнаружена сплошная запашка на 67, 66 и 65 километрам, а также отсутствие кюветов и дороги вдоль дуккера.

Сломан шпindel задвижки 500 м/м и она выведена из строя.

Тоннель «Ата-Чай» (между 63,736 и 62,946 килом.) на всем протяжении в 790 метров:— имеет довольно равномерно распределенные 103 кольцевых трещины. Боковые стены тоннеля, его ходовая часть и самый поток для воды, на протяжении 25 метров от Концевой Камеры тоннеля, имеют продольные трещины.

Бетон, раз'едаемый почвенными солями, деформируется. Концевая Камера тоннеля в своей нижней части также раз'едается солями.

От конца 63-го кил. до первой трети 60-го кил.:— т.е. на протяжении около трех с половиною кил.:— водовод найден в опасном состоянии, так как его подстенки и свод, несмотря на ремонты их в прошлом, непрерывно все время перерождались, превращаясь, под действием почвенных солей, в рыхлую тестообразную массу. На всем этом участке водовод изборозжен продольными и кольцевыми трещинами и свищами. Местами он совершенно оголен от штукатурки, местами имеет выпучины и фонтанирующие струи подпочвенной воды. Осадки солей на его стенах и поде неоднородны, имея также различные цвета (краснобурый, белый и чернозеленый).

Причем в конце 61-го километра этого участка:— водовод на протяжении 5+2 метров найден был в катастрофическом состоянии, имея совершенно выпавшие части боковой стенки (обнажение до старых крепильных досок, оставшихся от постройки водовода), и в то же время отколовшийся в двух местах свод, непонятно задержавшийся от падения внутрь водовода.

Дальше, от первой трети 60-го кил. до начала 59-го кил.— водовод трещин не имеет и не раз'едается солями.

С начала 59-го кил. и до конца 57-го кил.:— в нем снова появляются волосные, кольцевые и продольные трещины и выпучины в поде. При чем во второй половине 57-го кил., на протяжении 450 метров, обнаружены четыре продольные трещины, шириною от 1 до 5 мм.

В последней четверти 56-го кил.:—одна кольцевая трещина.

В первой же половине 56-го кил.:—многочисленные, продольные и кольцевые трещины.

Во второй половине 55-го кил., на протяжении 100 метров:—продольные трещины, шириной от 3 до 10 мм, которые постепенно сужаются к началу 54-го кил., с появлением кольцевых трещин.

С конца 52-го кил. до его середины:—продольные трещины.

Во второй же половине 52-го кил. и на 51-м кил.:—обнаружены кольцевые и продольные трещины на протяжении 50 метров. Из них одна большая овальная трещина шириною от 5 до 12 м/м.

В начале 50-го кил.:—на стенках водовода трещины шириной до 25 м/м, протяжением около 50 метр., по обе стороны его.

Во второй половине 49-го кил.:—сквозные, продольные трещины на обоих стенках водовода.

В начале 47-го кил.:—одна кольцевая трещина.

С конца 46-го кил. до конца 43-го кил., т. е. на протяжении трех километров:—сквозные, кольцевые трещины, с прорастанием корней растений внутрь водовода (в середине 46-го километра) от входн. колодца № 295 в конце 43-го килом. до входн. колод. № 289 на 41,767 кил., т. е. на протяжении 1212 метров:—обнаружены были более серьезные повреждения водовода, а именно: сплошные, перекрещивающиеся, продольные и кольцевые, трещины, вызывающие опасность обвалов в этой части водовода, при чем в последней четверти 42-го кил., на протяжении восьми метров, эти трещины, дойдя до ширины в 100 мм., вызвали полное отделение пола и стен от свода водовода и привели его в катастрофическое состояние, так как на этом участке произошел полный разрыв водовода, со снесом его лотка и вертикальной плоскости на 100 мм. и смещением в горизонтальной плоскости.

В начале же 42-го кил.:—только одна кольцевая трещина.

Во второй половине 41-го кил., на протяжении 150 метров:—сквозные, кольцевые и продольные, трещины, шириною до 25 м/м.

В первой половине 41-го кил. также на протяжении 150 метров:—восемь кольцевых трещин и крупные продольные, сквозные трещины шириною до 25 м/м, главным образом, в сопряжениях стен со сводом и лотком.

В средней части 40-го кил., на протяжении 120 метров:—также сквозные трещины, кольцевые и продольные.

В начале 40-го кил. и в последней четверти 39-го кил.:—много сквозных, продольных, трещин на протяжении 300 метров.

В первой половине 39-го кил.:—продольные и кольцевые сквозные трещины, шириной до 15 м/м, через которые просачивается грунтовая вода, раз'едающая бетон.

В первой половине 37-го кил. и конце 36-го, всего на протяжении 150 метров:—обнаружены продольные, идущие в 4 ряда, сквозные трещины.

В первой половине 31-го кил. и в конце 33-го кил.: — перекрестные трещины и разрушение штукатурки.

В первой половине 33-го кил.: — одна кольцевая трещина.

Во второй половине 32-го кил.: — тоже.

В конце 31-го кил.: — тоже.

С конца 31-го кил. до первой трети его: — кольцевые трещины шириною до 1 м/м.

Дальше же, первая треть 31-го кил. и последняя четверть 30-го кил. водовода: — покрыты целою сетью волосных, кольцевых и продольных трещин.

В средней части 28-го кил.: — две кольцевые трещины.

Дальше же, первая треть 28-го кил. и последняя четверть 27-го кил. водовода: — сплошь покрыты продольными и кольцевыми трещинами шириною до 1 м/м, переходящими затем в волосные трещины.

В первых трех четвертях 27-го кил.: — водовод сплошь покрыт сетью в волосных, продольных и кольцевых, трещин.

В первых двух третях 21-го кил.: — обнаружены продольные и кольцевые трещины, протупанные на глубину штукатурки.

Начиная же от вход. колодца № 181¹ на 20,053 кил. до вентил. шахты на 18,230 кил., т. е. на протяжении 1823 метров: — водовод оказался серьезно поврежденным, имея сквозные, кольцевые и продольные, трещины, шириною до 25 м/м, при чем, приблизительно в середине 20-го кил., на протяжении 15 метров произошло разрушение водовода со сдвигами его стен и перекосами свода и пода, грозящее обвалом всего этого участка.

Входной колодец при нем № 178¹ также значительно пострадал, имея трещины в своде и стенах шириною до 80 м/м, а также сдвиги благодаря чему он оказался перекошенным и совершенно оторванным от водовода.

Одновременно с этим Комиссия заметила, что у исправного входного колодца № 181¹ (в начале 21-го кил.) уровень воды в водоводе был 47 сант. (считая от пода), а в разрушенном участке водовода уровень воды оказался равным всего лишь 18 сантим.

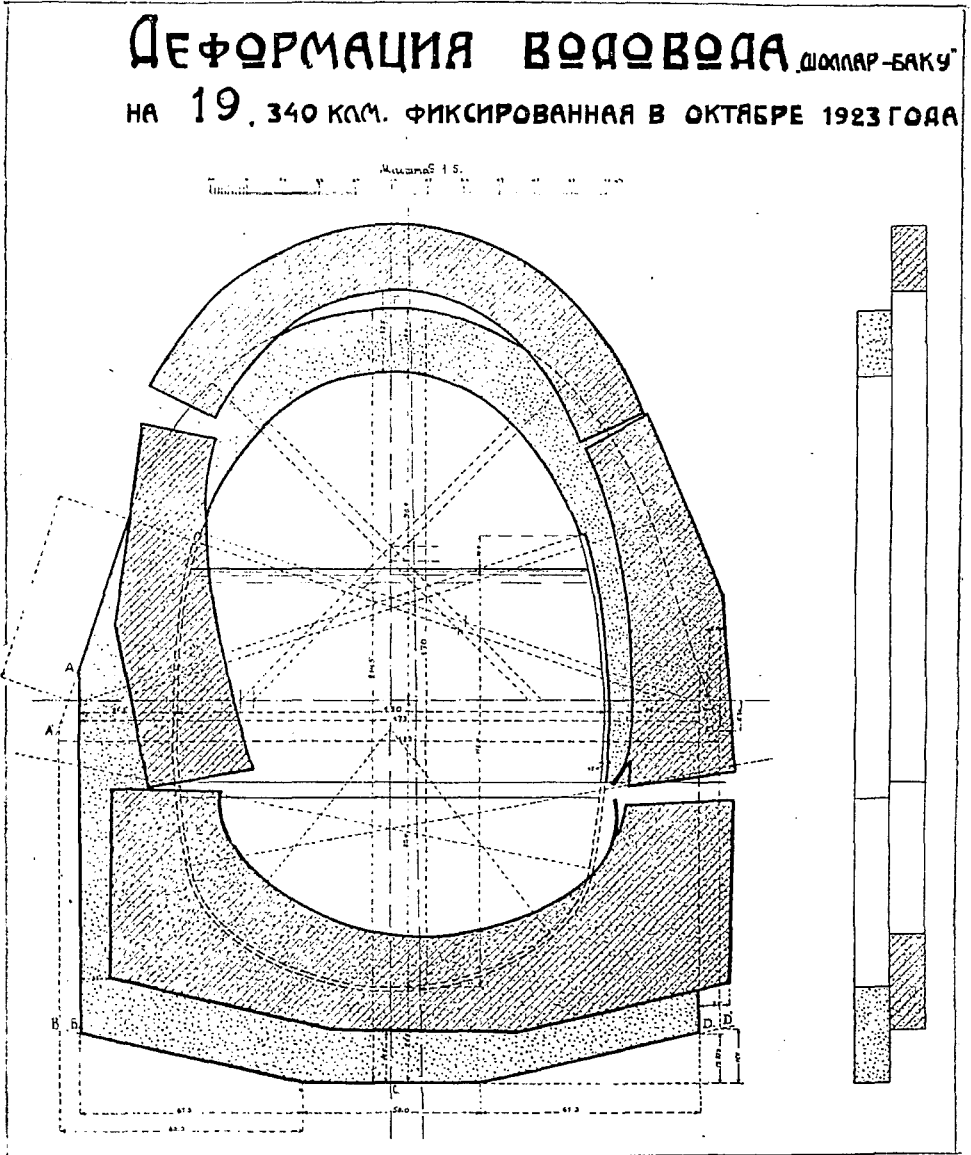
При наружном осмотре этого участка, в конце 20-го кил., обнаружена на большом протяжении глубокая трещина земли, шириною до 60 м/м, пересекающая водовод почти перпендикулярно и своим расположением соответствующая месту начала его разрушения.

От входного колодца № 178¹ до входн. колодца № 175¹, водовод на протяжении 608 метров: — весь в сквозных, перекрещивающихся, трещинах, при чем на протяжении 7,5 метров они имели ширину до 15 м/м.

Входной колодец № 175¹ не пострадал, но водовод между ним и вентиляционной шахтой, всего на протяжении 607 метров, поврежден, имея 4 и 6 продольных трещин, достигавших ширины 15 м/м оторвавших свод и под водовода от боковых стенок его и снесших их очти на 50 м/м.

От вентиляционной шахты 19-го кил. до входн. колодца № 169, в середине 18-го кил.:—в водоводе, на протяжении 250 метров, сквозные, кольцевые и продольные, трещины, при чем последние имели косое направление, от свода к полу, достигали ширины 15 м/м.

В первой половине 18-го кил.:—кольцевые и продольные трещины на протяжении 100 метров.



Во второй половине 17-го кил.:—трещины в водоводе шириною до 8 м/м, при чем на протяжении 100 метров сильно повреждена штукатурка.

От середины 17-го кил. до начала 16-го кил.—продольные трещины обнаружены лишь в швах сопряжения свода со стенами водовода, при

чем ширина их достигла 15 м/м. Кроме того замечено выпучивание стенок во внутрь водовода до 10 м/м.

Во второй половине 12-го кил.:—такие же продольные трещины, шириною до 6 м/м, отделяющие на протяжении 50 метров стены от свода.

Во второй половине 10-го кил.:—такие же продольные трещины, шириною до 5 м/м. на протяжении 50 метров.

В средней части 8-го кил.:—продольные трещины в стенах, шириною до 20 м/м, на протяжении 75 метров и там же одна кольцевая трещина.

Кроме того замечено выпучивание стенок во внутрь водовода на 10 м/м.

Во второй половине 7-го кил.:—продольные трещины, шириною до 5 м/м, отделяющие свод от стен водовода, на протяжении 75 метров. Кроме того на всем протяжении этого участка водовода кольцевые и продольные волосные трещины.

Начиная с середины 7-го километра и до Главн. Камеры Дуккера № 1 в конце 3-го кил.:—траншея вся значительно просела, а сам водовод, на всем этом протяжении в три с половиной килом., серьезно поврежден, будучи весь в трещинах, кольцевых и продольных, которые в начале этого участка—волосные, а по мере приближения к дуккеру № 1 все более и более уширяются, достигая 3—4 м/м в средней части 6-го кил., затем 5 м/м около середины 5-го километра и постепенно сужаясь к концу 5-го килом., до вх. колодца № 106, свод которого также разбит трещинами.

Между входными колодцами № 106 и № 103, на протяжении 612 метров:—продольные и кольцевые трещины достигают ширины 15 м/м при чем, располагаясь по нескольку в ряд, они вызвали в некоторых местах сдвиг стенок во внутрь водовода до 10 м/м.

При входн. колодце № 103 в сводах и стенах водовода и самого колодца:—обнаружена опасная трещина шириною до 50 м/м, на протяжении в 8 метров, разбившая водовод и колодец на отдельные части.

Между входн. колодцами № 103 и № 100, т. е. на протяжении 612 метров — водовод найден в опасном состоянии: он оказался покрытым сеткой сквозных, кольцевых и продольных, трещин, по нескольку в ряд, переходящих сверху вниз, одна в другую, зигзагами, при чем многие из них имели ширину 45 м/м и вызвали опасное наклонение боковых стен водовода во внутрь его на 15 м/м—30 мм.

Входной колодец № 100 также весь в трещинах шириною до 30 м/м.

От этого входн. колодца до дуккера № 1, т. е. на протяжении около 450 метров, :—водовод весь в трещинах, шириною до 30 м/м, идущих в 2—3 ряда с каждой его стороны.

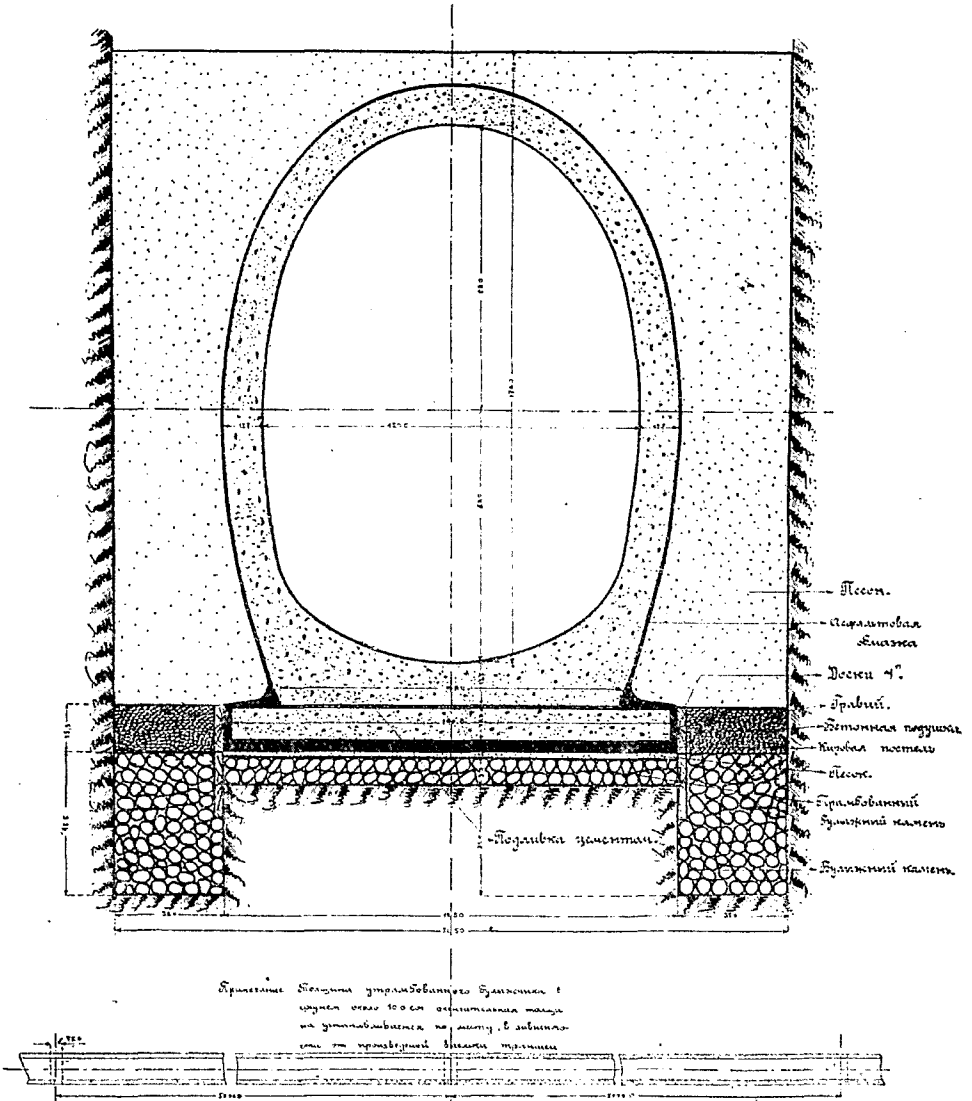
Дальше, от 3-го килом. до насосной ст.:—водовод осмотрен не был, вследствие невозможности прерывать работу станции и подпора воды на этом участке водовода высотой в 1,4 метра.

Здесь следует также отметить, что, проходя по условиям момента водовод от 5-го до 3-го километра, при полном нормальном наполне-

Поперечный профиль трубы и водовода из Джагеровских труб

для глубин до 4,0 метров от поверхности земли до пола водовода.
для пересмотрового его на 61—63 километр.

Масштаб 1:5.



нии его, Комиссия обнаружила в районе поврежденных мест колебания уровня воды в нем от 25 до 50 сантиметров.

Осмотром конца самотечного водовода, от изливной Камеры до Городских Резервуаров + 110, обнаружены были следующие повреждения его:

От изливной камеры на 20,658 кил. до 19,7 кил. (считая от резервуаров + 110): — водовод покрыт небольшими продольными трещинами.

Дальше, до середины 19 кил.: — такие трещины попадают лишь на коротких участках.

Начиная же со середины 19 кил. до первой четверти его: — водовод покрыт целой сетью трещин с опасным сдвигом боковых стен из первоначального их положения на 15 мм, а на протяжении 78 метров даже до 50 мм, при чем в этих трещинах бетон превратился в тестообразную массу.

Далее, до середины 14 кил., т.-е. на протяжении около 4,5 кил.: — на отдельных его участках лишь волосные продольные трещины в стенах на высоте пят свода.

От конца 13 кил. до конца 12 кил.: — продольные трещины в водоводе достигают ширины 15 мм, при чем в своде на протяжении этого километра обнаружены две сквозные дыры, свободно пропускавшие руку до грунта; на 12 же километре, кроме того, процесс раз'едания водовода солями, а именно:

Начиная от первой трети 12 кил. и кончая первой четвертью 11 кил.: — обнаружены более серьезные повреждения водовода, покрытого продольными трещинами, а именно в некоторых местах началось разрушение водовода, выражающееся отпаданием штукатурки с кусками бетона, вследствие его разрыхления на толщину до 100 мм.

В середине 11 килом.: — особенно сильно пострадал свод водовода на протяжении 16 метров; пострадали также глухие колодцы №№ 32, 33 и 34, в которых глубокие сквозные трещины длиною по 7 метров и серьезные разрушения боковых стенок.

В районе Хурдалана, начиная с 29 кил.: — водовод на протяжении 153 метров пересекает выходы нефтяных пластов. Здесь вместо бетонного водовода, проложен чугунный провод Д—1200 мм. В пяти трубах его, (при осмотре их изнутри) обнаружены в раструбах кольцевые, волосные трещины, в которых заметны следы мазута.

Далее вплоть до резервуаров: — водовод был найден вполне исправным.

Согласно вышеприведенным данным, подлежит сделать вывод, что бетонный водовод «Шоллар-Баку» представляет собою в общем ненадежное сооружение, поврежденное на довольно значительных участках своего протяжения.

Если разделить все обнаруженные в нем повреждения на три группы, а именно:

1. Трещины продольные и кольцевые, не представляющие собою угрозы разрушения водовода при отсутствии внешних побудительных причин.

2. Трещины водовода, представляющие угрозу разрушения водовода, даже при отсутствии внешних побудительных причин.

3. Раз'едание бетона почвенными солями—*то повреждения первого рода* проявились в общем на протяжении 49,836 метров бетонного водовода при общей длине последнего, включая туннели в 157.690 метров, что составляет 31,6%; *повреждения второго рода* проявились в общем на протяжении 5721 метр., что составляет по отношению ко всему бетонному водоводу включая и туннели, 3,63%; *повреждения третьего рода* (раз'едание бетона) проявились в общем на протяжении 4779 метров, что составляет по отношению ко всему бетонному водоводу, включая и туннели 3,03%.

Таким образом *общее протяжение неповрежденных частей бетонного водовода* составляет в общем всего (157690—49836—5721—4779) = 97354 метр., т.е. 61,74% в отношении полного протяжения бетонного водовода, включая и туннели.

Разделяя весь водовод «Шоллар-Баку» на две части: Северную (от Шоллара до Кизил-Буруна), с высоким уровнем грунтовых вод, и Южную (от Кизил-Буруна до Баку), с более низким уровнем грунтовых вод, мы должны прийти к заключению, что в своей *Северной части бетонный водовод пострадал меньше, чем в Южной*, где он подвергался и сильному раз'еданию почвенными солями и значительными деформациями, вследствие проявления внешних сил.

Из приведенных ранее архивных данных о постройке водовода видно, что последняя, производилась во многих случаях наспех (в силу военных событий и др. причин), а потому бетонные работы могли быть по своему выполнению неудовлетворительными, но все же столь значительные повреждения водовода, выразившиеся в его разрывах, сдвигах стен, поднятиях лотка и пр. могли произойти только вследствие геологических процессов, при чем резкое проявление таковых произошло по всей вероятности вскоре после лета 1921 года. Такое заключение основывается, во-первых, на сведениях, что при осмотре южной части водовода летом 1921 года, в районе от 43 кил. до Насосной станции, не наблюдалось такого опасного его состояния, а во-вторых, на покрытии краев трещин в подводной части лотков этих участков кристаллическими осадками солей сравнительно небольшой толщины, по сравнению с выделением осадков в других частях водовода, что свидетельствует о более позднем происхождении этих трещин.

Характерным является также и то обстоятельство, что *наибольшая деформация водовода произошла на 43 и 20 километрах его*, как раз в районах заложения водовода в скалистом грунте, у подножия горной возвышенности.

Вскоре, после обнаружения перечисленных выше опасных мест в водоводе, Отдел Водоснабжения приступил к ремонту их, расчистив

и укрепив распорками поврежденные солями участки водовода на 60—63 километрах, и произвел химические анализы:

- а) почвенной воды, проникающей в водовод,
- б) раз'едаемого ими бетона и
- в) прилегающих к нему грунтов.

Опасные места с повреждениями на 43 и 20 километрах водовода были предварительно укреплены, затем откопаны и отремонтированы точно так же, как и повреждения в конечной части водовода от Насосной ст. к городу.

Здесь следует отметить, что при производстве ремонта водовода на 20 километре в октябре 1923 года, т.-е. через пять месяцев после осмотра его Комиссией, были обнаружены инженером В. Э. Буйницким новые повреждения его, заключающиеся в том, что в средней части 19 километра, к северу от Вентиляц. Башни, на протяжении 200 метров, старые трещины шириною 25 мм. уширились до 40 мм, а снос лотка пода в вертикальной плоскости, отмеченный ранее в 50 мм, увеличился до 120 мм, с одновременным уширением щелей между лотком водовода и его стенами с 15 мм до 100 мм—200 мм в тех же сводах с 12—15 мм местами до 30—40 мм, кроме того появились новые трещины, ниже уровня воды в лотке, шириною до 100 мм.

Весь водовод в этом месте оказался явно приподнятым, на глубине 350 мм. с крутым подъемом к югу и пологим к северу.

Одновременно с тем на поверхности земли появилась в этом месте новая глубокая трещина, шириною около 100 мм, совпадающая с его направлением со старой трещиной земли в конце 20 го километра.

соответствующая, по своему расположению, очагу разрушений, происшедших в водоводе в средней части 19 километра. Повреждения на 20 километре были засняты инженером В. Э. Буйницким, произведшим также нивелировку, снаружи и внутри водоводов, на этом участке. Согласно этих данных составлены соответственные чертежи.

В отношении уровня воды, протекающей по 19 километру водовода были обнаружены различные ее глубины, а именно в 56 и 42 сантиметра.

Для выяснения картины, происшедшей деформации водовода в районах 19 и 20 километров его, была произведена тогда же нивелировка этого участка как снаружи, так и внутри водоводов.

Во время производства ремонтных работ на вышеназванных участках водовода, геолог Азнефти С. Р. Зубер произвел обследование их в геологическом отношении и дал 25/X—1923 г. заключение, сводящееся к следующему:

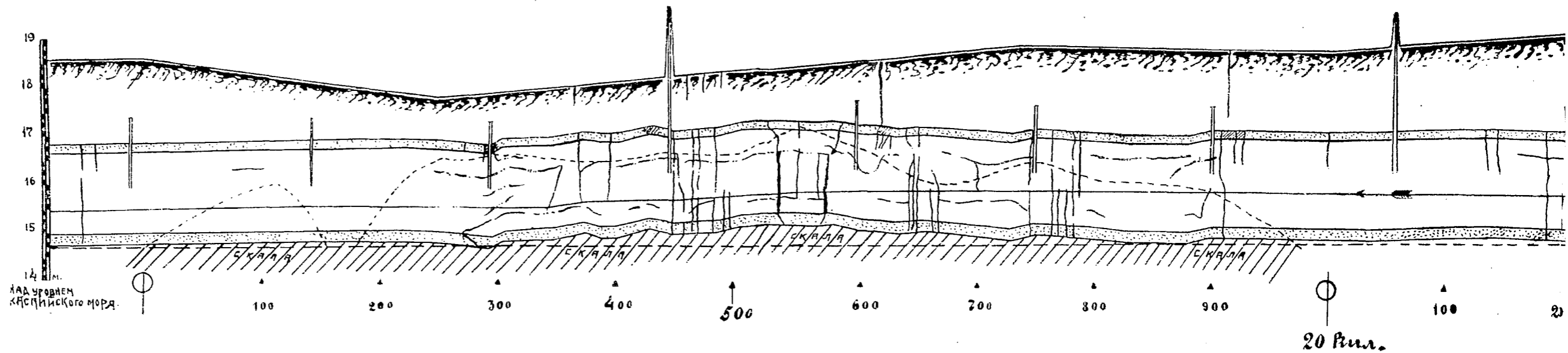
«Баку-Шолларский бетонный водовод проходит через несколько областей, которые сильно отличаются друг от друга своим геологическим строением. Подразделение этих областей следующее:

1. От начала водопровода до Кизил-Бурунского уч.

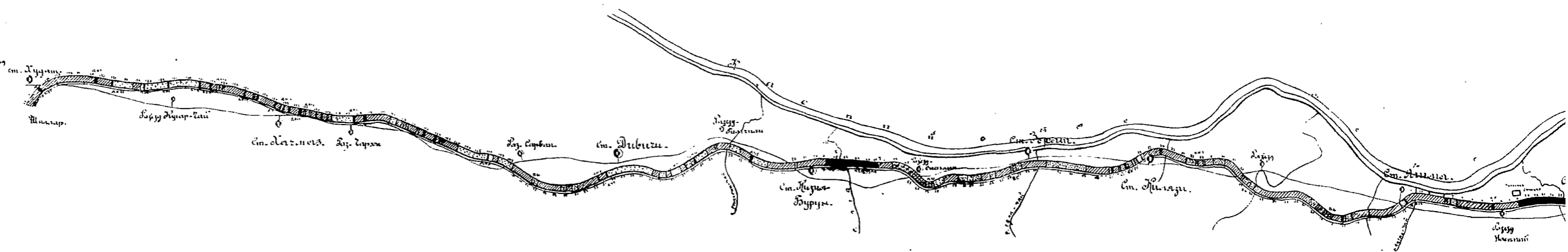
Равнина, через которую проходит магистраль водопровода, представляет намывную область, которая сложена из новейших речных

Деформация дельтового водовода Бузунит - Шаллар.

на 20 км. по с'екуе инт. Д. Буинского.



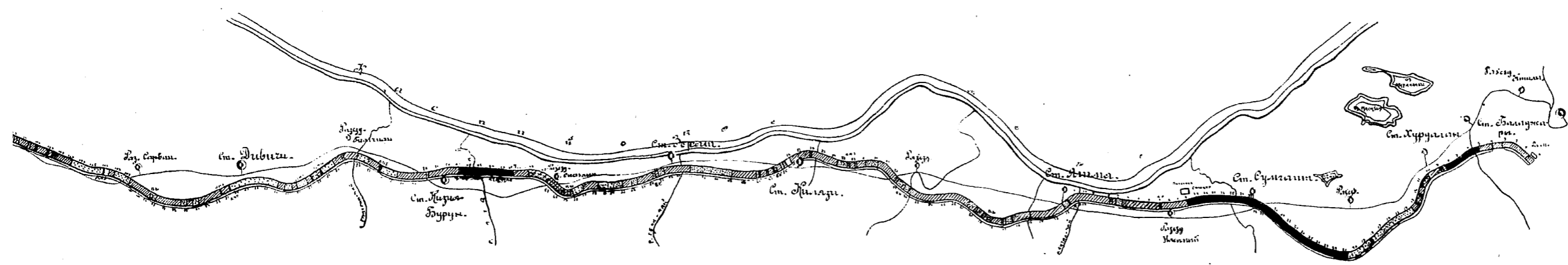
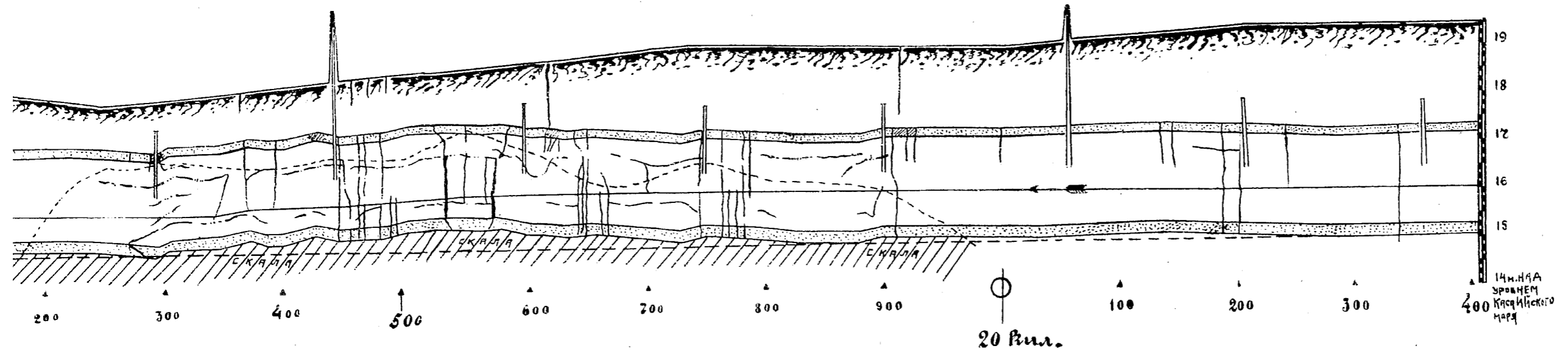
- Условная обозначения:
- Дельтаическая почва
 - Песчаный ил и глинистый ил
 - Дельта (сучьяе порфи.)
 - Клеувиный ил и глинистый ил
 - Спонтанная порфира, у 15%
 - Пермунитовый ил и глинистый ил
 - Дельтаический ил и глинистый ил
 - Спонтанная порфира, у 10%



Чертеж А5029

еформація Депоного водовога Бузган - Шодар.

на 20 км. по с'єнке инт. Буїнського.



План
расположенія водовога
"Шодар - Бузган"
с отметками побережденія
мост на 15/II 1925г.

наносов, достигающих здесь очень большой мощности. Ввиду последнего обстоятельства невозможно учесть строение коренных пластов, которые залегают по всей вероятности на сотни метров ниже поверхности. Имея это в виду, нет здесь возможности заниматься строением глубоких недр района.

2. Кизил-Бурун Зорат.

Магистраль проходит на протяжении 30—40 км. у подножия гор, вдоль суживающейся в этом месте низменной береговой полосы.

Строение пластов в этой части чрезвычайно сложное. В ближайшем соседстве водопровода развиты, изогнутые в ряд складок, главным образом пестрые глины верхнего мезозоя (мелового яруса), среди которых изобилуют утесы доломитов того же возраста. Магистраль проходит у самого подножия гор, при чем на ее состояние влияет главным образом характер рельефа местности, неравномерного залегания мягких, пластичных, глинистых пород и твердых громадных глыб вышеназванных доломитов. В связи с этим стоит тоже водоносность слоев подложия, при чем мы, повидимому, имеем дело как с обычными пресными подпочвенными водами, так и с минерализованными пластовыми водами.

3. Илязи—Насосная.

Равнина, через которую проходит магистраль, представляет размытую часть складок, которые тянутся перпендикулярно к береговой полосе. Последняя представляет безводную равнину, покрытую слоем глинистых наносов, под которыми коренные породы залегают на небольшой глубине (по линии водопровода до 1½ саж.) и кое-где появляются на поверхности, указывая на волнистость подземного рельефа поверхности этих размытых, изогнутых, коренных пород.

Строение этого участка представляет постепенный переход от тектонически перемятого Кизил-Бурунского участка к более равномерно изогнутому типу.

Приближаясь к реке Сумгаит, мы наблюдаем перемену в простирании осей складок от перпендикулярного к берегу (широтного) к параллельному берегу, юго-восточному.

Появляющиеся здесь породы принадлежат, преимущественно, к низам третичной системы и верхам мелового яруса.

Петрографически это:—пестрые (красные и синеватые), плотные, белые и серые мергеля, трескуноватые, залегающие тонкими пропластками, известняки и глинистые, довольно твердые, песчаники с крученой слоистостью.

Эта сорока-верстная часть побережья выказала больше всего подвижности, что стоит в связи с большими нарушениями сбросового характера и вообще строением восточной оконечности Кавказского хребта. Не лишним будет отметить, что водопровод в этом месте пересекает полосу больших тектонических нарушений, происшедших в сравнительно недавнем геологическом прошлом. Полоса эта тянется через

Шемаху, вдоль северного берега Апшеронского полуострова, затрагивая соответствующую часть Каспия.

4. Насосная-Гаджи-Гасан (до пересечения полотна Закавказских железных дорог).

В области Апшеронского полуострова, начиная с окрестностей Сумгаита, строение недр принимает более спокойный, чем вдоль предыдущей полосы, характер. Слои третичной системы (вплоть до плиоцэнта, т. е. продуктивной толщи Апшеронского полуострова) изогнуты здесь в ряд коротких, иногда весьма крутых, складок, перегибы которых пересекают магистраль в тех местах, где она имеет южное направление. Таких складок три. Простираение их осей широтное. Линия, начиная с Водоизливной Камеры, поворачивает к востоку и проходит по северному крылу большой Боздагской складки, вдоль оси последней, и лишь в одном ее месте (на половине дороги между Изливной Камерой и Хурдаланом), приближается к изгибу упомянутой антиклинали, где пласты подвергнуты сильным сжатиям. У Хурдалана линия проходит через перегиб нефтяной антиклинали.

Б. Бакинская возвышенность.

Конечный участок водопровода находится в самых благоприятных условиях, по сравнению с предыдущими, так как линия построена в полого-залегающих слоях Бакинского синклинального плато.

Осмотренные мною в августе м-це поврежденные участки к северу от Насосной позволяют следующим образом резюмировать заключения:

Повреждения на 43 километре: Водовод проходит на самом склоне возвышенности вблизи подножия. Грунт, в котором построен водопровод, сложен из глин, среди которых проходит большая глыба твердого доломита. Несмотря на большие размеры повреждений (разорванность трубы, трещины и сдвиги в бетоне) нет пока оснований усматривать причину повреждений в движениях, происшедших в недрах.

Скорее всего повреждения вызваны сползанием и, связанным с этим, поверхностным перемещением как наносов, так и части коренных пород, при чем роковую роль играет неравномерный состав слоев (глина и камень).

Повреждения на 20 километре.

В четырех разносах на этом участке обнаружено следующее: а) пласты, обнаруженные в траншее, собраны в складку, перегиб которой виден в разносе № 2 (считая с юга). В южной половине разноса видны сильно сжатые, вишневокрасные, глины, очень круто наклоненные к югу. Такие же сжатия наблюдаются в разносе № 1, при чем они еще более интенсивны. Породы в № 1 это—сплошные красные глины, в северной же половине № 2 имеются мергелистые породы

в перемежаемости с плотными красными глинами (и лишь в южной оконечности разноса они переходят в сплошные красные глины).

В разnose № 3 пласты наклонены к юго-западу, под углом в 30°, но разбиты сбросом, пересекающим траншею, с наклоном плоскости к северу. В северной части разноса № 3 наклона пластов не удалось уловить, так как там обнажено сравнительно незначительное количество пластов на дне траншеи.

В разnose № 4 залегают синеватые глины переслаивающиеся с красноватыми, и светлые мергеля с равномерным наклоном к северу.

Описанные обнажения позволяют посмотреть на вскрытую часть как на область антиклинального перегиба большой, разбитой сбросами, осложненной боковыми сжатиями, складки широтного направления.

Разнос № 1.

Здесь обнажен «глухой» колодец. Трещинами разбита примыкающая к колодцу часть трубы. Свободно прикрывающая колодец плита не затронута. Две трещины пересекают наклонные стенки колодца и, разветвляясь на мелкие, соединяются внизу на своде трубы. Кроме этих трещин, имеется еще одна кольцеобразная расселина на расстоянии нескольких шагов к северу. Размеры трещин не превышают 3—4 сантиметра.

Разнос № 2.

Обнажен «входной» колодец. Трещиной разбита входная часть колодца, при чем трещина коленообразно загибается, откалывая до известной степени входную часть от самой трубы, но вблизи уровня свода последней исчезает, разветвляясь на мелкие трещины. Одно ответвление соединяется с системой продольных трещин, которые понижают левый бок (вниз по течению) трубы и кроме того отделяют, откалывая, часть свода до такой степени, что он в средней части разноса—нечто вроде неплотно прилегающей покрышки трубы. С этой системой продольных трещин скрещивается большая кольцеобразная расселина.

Размеры трещин значительнее, чем в № 1, но все же, за исключением, разрыхленных, шириной в 5—10 см., участков кольцеобразной расселины, они немногим превышают 5 см.

В обнаженных пластах на стенах траншеи наблюдается расселина, расположенная как раз около кольцеобразной трещины. Смещения пластов не видно, но заметно их разрыхление. На поверхности земли тянется, перпендикулярно к линии водовода, по обе стороны узкая трещина, которая то совсем исчезает, то раскрывается зияющими стенками. Трещина эта не новая и отчасти занесена. Ширина зияющих ее участков до 10 (иногда немногим больше) сантиметров.

Отношение размеров ее к размерам расселины в коренных породах позволяет сделать вывод, что движение в последних имело меньшую амплитуду, чем в поверхностном, наносном, грунте, факт этот согласуется с обычным характером таких явлений.

Сводка повреждений, обнаруживающихся в разносах 1 и 2, указывает на разрывной их характер, связанный с незначительным выпиранием коренных пород вверх, при наличии некоторого скручивания. Об этом можно судить на основании боковых трещин в бетоне входного колодца, срезанности свода, системы продольных трещин в разносе № 2, что, очевидно, вызвано неравномерностью почвы. Трещины, повидимому, неодинакового возраста, так например, кольцеобразную расселину в разносе № 2 можно считать самой новой.

Разнос № 3.

Имеется одна трещина сдвигового характера, срезающая (при наклоне ее плоскости ок. 30° к северу) трубу водовода.

Северная половина трубы надвинута на южную.

Разнос № 4.

Имеется такая же трещина, но с наклоном к югу, при чем наблюдается надвинутость южной половины трубы на северную. Трещина расселинообразная, с наличием разрыхления. Обе трещины (№ 3 и № 4) определенно указывают на сокращающее движение, амплитуда которого дает в итоге 10—15 сант.

Резюмируя вышесказанное, приходим к выводу, что растягивающее движение в области двух южных (№ 1 и № 2) компенсируется сокращающим в двух северных (№ № 3 и 4).

Повреждения на 6-м километре.

Размеры их и характер, по сведениям,—аналогичны с повреждениями 20 километра. Есть основания, позволяющие полагать, что участок 6 км. совпадает с местоположением антиклинальной складки.

Вышеописанные нарушения водовода являются результатом незначительных движений в пластах из разряда так называемых вековых колебаний (брадисейсмы) земной коры. Выражаясь амплитудами в немногосантиметров, они должны вызывать постепенное образование трещин в хрупкой бетонной линии, при чем повреждения такого рода случаются обычно в местах более всего дислокационных, через которые проходят, избобилующие сбросами и сжатиями, осевые части антиклинальных складок или же линия больших размолов пластов.

Последние крупные повреждения водовода на 19-м километре геолог С. Р. Зубер ставит в связь с происшедшими недавно землетрясениями, при чем говорит: «Не вдаваясь в разбор детально необследованных пока явлений, отмечаю, что поврежденный участок водовода принадлежит к системе той же антиклинали, что и участок 20-го кил. На основании предварительных работ инж. С. Э. Буйницкого, имеются данные относительно образования значительного количества трещин на поверхности земли, которые несомненно стоят в теснейшей связи с движениями недр. Кроме образования этих трещин, землетрясение отразилось на постройках ст. Насосной.

Имея в виду возможность неоднократного повторения крупных колебаний почвы с катастрофическими последствиями, необходимо приступить к детальному изучению строения береговой полосы и смежных с нею возвышенностей и, параллельно с этим, к исследованию сейсмической стороны вопроса».

К своему докладу геолог С. Р. Зубер приложил программу обследования водовода в гидро-геологическом и сейсмологическом отношениях, указав, что до получения данных, вполне выясняющих наблюдаемые ныне явления, едва ли могут достигнуть цели, производимые в настоящее время, исправления дефектов водовода, особенно в случае новых колебаний почвы. Несколько позже (31/X—1923 г.) он представил дополнительную записку следующего содержания:

«Описанные и охарактеризованные движения в коренных породах отражаются на водоводе сообразно его техническим свойствам.

Как известно, линия водовода представляет сплошную бетонную трубу, за исключением участков Насосная-Изливная Камера и части Хурдаланского, где она построена из чугунных труб.

Согласно всем полученным до сих пор данным, бетонная, хрупкая и неподатливая, линия водовода реагирует на малейшие изменения в конфигурации подложия следующим образом: образуются трещины, расселины, а дальше сдвиги, местоположение и величина которых стоят в прямой зависимости от упомянутых изменений.

Движения, происшедшие до лета текущего года, были, повидимому, медленные, почему и надо полагать, что повреждения образовались постепенно. Согласно общему характеру всех явлений, главные повреждения происходили на самом месте движений почвы, при чем возможно, что они образовались лишь в тот момент, когда перемены в поверхности почвы, и, следовательно, самой линии, достигали размеров, превышающих весьма низкий коэффициент упругости бетона. Иначе говоря, при медленных движениях малой амплитуды надо предполагать известную одновременность явлений.

Кроме того, надо иметь в виду, что слабые колебания, которые непосредственно не вызвали разрывов и сдвигов, должны отражаться на большом протяжении (до нескольких километров), чему и надо приписать образование части мелких трещин, наблюдаемых вдоль ряда участков.

Природа движений в коренных породах ведет, главным образом, к удлинению полосы подложия водовода. Это действует разрывным образом на него, причем неравномерность колебаний является причиной незначительного скручивания трубы, и замечается неравномерность давления грунта на ее стенки.

Образовавшиеся трещины и сдвиги, которые в некоторых местах могут быть удлиняющими, в других же сокращающими линию, являются местами слабого сопротивления, где произошло не только смещение водовода из его первоначального положения, но должно отражаться и всякое будущее движение в пластах.

При ремонтах водовода надо иметь в виду, что проявившие себя силы будут действовать и в будущем с той или иной интенсивностью, выражаясь главным образом в своего рода вспучивании подложия магистрали.

Движения почвы в местах, где магистраль построена из чугунных труб, не вызывают столь сложных последствий, ибо они не действуют на линию в целом, а отражаются лишь на стыках. Чтобы произошел разрыв последних нужна большая, в десятки сантиметров, амплитуда движений почвы, при чем в таких случаях легко произвести ремонт, которым, благодаря упомянутым техническим свойствам магистрали, ликвидируются места слабого сопротивления, и магистраль может быть совершенно восстановлена;—в случае же вспучивания подложия нетрудно удалить излишек грунта, поднявшегося на дне траншеи».

Заключения геолога С. Р. Зубера были подтверждены в конце октября 1923 года Комиссией Азербайджанского Технического Общества, в работах которой приняли участие профессор геологии А.П.И. В. В. Богачев и представители Бакинской Сейсмической станции.

Эта комиссия, выяснив детально повреждения и обсудив причинную связь, между замеченными изменениями в коренных пластах и поверхностных наносах в районе поврежденных участков водовода и самим водоводом, пришла к следующим заключениям:

1. Что несомненно существует связь между названными геологическими процессами и повреждениями водовода.

2. Что данных, имеющихся в настоящее время, для суждения о степени влияния процессов в поверхностных слоях земной коры на водовод, пока недостаточно.

3. А потому для выяснения недостающих для освещения этого вопроса деталей, необходимо:

а) фотографирование района водовода от ст. Сумгаит до ст. Кизил-Бурун,

б) обследование на том же протяжении характера почвенных трещин и производство анкеты среди местного населения о замеченных за последнее время сотрясениях почвы,

в) производство геологического обследования района водовода на том же протяжении, а также бассейнов речек «Сумгаит-Чай», «Гек-Чай» и «Ата-Чай»,

г) производство нивелирного контроля реперов названного района, водовода, связав их с постоянной точкой Баиловского маяка.

Намеченная этой Комиссией программа обследования впоследствии, по разным причинам, выполнена не была.

В середине февраля 1924 года постановлением Плановой Комиссии при В. Э. Совете АССР была образована новая Комиссия, которая, обсудив вопрос по организации работ по детальному изучению причин повреждения водовода, наметила программу обследования водо-

вода от Межевой Камеры в городе до ст. Кизил-Бурун, указав в числе других пунктов на необходимость:

1. Произвести точную нивелировку всех реперов на указанном протяжении водовода, входных при нем колодцев и дна самого водовода у этих колодцев, со с'емкою поперечных сечений поврежденных мест водовода с'натуры.

2. Произвести геологические изыскания по линии водовода, а также речек и оврагов, пересекающих водовод, и в нужных местах морского побережья, с одновременным выяснением характера и происхождения грунтовых вод Кизил-Бурунского района, раз'едающих бетон водовода.

3. Произвести химические анализы этих грунтовых вод, самих грунтов, а также раз'едаемого ими бетона.

4. Произвести документацию повреждений, посредством фотографирования их.

Другими словами заключения первой и второй комиссии, в общем, были однородны.

Из этих постановлений до настоящего времени выполнены пока следующие.

В период с 20/IX по 30/XI 1924 года была произведена контрольная нивелировка реперов, люков, колодцев и дна водовода при них, между Насосной ст. и дуккером № 4 Кизил-Бурунского участка.

На основании полученных ею данных, составлен настоящий профиль названного участка, из которого видны значительные деформации, претерпеваемые водоводом в районах 5, 20 и 43 километров его протяжения, имеющих антиклинальную складчатость; происходящее там выпирание коренных пород рвет на этих участках и понемногу поднимает вверх водовод «Шоллар-Баку».

Химические обследования раз'едаемых участков водовода на 60—63 километрах были произведены еще в августе 1923 года инженером технологом-химиком Г. К. Дементьевым (преподавателем А. П. И. по технологии строительных материалов и минеральных веществ), детально осмотревшим поврежденные внутренние части водовода и сделавшим химические анализы:

- I. Белой коры—отложения на стенках водовода.
- II. Штукатурки.
- III. Перерожденного бетона.
- IV. Твердого бетона.
- V. Воды, просачивающейся сквозь стенки и свод водовода.
- VI. Почвенной воды с расстояния 60, 60 кил.
- VII. > > > 61,52 >
- VIII. > > > 62,00 >
- IX. > > > 62,80 >

I. Относительно отложений на стенках водовода Г. К. Дементьев дает такую характеристику:

«Потолок и внутренние стенки водовода, вплоть до уровня протекающей Шолларской воды, покрыты корой изжелта-белого, кристаллического вещества, местами достигающей толщины

до 10 мм и свешивающейся, иногда, с потолка водовода сталактито подобными натеками до 100 мм длиной.

Эта кора весьма плотно прилегает к твердой штукатурке, которой покрыта внутренняя поверхность водовода».

Элементарный анализ этих отложений дал следующие результаты:

Летучих веществ	43,27%
Оксид кремния SiO_2	0,47 >
Полуторных оксидов R_2O_3	0,38 >
Извести CaO	54,42 >
Магнезии MgO	0,35 >
Сернистого ангидрида SO_2	1,07 >
Щелочей R_2O	следи
<hr/>	
Сумма	99,96%

Рациональный состав этого вещества таков:

Углекислого кальция CaCO_3	96,77%
» магния MgCO_3	0,73 >
Сернистых оксидов (железа и алюминия) $\text{R}_2(\text{SO}_4)_3$	1,14 >
Сернистого кальция CaSO_4	0,67 >
Гидрата кремнезема $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,65 >
<hr/>	
Сумма	99,96%

Заключение.

«Это вещество представляет довольно чистый углекислый кальций.

Несомненно он выделился из водного раствора за счет потери углекислого газа, при выходе просачивающейся воды из бетона.

Этот анализ показывает, что или грунтовые воды, проникающие через бетон, уже содержат бикарбонат кальция, или же последний в этой форме извлечен ими из бетона».

II. Относительно состояния штукатурки на своде и стенках водовода Г. К. Дементьев удостоверяет, что «в некоторых местах, особенно, там, где повидимому были стыки при бетонировании, штукатурка вспучена, но не обнаруживает признаков пережжения».

Результаты произведенного им анализа цементной штукатурки состава 1 : 2 приведены ниже:

Летучих веществ	23,16%
Оксид кремния SiO_2	16,92 >
Оксидов железа и алюминия R_2O	7,50 >
Оксид кальция CaO	47,32 >
Оксид магния MgO	0,60 >
Сернистого ангидрида SO_2	1,30 >
Щелочей R_2O	3,20 >
<hr/>	
Сумма	100 %

Первоначальное вещество, на основании этого анализа, должно иметь такой состав:

Летучих веществ	—
Окись кремния SiO_2	22,25%
Окисей железа и алюминия R_2O	9,86 >
Извести CaO	62,23 >
Магнезии MgO	0,79 >
Серниого ангидрида SO_3	1,70 >
Щелочей R_2O	3,17 >
<hr/>	
Сумма	100 %

Гидромодуль = 1,94.

Коэффициент Гейера = 2,25.

Заключение.

Предполагая, что цемент штукатурки водовода и бетона идентичны, следует придать большое значение этому анализу, в смысле указания на поведение бетона относительно действия внешних реагентов в химическом отношении.

Коэффициент Гейера 2,25 и содержание $\text{SO}_3 = 1,70$ против предельного в 1,75% заставляет думать, что взятый для водовода цемент был быстро схватывающимся, т.е. алюминатным, являясь в остальных отношениях вполне нормальным.

III. В отношении разрушающегося под действием почвенных вод бетона Г. К. Дементьев сообщает, что под вспученной штукатуркой обнаруживаются массы значительно измененного бетона белого цвета и кашеобразной консистенции, переходящего, по мере углубления, в более нормальный.

В обследованном участке как стенки, так и потолок водовода, обладают значительной водопроводностью, в силу чего, особенно с натеков потолка, непрерывно сочится вода.

Под уровнем шолларской воды не было замечено столько резких нарушений в бетоне, как над ее уровнем.

Исследование перерожденного цемента в разрушенном бетоне дало следующие результаты (после вывешивания вещества при 115° С.).

Летучих веществ	25,18%
Инертного кремнезема in. SiO_2	5,00 >
Активного кремнезема act. SiO_2	10,50 >
Окислов железа и алюминия R_2O_3	5,14 >
Извести CaO	33,73 >
Магнезии MgO	3,50 >
Серниого ангидрида SO_3	13,84 >
Щелочей R_2O	2,71 >
<hr/>	
Сумма	100,00%

Контрольный анализ водной вытяжки из него дал следующие результаты:

Кремнезема и полуторных окислов	Фильтрат %	Нераствор. %	Сумма %
	—	21,54	21,54
Извести	9,63	24,10	33,73
Магнезии	0,89	2,59	3,48
Серниого ангидрида	12,59	1,25	13,84
Щелочей	2,71	—	2,71
Сумма	25,82	49,48	75,30
Летучих веществ	25,18
Итого	—	—	100,48

На основании этих анализов, представляющих результаты 2-х методов, Г. К. Дементьев утверждает, что исследования указывают на правильное отделение измененного цемента от песка и гравия бетона, что является затруднительным в этом отношении, и, что исследование водной вытяжки позволяет вывести рациональный состав этого цемента, связывая известь и магнезию фильтрата с серно-кислотным остатком, полагая избыток извести в состоянии гидроксида и пересчитывая на угле-кислые соли щелочно-земельных металлов в нерастворимом остатке так, чтобы сумма веществ соответствовала количеству предположительно высчитанному по анализу соляно-кислотной вытяжки:

Рациональный состав перерожденного цемента:

	Растворим.	Нерастворим.	Сумма.	По пересчету.
В п р о ц е н т а х.				
Сернокислого магния $MgSO_4$. . .	2,67	—	2,67	2,67
> натрия Na_2SO_4 . . .	6,20	—	6,20	6,20
Гипса $CaSO_4$	15,05	2,36	17,41	17,41
Гидрата извести $Ca(OH)_2$	5,67	—	5,67	5,67
Углекислого магния $MgCO_3$	—	5,44	5,44	5,44
> кальция $CaCO_3$	—	40,75	40,75	40,75
Силикатов алюминатов и ферритов $SiO_2 + R_2 O_3$	—	21,54	21,54	21,54
С у м м а	29,59	70,09	99,68	99,68

Заклучение.

«Эти анализы показывают, что в состав разрушенного бетона вошло очень много серно-кислых солей, которые могли быть доставлены только извне».

На основании их Г. К. Дементьев высказывает следующее соображение:

Связывая сернокислый кальций, гидрат извести и окись алюминия, получим вещество такого состава:

CaO	49%
SO ₃	35 »
Al ₂ O ₃	15 »

Это весьма близко подходит к анализу сульфоалюмината кальция (соль Деваля), имеющего состав:

CaO	45%
SO ₃	36 »
Al ₂ O ₃	18 »

Отсюда можно предположить, что перерожденный цемент содержит около 22% соли Деваля.

Но сульфато-алюминат кальция, образующийся по исследованию Деваля, при действии на цемент серно-кислых вод, кристаллизуясь с 28 паями воды, во много раз увеличивается в объеме.

Таким образом, вспучивание бетона и разрушение его объясняется образованием этих соединений.

Пересчитав на 100 компоненты нерастворимой части перерожденного цемента, инженер Г. К. Дементьев получил следующий состав вещества:

Окиси кремния и полуторных окислов SiO ₂ + R ₂ O ₃ . . .	43,5%
Извести CaO	48,7 »
Магвезии MgO	5,2 »
Серного ангидрида SO ₃	2,6 »
<hr/>	
Сумма	100,00%

Гидромодуль = 1,12

И пришел к заключению, что:

«Первоначальный цемент содержал около 62% CaO, а перерожденный содержит ее лишь 33,7% в устойчивом виде; таким образом, за время существования водовода перешло в неустойчивое состояние около 28%, что и обеспечивает ее выделение из бетона».

IV. В целях сравнения состава перерожденного и твердого бетона водовода, инженер Г. К. Дементьев произвел анализ твердого бетона, давший следующие результаты:

а) При соляно-кислотной вытяжке.

Летучих веществ	30,62%
Кремнезема SiO_2	16,42%
Полуторных окислов R_2O_3	5,50%
Извести CaO	42,06%
Магнезии MgO	0,70%
Серниого ангидрида SO_3	4,07%
Щелочей R_2O	0,63%
С у м м а	100%

По рациональному анализу.

Гидратов кремнезема и полуторных окислов $\text{SiO} + \text{R}_2\text{O}_3$	21,92%
Углекислого кальция и гидрата извести $\text{CaCO}_3 + \text{Ca(OH)}_2$	68,08%
Г и п с а CaSO_4	7,24%
Углекислого магния MgCO_3	1,43%
Сернокислого натрия Na_2SO_4	1,33%
С у м м а	100%

И полагая гипс входящим в состав соли Деваля, он определяет ее количество:

Гипса CaSO_4	5,72%
Извести CaO	2,34%
Окиси алюминия Al_2O_3	1,44%
И т о г о	9,50%

а также состав оставшейся части цемента:

Окиси кремния SiO_2	18,60%
Полуторных окислов R_2O_3	4,60%
Углекислого кальция и гидрата извести $\text{CaCO}_3 + \text{Ca(OH)}_2$	73,65%
Углекислого магния MgCO_3	1,62%
Сернокислого натрия Na_2SO_4	1,53%
С у м м а	100%

Пересчитав на прокаленное вещество Г. К. Дементьев получил такой состав цемента в твердом бетоне:

Окиси кремния SiO_2	26,8%
Полуторных окислов R_2O_3	6,62%
Извести CaO	63,16%
Магнезии MgO	1,11%
Серниого ангидрида SO_3	1,24%
Щелочей R_2O	1,07%
С у м м а	100%

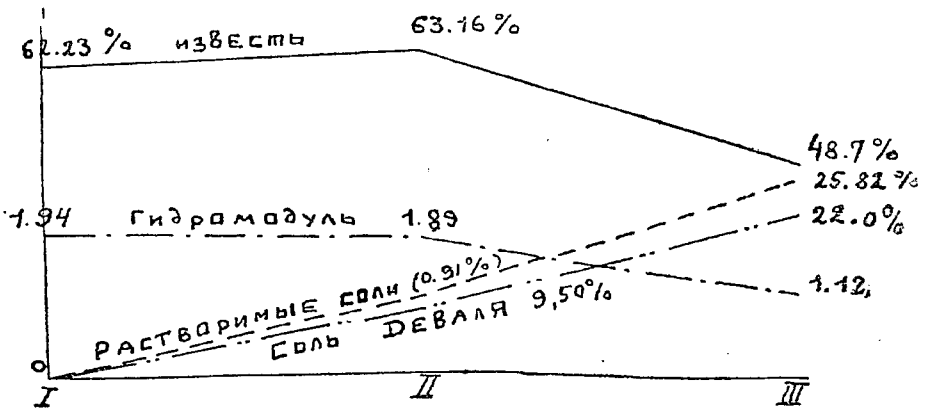
Гидро модуль=1,89.

т.-е. установил, что твердый бетон содержит еще цемент, в котором образовалось лишь 9,5% сульфоалюмината кальция и 90,5% вещества представляют нормальный для цемента состав. Для наглядности же падения окиси кальция в цементе, по мере его разрушения, он привел нижеследующую таблицу и диаграмму № 1.

Таблица № 1.

С о с т а в.	Не перерожденного цемента.	Перерождающего цемента.	
		Цемент тврд. бетона.	Цемент разрешенного бетона.
Известки	62,23%	63,16%	48,7%
Растворенных солей	—	10,91%	25,82%
Соли «Деваля»	—	9,50%	22,00%
Гидромуль	1,94%	1,89%	1,12%

Диаграмма № 1.



На основании которых инженер Г. К. Дементьев устанавливает следующий процесс постепенного перерождения бетона водовода 61—63 кил. под действием почвенной воды и солей:

«По мере изменения физических его качеств в сторону уменьшения крепости, увеличивается количество растворимых солей и падает содержание извести.

Известь, обуславливающая сопротивление цемента механическим усилиям, удаляется из бетона, предварительно переходя в серно-кислые соединения, в виде гипса и сульфоалюмината кальция, которые разрывая связь между частицами цемента, облегчают доступ перерождающих реагентов и удаление продуктов реакции из бетона.

Естественно возник вопрос, какие же вещества оказывают столь губительное действие на бетон Шолларского водовода?

Ответами на это являются результаты анализов воды, просачивающейся сквозь бетон водовода и прилегающих к нему почвенных вод, приводимые инженером Г. К. Дементьевым в следующих таблицах:

V. Анализ воды, просачивающейся внутрь водовода через его стенки.

а) Элементарный анализ.

Плотного остатка	13,04	гр. на 1 литр.
Летучих веществ	0,876	» » » »
Кремнезема SiO_2	0,057	» » » »
Полуторных оксидов R_2O_3	0,035	» » » »
Извести CaO	0,484	» » » »
Магнезии MgO	0,589	» » » »
Серниго ангидрида SO_3	3,977	» » » »
Хлора Cl	3,056	» » » »
Щелочей { Na_2O	1,968	» » » »
{ Na	1,958	» » » »
<hr/>		
Сумма	13,000	гр. на 1 литр.

б) Рациональный анализ.

При кипячении воды выпадают в форме карбонатов: 0,300 гр. CaO на 1 литр и 0,050 гр. MgO на 1 литр из их кислых-углекислых соединений.

Поэтому состав плотного остатка на 1 литр был получен Г. К. Дементьевым в следующем виде:

Органических веществ	0,079	гр. или 0,60%
Бикарбоната кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	0,868	» » 6,88%
» магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	0,158	» » 1,21%
Гипса CaSO_4	0,566	» » 4,35%
Сернокислых оксидов железа и алюминия $\text{R}_2\text{O}_3\cdot 3\text{SO}_3$	1,767	» » 13,59%
Силиката натрия Na_2OSiO_2	0,105	» » 0,80%
Сернистого натрия Na_2SO_3	0,114	» » 0,88%
Хлористого натрия NaCl	4,973	» » 38,25%
<hr/>		
Сумма	13,007	гр. или 100,03%

Из чего он делает вывод, что «вода вышедшая из бетона, выделив часть углекислого кальция и магния из растворов бикарбонатов, отлагает исследованную ранее кору углекислого кальция».

И в разъяснение причины перехода серно-кислых соединений кальция и магния в углекислые и образования сульфатов в цементе, под действием этой воды, приводит результаты анализов почвенных вод, омывающих водовод в различных местах его протяжения в пределах 61—63 километра.

VI, VII, VIII и IX результаты анализов почвенных вод.

Нумерация анализов.	VI	VII	VIII	IX
Место взятия проб.	60,60 кил.	61,52 кил.	62,00 кил.	62,80 кил.
Легучих веществ	0,133	0,471	0,388	0,474
Окиси кремния SiO ₂	—	следы	—	следы
Полуторных окислов R ₂ O ₃	—	следы	—	следы
Извести CaO	0,471	0,387	0,036	0,134
Магнезии MgO	0,205	0,335	следы	0,170
Серниого ангидрида SO ₃	9,368	5,574	2,130	1,580
Хлора Cl	5,651	2,260	1,770	1,980
Щелочи Na ₂ O	6,721	3,579	1,921	1,109
> Na	3,660	1,485	1,147	1,283
Углекислоты CO ₂	0,440	0,137	0,220	0,220
Сумма	26,649	14,228	7,613	6,950

В граммах на 1 литр воды.

Выводя из них заключение, что исследованные воды содержат, преимущественно, сульфаты, а также хлориды и бикарбонаты щелочных металлов, представляя такой рациональный состав:

Место взятия проб.	На 60,60 кил.	На 61,52 кил.	На 62,00 кил.	На 62,80 кил.
Серниокислого натрия Na ₂ SO ₄	14,706	7,755	3,360	1,850
Гипса CaSO ₄	1,144	0,922	0,087	0,325
Серниокислого магния MgSO ₄	0,615	1,005	следы	0,510
Хлористого натрия NaCl	9,311	3,745	2,917	3,263
Кислого—углекислого натрия Na(HCO ₃)	0,813	0,523	0,840	0,837
Органич. веществ	0,060	0,278	0,079	0,165
Сумма	26,649	14,228	7,613	6,950

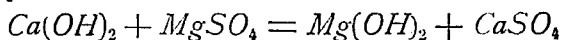
В граммах на один литр воды.

На основании этих анализов инженер Г. К. Дементьев утверждает, что «образование сульфатов обусловлено составом почвенной воды, и что выделение углекислого кальция происходит за счет потери его в цементе, так как почвенная вода не содержит извести больше, чем просочившаяся через толщу бетона и отложившийся предварительно углекислый кальций.

Переход же щелочно-земельных металлов обусловлен содержанием угольной кислоты в почвенной воде».

И далее он представляет процесс разрушения водовода в таком виде:

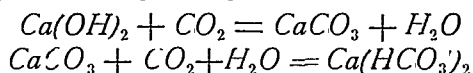
«Почвенные воды, содержащие гипс и сернокислый магний, проникают в бетон, где количество гипса увеличивается, благодаря взаимодействию с гидратом окиси кальция:



Кристаллизуясь в порах бетона и образуя $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ с увеличением объема, гипс ослабляет связь между частицами его, способствуя более легкому проникновению воды.

Освобожденные трехизвестковые алюминаты просачиваются совместно с гипсом дальше и, достигая определенной концентрации, образуют сульфоалюминат, кристаллизующийся еще с большим расширением объема, что в свою очередь способствует более и более значительному разрушению, которое, на основании высказанного, идет на встречу току почвенной воды.

Углекислота, заключающаяся в почвенной воде и в свободном виде, и в виде карбонатов, растворяет известь бетона так:



Раствор же бикарбоната кальция, выделяясь на поверхности, теряет углекислый газ и выделяет углекислый кальций



отлагая его на стенках водовода.

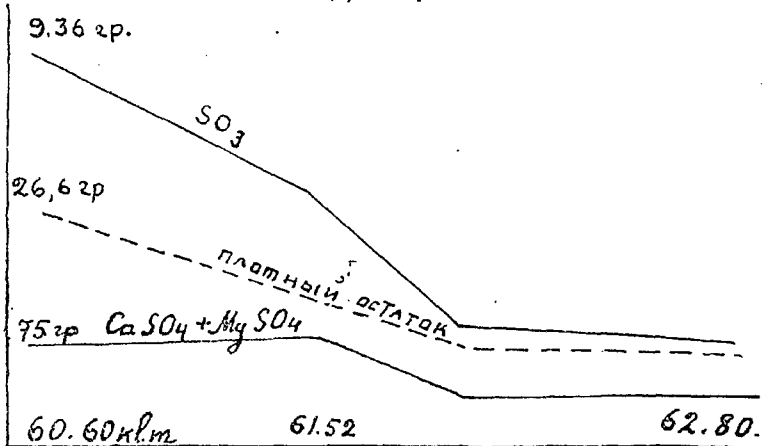
При таких условиях разрушение должно идти изнутри водовода кнаруже вплоть до полного разрушения бетона».

Менее значительные разрушения бетона ниже уровня Шолларской воды в водоводе он объясняет встречным напором последней в порах стенок, который задерживает проникание сернокислых вод внутрь водовода.

Интенсивность и время разрушения бетона на отдельных участках водовода находятся, по мнению инженера Г. К. Дементьева, в зависимости от количественного содержания сернокислых солей в почвенной воде, а потому приводимая им ниже диаграмма выясняет, что наиболее опасным местом, из исследованных им, является участок второй половины 62 и первой половины 61 километров, где количество $CaSO_4$ и $MgSO_4$ особенно велико.

Согласно донесения заведывающего участком Кизил-Бурун, в середине мая 1924 года, в конце 61 километра (60—75 кил.) разрушающегося водовода был вырыт шурф. При копке шурфа земля была влажная на глубину 0,75 метр. от поверхности, далее до 1 метра она оказалась сухой, а ниже снова влажной.

ДИАГРАММА № 2.



Грунтовая вода была обнаружена на высоте пят свода с левой стороны (по течению воды в водоводе); с правой же стороны водовода грунтовой воды на этой глубине встречено не было.

Обнаруженная грунтовая вода на вкус слабо соленая.

Водовод по первому впечатлению казался вполне сохранившимся, но при ударе лопатой по своду и стенкам бетон немедленно проваливался внутрь с образованием дыр, через которые видны крепления.

Бетон представлял собою твердую пористую массу, состоящую из гравия и песка, с полным отсутствием цемента, взамен которого некоторые поры были наполнены веществом белого цвета, во многих случаях напоминающим тесто (наподобие извести).

В конце сентября 1924 г., т.-е. более чем через год после обследования его Комиссией 61—63 километр. водовода был осмотрен проф. Донск. Пол. Института П. Ф. Горбачевым, который одновременно с этим ознакомился с различными деталями повреждений водовода по докладам инженеров А. Н. Мямлина и Э. С. Буйницкого, а также с заключениями геолога С. Р. Зубера и инженера Г. К. Деметьева.

Проф. П. Ф. Горбачев, признав правильность общих заключений, указанных в этих докладах, разделил все повреждения водовода на три группы:

I. Трещины от тектонических явлений, без изменения бетонной массы.

II. Размягчение тела бетона от действия грунтовых вод с образованием каверн и трещин в ослабленных местах.

III. Мелкие волосные трещины на своде и стенках водовода температурного и усадочного характера.

В отношении первой группы трещин проф. П. Ф. Горбачев подтвердил динамичность их происхождения на участках водовода 5, 18, 20 и 43 кил., вследствие продолжающихся горообразовательных процессов на Кавказе, разделяя заключение геолога С. Р. Зубера, что доломитовые толщи этого района, поднимаясь вверх, выгибают также вверх и расположенный на них водовод.

В отношении раз'едания бетона на 61—73 кил. почвенными водами, проф. П. Ф. Горбачев, подтверждая правильность заключения инженера Г. К. Дементьева об их первой причине, привел богатый материал в этом отношении из произведенных опытов и строительной практики в Германии и Соед. Штатах Сев. Америки и решительно указал, что процессы эти, раз начавшись, продолжают безостановочно до полного разрушения пораженной части постройки.

Вредителем является соль «Деваля», т.-е. двойная соль кальциевого сульфоалюмината $Al_2O_3CaOSCaSO_4 + 30H_2O$, которая имея об'ем значительно больший, чем образующие ее составные твердые вещества, распространяет звездообразно, по всем сторонам, иглы своих кристаллов, раздвигающие частицы бетона, куда проникают новые количества грунтовой воды, вносящей новые количества гипса, вызывающие новое образование кристаллов сульфоалюмината кальция, которым профессор Михаэлис дал весьма меткое название «цементной бациллы», а профессор П. Ф. Горбачев, развивая эту мысль дальше, также метко называет процесс медленного, но безостановочного перерождения бетона—«рак ом бетона», по аналогии с злокачественными неизлечимыми новообразованиями в животном организме.

На этом основании проф. П. Ф. Горбачев считает Баку-Шолларский бетонный водовод на участке 61—63 кил., безнадежно погибшим и подлежащим капитальному переустройству.

Считая главной причиной разрушения бетона на этом участке гипсосодержащие грунтовые воды, проф. П. Ф. Горбачев в то же время указывает на способствующие этому побочные обстоятельства, а именно:

1) На несоответствующий состав примененного бетона 1 : 2 : 4, вместо 1 : 1, 5 : 2, 5 или даже 1 : 1, 25, 1, 75.

2) На применение для работ местного морского песка, содержащего много остатков раковин и гальки из закругленных доломитовых обломков, состоящих преимущественно из углекислой извести.

3) На отсутствие цементной штукатурки жирного состава с наружной стороны водовода, которую не могла заменить глиняная набивка с боков.

4) На отсутствие соответствующего изоляционного слоя снаружи водовода, предохраняющего его от непосредственного омывания почвенными водами.

5) На неудовлетворительное производство работ во время самой постройки водовода, заключавшееся в том, что откачка почвенной воды из траншей была недостаточна и, в виду спешности работ, была прекращена раньше, чем бетон успел достаточно высохнуть и отвердеть.

6) Наконец, на применение на этом участке нормального портланд-цемента, без добавления необходимых в таких случаях трассовых веществ или других, содержащих кремне-кислые соли.

Что касается повреждений водовода, относящихся к III группе, то все эти мелкие трещины температурного и усадочного характера, по мнению проф. П. Ф. Горбачева, могут быть очищены, расшиты и заделаны цементным раствором, что является совершенно достаточным, если только они не увеличиваются. Вот эта последняя оговорка является на наш взгляд весьма существенной.

И было бы более осторожным не делать столь категорического вывода относительно безвредности для водовода мелких трещин, в отношении которых нельзя пока утверждать, что все они температурного и усадочного характера, т. к. наличие их в частях водовода, расположенных на большой глубине, и характер направления их вдоль свода и стен, большею частью в швах соединения таковых (под, стены и свод, как известно, набивались одновременно), вызывают опасения в устойчивости сооружения.

Поэтому все эти трещины, отмеченные в Полевом Журнале Комиссией, взяты на учет и будут вновь проверены в конце мая с. г., т.-е. по истечении двух лет со дня их обнаружения, после чего можно будет сделать окончательное о них заключение.

Следует также отметить, что при ремонте южного конца водовода (от Изливной Камеры до города), производившегося с августа по октябрь 1923 г. было замечено, что наибольшие повреждения в водоводе по месту своего расположения соответствовали котлованам на поверхности земли, из которых дождевые воды не имели выхода.

Раз'едание бетона водовода было отмечено на Хурдаланском участке его, где грунт насыщен в значительной степени различного рода солями.

Производитель работ констатировал также тот факт, что при одних и тех же условиях результаты воздействия раз'единяющей среды на бетон были различны, так например, в одном месте свод водовода был совершенно раз'еден солями, стенки оказались вполне сохранившимися, лоток же повсюду оказывался неповрежденным.

Так как все эти части водовода выполнялись при постройке одновременно, то здесь безусловно проявило себя качество бетонной работы либо цемента.

Для ликвидации дефектов водовода, угрожавших его непрерывной работе, Отдел Водоснабжения произвел, как отмечено было выше, необходимые ремонты его участков, поврежденных геологическими процессами. Что же касается водовода на 61—63 километрах, раз-

едаемого солями, то в отношении этого участка было решено заменить его вновь построенным участком, от Выходной башни тоннеля «Атач ай» доначала 60 километра, т.-е. на протяжении около трех километров. Постройку этого нового участка, являющегося в сущности обходной линией, решено было произвести на месте будущего второго водовода (программа В. В. Линдлея III очереди).

Профессор В. Е. Тимонов, случайно посетивший гор. Баку в середине ноября 1924 г., был приглашен Отделом Водоснабжения для экспертизы по вопросам, связанным с устройством нового водовода на 60—63 километрах.

Ознакомившись с положением дела из докладов инженеров А. Н. Мямлина и П. А. Константинова, а также с чертежами и проектом переустройства этого участка водовода, проф. В. Е. Тимонов высказал следующие заключения:

«1) что первоначальное устройство водовода из бетона в районах с грунтовыми водами, способными повреждать таковой, было неправильно и что в таких местах надлежало применить кладку из хорошего камня или кирпича на цементном растворе;

2) что и в настоящее время представлялось бы более целесообразным при постройке второго водовода на 60—63 километрах, грунтовые воды коих охарактеризованы в записке инженера Дементьева, применить каменную или кирпичную кладку;

3) что применение для этой работы старых набивных бетонных труб системы «Джаггера» и бетонной кладки на месте, если и может быть оправдано условиями экстренности, то не дает такой уверенности в долговечности сооружения, как каменная или кирпичная кладка;

4) что ранее использования старых набивных труб системы «Джаггера» надлежит произвести механическое и химическое испытание их материала и убедиться расчетом в достаточности сечений свода, стенок и днища;

5) что для возможного обеспечения водонепроницаемости бетонной кладки водовода, устраиваемой на месте, следует выяснить, посредством лабораторных испытаний, не надлежит ли применить прибавки к цементу того или иного состава, каковы мазут, пуццоланы и другие;

6) что водовод из бетонной складки желательно покрыть снаружи цементной штукатуркой;

7) что асфальтовая одежда для защиты водовода от грунтовых вод должна быть устраиваема после надлежащего просыхания бетонной кладки и ее штукатурки, при чем смазка поверхности бетона должна быть производима горячим асфальтом;

8) что дренаж грунта вокруг водовода должен быть исполнен так, чтобы грунтовые воды удалялись на всей высоте водовода, для чего необходимы, кроме продольных горизонтальных и дренажные вертикальные пути, каковая цель может быть достигнута обкладкой водовода щебеночным или гравелистым слоем с устройством у подошвы по обоим сторонам водовода, но не под ним, продольных дренажных каналов;

9) что дренаж должен иметь смотровые устройства, позволяющие убеждаться в исправности его действия и, в случае надобности, восстанавливать таковое;

10) что предполагаемый к упразднению участок старого водовода должен быть исследован в отношении возможности его восстановления, и невозможность должна быть доказана и удостоверена документально, при чем должно быть выяснено, нельзя ли использовать упраздняемый водовод, как штольню для постройки нового на его месте туннельным способом;

11) что начавшиеся разрушения Шолларского Водопровода указывают на целесообразность его общего обследования для выяснения, какие изменения в конструкции сооружений желательны в будущем;

12) что в целях облегчения вышеозначенного обследования и уточнения его результатов представляется желательным проведение в систему всех материалов по сооружению Шолларского водопровода, имеющих в архивах отдела Водоснабжения».

Согласно этих заключений профессора В. Е. Тимонова, было принято:

а) Признать целесообразным изменить дренажную систему водовода так, чтобы он был окружен покрытием из крупной гальки или щебня в слое 20 см., опускающимся с обеих сторон до подошвы водовода и опирающимся на опущенные ниже этой подошвы дренажные кирпичные каналы, при чем под водоводом, через каждые 50 метров, должен быть устроен 2-х метровый траверс из того же материала, примыкающий к дренажным каналам.

б) При всех смотровых колодцах водовода, располагаемых в расстоянии 600 метров друг от друга, должны быть устроены люки для осмотра дренажных каналов, желательно иметь еще промежуточные смотровые колодцы для контроля дренажа, в местах где грунтовые воды особенно обильны.

Постройка этого обходного участка водовода была Госконторой «Ювстрой» начата 20 мая 1924 года, при чем было предположено на протяжении 2300 метров уложить бетонные «Джаггеровские» трубы также грушевидной профили 120 × 170 см. (изготовленные еще в 1912 году и в то время забракованные при испытании их на раздавливание), а на протяжении 675 метров построить набивной бетонный водовод.

В качестве наружной изоляции всей новой обходной линии было решено применить асфальт и чистую глину. Спроектирован был также и дренаж этого участка, состоящий из прямоугольного кирпичного канала, уложенного насухо с обеих сторон водовода ниже его подошвы, для понижения уровня грунтовых вод.

Дренажная вода выводилась наружу посредством трех дренажных траншей, устраиваемых перпендикулярно к оси водовода.

С 1 декабря 1924 г., после расторжения договора с «Ювстроем», из за неуспешного хода работ, последние решено было продолжать хозяйственным способом.

По выяснении некоторых дополнительных обстоятельств и после испытания бетонных «Джаггеровских» труб пробной нагрузкой, произведены были некоторые изменения в первоначальном проекте постройки нового участка водовода, а именно:

«Джаггеровские» трубы решено укладывать в траншеях глубиной не свыше 4-х метров, а для больших глубин строить водовод из железобетона, придав ему ту же профиль 120 × 170 и делая его толщиной 13 см., в ключе и 15 сант. в подошве, при глубинах от 4 до 7 метров и толщиной 15 см. в ключе и 18 см. в подошве, при глубинах от 7 до 10 метров. Изоляцию предположено оставить ту же, т. е. асфальтовую, а конструкцию дренажа изменить, сделав вместо кирпичных каналов загрузку дренажных канав булыжным щебнем. Глиняная обкладка, в виду отсутствия доброкачественной глины, была отменена, а решено было засыпку траншей, начиная с пода водовода и кончая 10 см. выше свода, произвести песком.

Далее в туннеле при скрещении с железной дорогой решено уложить чугунные раструбные трубы Д—1200 мм протяжением 136,8 метра.

Таким образом было окончательно установлено, чтобы: на протяжении 1.375,65 метров уложить «Джаггеровские» трубы; на протяжении 654,74 метр.—железобетонный водовод, толщиной 13 см. в ключе; на протяжении 784,49 метр.—жел. бет. водовод толщиной 15 см. в ключе; на протяжении 136,8 метр. чугунный провод Д—1200 мм и, наконец, включение нового водовода в старый, в конце 59-го килом., общим протяжением 23,32 метра, сделать посредством бетонного водовода толщиной 18 см. в ключе при глубине заложения его в 3 метра.

Производимая ныне постройка новой обходной линии водовода на 61—63 километре выполняется по указанной выше программе работ.

Что касается состояния поврежденного участка водовода на 61—63 килом., то в настоящее время он почти на всем своем протяжении в три километра закреплен распорками и досками, для удержания от обвалов во внутрь водовода поврежденных его стенок и свода.

В последнее время выяснилась также необходимость срочного ремонта выходной части туннеля «Ата-Чай», примыкающего к поврежденному водоводу 63 килом. так как раз'едание его солями стало быстро прогрессировать.

Согласно акта, составленного 22 апреля с/г. производителем работ по постройке обходной линии водовода на 61—63 кил., инженером П. А. Константиновым, дело обстоит так:

«Правая стенка лотка, считая против течения воды, на 26 метров от соединения с водоводом из'едена и повреждена грунтовыми водами так, что почти на всем указанном протяжении имеется горизонтальная трещина толщиной 6—8 сантиметров, во всю толщину стенки на высоте 20 сантиметров от дна лотка. Эта трещина соединяет лоток водовода с пространством под кирпичным дренажным лотком, и вода через эту трещину из лотка водовода поступает в дренажный лоток, вымыв

раствор между кирпичем лотка и образовав сплошные продольные вертикальные щели в лотке дренажа. Вертикальная правая стенка лотка туннеля на протяжении трещины наклонена внутрь лотка, а на протяжении 7—8 метров даже сдвинута на 8—10 сантим. внутрь лотка, образуя свес. Слева, в двух местах, покороблена штукатурка и под ней из'еден бетон на глубину 2—3 сантиметров. Под первым смотровым колодцем слева, смотря против течения, из'едено дно лотка под штукатуркой размером 10×25 сантим. на глубину 4—5 сантим. Под трещиной на правой стенке лотка и в одном месте на дне лотка образовалась кальциевая накипь, в виде продольного нароста. Штукатурка крепкая, но возле трещины легко отпадает от удара кирки, будучи раз'единена от бетона тонкой пленкой разложившегося бетона. Наружная сторона правой стенки лотка местами покрыта, под самой крышкой, иголками соли, той же самой, что и стенки новых трещин на 61—63 м/м. Сама же поверхность стенки, будучи не оштукатурена, следов разрушения не имеет и бетон совершенно цел. В местах же трещин, после очистки штукатурки, обнаруживается некоторая толща раз'еденного, размягченного, бетона, а дальше прочный, нетронутый, бетон.

Левая стенка туннеля, считая против течения, в самом начале туннеля имеет небольшие вертикальные трещины, через которые заметно просачивание жидкой, молочно-белой массы такого же характера, как и встречающаяся в водоводе на разрушающемся участке 61—63 кил.

По мнению Комиссии, причины, вызвавшие разрушение конца туннеля «Ата-Чай», те-же, что и разрушающие большой участок водовода на 61—63 кил., и простой оштукатуркой испорченных мест туннеля ограничиться нельзя—необходим более радикальный ремонт.

Необходимо поврежденный участок туннеля откопать снаружи и обнажить поверхность бетона, для возможности его изолирования от грунтовых вод, и после изоляции произвести необходимый ремонт».

(Во время экскурсии членов XIII С'езда к Шолларским источникам предположена остановка на 61—63 кил. водовода (близ ст. Сиазань) для осмотра работ, дабы члены С'езда могли судить о производящихся там работах и дать соответствующие указания).

В заключение остается лишь сказать, что до 1923 года Ахиллесовой пятой Баку-Шолларского водопровода, по справедливости, считалась Насосная станция, с ее старыми изношенными машинами и деревянными полами, после же 1923 года, когда Насосную станцию привели в полный порядок, установив 3 новых насосных агрегата, перестроив все машинное здание внутри и сделав его огнестойким, то Ахиллесовой пятой стал бетонный водовод, «Шоллар-Баку», чутко реагирующий и на все геологические процессы, происходящие в недрах, и постепенно безнадежно заболевающий на многих участках неизлечимой болезнью, удачно названной «раком бетона».

С'езду угодно было выслушать данные о всех дефектах нашего водовода, заключения о причинах их, геологических и химических, и о выполненных пока Отделом Водоснабжения мероприятиях, для ликвидации обнаруженных дефектов.

Будучи ответственным перед населением и промышленностью за правильное функционирование всех Баку-Шолларских водоустройств, Отдел Водоснабжения просит Съезд вынести свое компетентное заключение о принятых Отделом мерах и преподать указания в отношении дальнейшей работы Отдела, по ликвидации всех указанных выше дефектов водовода «Шоллар-Баку».

Тезисы докладчика.

1. На основании опыта постройки водовода «Шоллар-Баку» и заключений инженера В. В. Линдлея, следует признать, что при устройстве водоводов из набивного бетона протяжением более 6—10 метров, неизбежно появление трещин, являющихся результатом изменения объема бетона при его схватывании.

2. Бетонные водоводы для больших протяжений следует устраивать такой конструкции, которая предусматривала бы изменения в объеме бетона при его схватывании, а также вследствие температурных колебаний.

3. Деформации, наблюдаемые в бетонном водоводе «Шоллар-Баку», подтверждают, что в местностях с неоднородными грунтами и ясно выраженными антиклинальными складками нельзя устраивать водоводов из набивного бетона. В этих случаях следует применять либо железобетон, либо металлические трубы.

4. Разрушение почвенными солями бетонного водовода «Шоллар-Баку», в сравнительно короткий промежуток времени, предостерегает от устройства бетонных или железобетонных водоводов, без надлежащей наружной изоляции, в местностях с высоким уровнем грунтовых вод и солончаковой почвой.

5. Необходимо признать, что для рационального водопроводно-канализационного строительства крайне необходимо производство опытов (лабораторных и практических) относительно добавления в бетон остатков квасцовых производств или других веществ, содержащих кремне-кислые соли, в целях инертизации бетона к почвенным солям типа «Деваля» и другим серно-кислым солям разных видов, разрушающим бетоны нормального состава.

Прения по докладу инж. А. Н. Мямлина «Дефекты водовода Шоллар-Баку».

Председатель. Прошу задать вопросы докладчику.

И. Ф. Войтжевич. Поднимался ли вопрос о применении деревянных труб и если поднимался, то почему не остановились на этих трубах?

А. И. Барабанищikov. Не ожидает ли остальную часть бетонного водовода такая же участь, как и поврежденной его части?

Л. Н. Диасамидзе. Производилось ли геологическое исследование по трассе водовода прежде чем приступать к сооружению? Имеются ли об этом материалы?

Г. Т. Саргисов. Докладчик говорил, что предполагается ремонтировать участок на протяжении 3 километров помощью укладки Джагеровских труб. Между тем эти трубы признаны были слабыми и если раньше перешли на набивной бетон, то какой смысл ставить их теперь?

И. А. Архангельский. Какой состав бетона предполагается применить при ремонте водовода?

Н. И. Надежденский. Не делались ли опыты с применением трасового цемента?

И. А. Шахов. Не делались ли попытки применения асбестового цемента?

К. К. Барсов. Будут ли делаться анализы Джагеровских труб?

А. И. Шахназаров. Докладчик говорил о поражении бетонного водовода в солончаковой почве. Поврежденный водовод совпадает ли с тем водоводом, который был устроен подрядчиком и который был забракован?

А. В. Теплов. Каковы были основания в районах разрушения водовода и не имел ли место осадок?

Председатель. Какие меры предполагается принять при укладке Джагеровских труб для того, чтобы устранить проникновение грунтовых вод через стыки внутрь? Вопросы к докладчику исчерпаны.

В. Е. Тимонов. Не будет ли собранию угодно признать, что докладчик сообщил много ценных данных и сегодня нуждается в ремонте своих сил; не сочтет ли целесообразным Президиум С'езда отложить прения по докладу и возобновить их после предстоящего осмотра в натуре поврежденного водовода.

Председатель. Слово предоставляется П. С. Белову.

П. С. Белов. От лица Президиума С'езда я позволю себе ответить на запрос В. Е. Тимонова. Мы выслушали весьма подробно и блестяще составленную историю болезни дорогого нам сооружения; дорогого потому, что оно стоит многих (свыше 20) миллионов, дорогого сооружения потому, что его строил один из блестящих инженеров нашего времени, инженер Линдлей, дорогого, наконец, еще и потому, что в обсуждении проекта этого сооружения принимал участие IX Водопроводный С'езд. Кажется, все силы природы вооружились здесь против смелой попытки человека провести воду туда, где она была насущнейше необходима. Вопрос с водоводом чрезвычайно сложен и решение его весьма ответственно. Имея в виду практическую важность этого вопроса, с одной стороны, для Баксовета, с другой стороны, важность для всех членов С'езда, которым придется строить подобные водоводы, я предложил бы необходимым из состава членов С'езда образовать специальную Комиссию по этому бетонному водоводу, которая должна совместно с докладчиком и другими лицами, принимавшими участие в этих работах, проф. П. Ф. Горбачевым, проф. В. Е. Тимоновым, а также приглашенными крупными специалистами этого дела, как проф. А. А. Байков и другими—тщательно проработать вопрос и только тогда внести результат обсуждения в Пленум. Таким образом, тезисы, представ-

ленные докладчиком, придется обсуждением временно отложить. Но Пленум С'езда имеет полную возможность теперь же, после заслушания доклада А. Н. Мямлина, высказаться, что Управление водопровода, поставив всестороннее научное изучение причин повреждения водовода, подошло совершенно правильно к разрешению сложнейшей, стоявшей перед ним задаче и сделало все, что можно было сделать, и что сделало бы каждое учреждение, ясно понимающее значение науки в таком сложном и ответственном деле.

Председатель. Угодно будет С'езду согласиться с предложением П. С. Белова образовать специальную Комиссию? Если угодно, то кого просить войти в эту Комиссию. Я думаю, можно будет ограничить эту Комиссию 5—6 лицами.

Голоса. Пусть наметит Президиум.

Председатель. Просим Президиум С'езда наметить Комиссию, предоставив каждому члену, интересующемуся этими вопросами, записаться в эту Комиссию и принять в ней участие. Я думаю, это предложение не вызовет возражений. Разрешите внести на обсуждение С'езда предложение П. С. Белова, что путь, который приняло Управление водопровода в деле выяснения сложных причин разрушения бетонного водопровода, С'езд признает вполне правильным. Возражений не встречается. Принято. Разрешите поблагодарить докладчика за чрезвычайно обстоятельный доклад (аплодисменты).

Доклад проф. П. С. БЕЛОВА.

«Причины повреждений бетонного водовода «Шоллар-Баку» и общие мероприятия по борьбе с ними».

(Доклад о работе Комиссии, избранной на 1 Всесоюзном Водопроводном и Санитарно-Техническом С'езде).

Доложено в Пленарном заседании С'езда 4 мая 1925 г.

Председатель *И. М. Конушкин.*

Основной доклад о дефектах водовода «Шоллар-Баку» был сделан инж. А. Н. Мямлиным в Пленарном заседании С'езда 26 апреля 1925 г.; по заслушании доклада С'езд поручил Президиуму организовать Специальную Комиссию для проработки вопроса о причинах, вызывающих повреждения водовода, а также для выработки общих мероприятий по борьбе с этими повреждениями.

I. Состав комиссии. В исполнение постановления Пленума—Президиумом была организована Комиссия в составе следующих лиц: проф. *Н. А. Алексеев*, проф. *А. А. Байков*, проф. *П. С. Белов*, проф. *П. А. Велихов*, проф. *П. Ф. Гдрбачев*, инж. *Г. К. Дементьев*, инж. *Я. Я. Звягинский*, проф. *К. А. Кашкаров*, тех. *Я. Н. Кондаков*, инж.

П. А. Константинов, инж. *А. Н. Мямлин*, *А. Т. Севастьянов* и проф. *В. Е. Тимонов*.

Кроме того в работах Комиссии приняли участие следующие лица: инж. *И. А. Архангельский*, проф. *Н. Н. Гениев*, инж. *Ф. А. Данилов*, геолог *А. А. Иванчин-Писарев*, проф. *Н. Г. Малишевский*, инж. *В. Э. Новодворский*, химик *С. А. Озеров*, проф. *Д. С. Чернес*.

Перед началом занятий Комиссия избрала Председателем проф. *П. С. Белова*.

II. Характер работ комиссии. Для выполнения возложенного поручения, Комиссия подробно ознакомилась с материалами, приведенными в основном докладе *А. Н. Мямлина*, заслушала его же дополнительный доклад, сопровождаемый большим числом чертежей и диаграмм, заслушала сообщения лиц, принимавших непосредственное участие в сооружении водовода, и наконец, в полном составе, совместно с другими Членами Съезда, выезжала для осмотра поврежденной части водовода на 61—63 кил. Обширный и всесторонне проработанный материал, представленный в Комиссию Управлением Бакинского Водопровода, дал возможность в сравнительно короткий срок закончить свою работу и предложить Съезду определенные выводы.

Комиссия имела 4 Пленарных заседания и 2 заседания Подкомиссий; всем заседаниям Комиссий велись стенографические протоколы; за ограниченностью средств и обширности материалов, приведенных в протоколах—опубликовать их полностью возможности не представляется, почему в дальнейшем приводятся лишь систематизированные общие данные и суждения по вопросам, разбиравшимся в Комиссии ¹⁾.

III. Основные вопросы, поставленные комиссией на разрешение. Комиссия имела суждения по следующим вопросам:

1. Причина разрушения бетонного гравитационного водовода.
2. Возможность применения при имеющихся местных условиях бетона и железобетона при производящемся переустройстве поврежденной части водовода.
3. Вопрос о применении других материалов для устройства в будущем второго водовода.
4. Возможность устройства в будущем напорного водовода вместо гравитационного.

IV. Причины разрушения бетонного гравитационного водовода. Из обширного материала, которым располагала Комиссия, и из ответов лиц, принимавших участие в постройке водовода,

¹⁾ По той же причине ограниченности средств не приводится полностью заключение проф. *П. А. Велихова*, который должен был выехать из г. Баку до окончания Съезда. В заключении проф. *Велихов* признает, что в общем и целом он согласен с постановкой Съезда и подает свое заключение отпуть по в качестве особого мнения, а лишь в целях уточнения некот. деталей вопроса. Заключение проф. *Велихова*, наряду с суждениями других участников Комиссии, нашло свое отражение в настоящем обзоре работ Комиссии.

можно указать на следующие положения, которые позволили ближе подойти к вопросу о причинах повреждения бетонного водовода:

- 1) специального основания под водоводом не делалось, и он набивался на расщебенке, залитой цементом;
- 2) изоляции, ограждающей водовод снизу от действия подпочвенных вод, не прокладывалось;
- 3) дренажа, служащего для постоянного удаления почвенных вод, не было сделано; воды отводились только во время производства работ;
- 4) водовод изготовлялся на месте в формах, установленных в котловане набивным способом;
- 5) состав бетона, по имеющимся данным 1 : 2 : 4;
- 6) портландский цемент Новороссийского завода был нормального качества;
- 7) песок не вполне удовлетворительный—мелкий, не всегда чистый; камневидная составляющая—из местных карьеров;
- 8) по консистенции бетон был трамбованный;
- 9) никаких температурных или упругих швов не было сделано на всем протяжении водовода в 147 килм., за исключением мест прокладки дюкеров, где бетонный водовод прерывался;
- 10) не была проложена изоляция бетона с боков;
- 11) не был устроен дренаж с боков водовода;
- 12) наружное очертание водовода, там где он был открыт, имеет неправильную форму, указывающую, что опалубка применялась только с внутренней поверхности;
- 13) затирки наружной поверхности сделано не было;
- 14) штукатурка внутренняя местами применялась, местами нет;
- 15) Откачка воды при набивке бетона производилась из траншей местами не полная, почему вода могла начать воздействовать на совершенно неокрепший бетон.

Дефекты сооруженного водовода выразились в разных частях его: а) в появлении многочисленных трещин и сдвигов и б) в разрушении самой массы бетона.

Выяснение того, насколько почвенные воды оказали свое влияние на разрушение массы бетона — было поручено комиссией своему сочлену проф. А. А. Байкову, в распоряжении которого были переданы результаты химических анализов, произведенных на 60, 61, 61,5 и 62 62.8 километрах.

По сообщению А. А. Байкова содержание солей в этой воде достигает в первом случае на литр 26,6 граммов, т.е. почти трех процентов. Это — соленость Средиземного моря, где имеется 3½% солей, в Черном море—2% и Каспийском море—1% солей. Затем на следующем участке имеется 14,2 граммов солей, т.е. 1½%, далее— 7,6 граммов и, наконец, 6,95 граммов в 1 литре воды. Следовательно, эти воды очень солены, очень минерализованы и в значительной степени превосходят соленость Каспийского моря. Что касается состава

солей, они состоят из серно-кислого натрия, которого имеется на 26,6 грамм около $14\frac{1}{2}$ грамм. Поваренной соли около 10 грамм. Затем имеется значительное количество магниезальных солей и гипса. Таким образом, грунтовые воды, которые находятся на этом участке, являются безусловно губельными для цемента. Их вредное влияние может быть замедлено, несколько приостановлено, но уничтожено быть не может. Конечно, если будет соприкосновение этих грунтовых вод с бетонными сооружениями, последние должны будут разрушиться. Благодаря выщелачиванию извести, здесь имеется громадное выделение углекислого кальция. Если бы члены Съезда имели возможность проникнуть внутрь этого водовода, как это удалось сделать А. А. Байкову, то они увидели бы, какие громадные отложения находятся на внутренней поверхности водовода. По анализу они представляют углекислый кальций, содержание которого доходит до 97%. Образование его обусловлено тем, что известь из внутренней части бетона выходит наружу и, встречая углекислоту, превращается в углекислый кальций, что указывает на выщелачивание внутреннего раствора и повышение водопроницаемости бетона. Если взять анализ внутренней массы, которая там находится в виде кашеобразной массы, настолько рыхлой, что ее можно выковыривать отсюда пальцами, то оказывается, что в этом продукте находится громадное количество серно-кислых солей. По анализу, который был произведен управлением водопровода, а эти анализы были произведены разносторонне, очень основательно и дают яркую картину того, что происходит, выходит, что в этом перерожденном цементе содержится громадное количество серно-кислых солей. Таким образом, причина рассматриваемого разрушения сводится к тому, что, благодаря отложению серно-кислого кальция, происходит увеличение объема с нарушением прочности и плотности этих растворов. Здесь можно привести несколько цифр. Например, во внутренних частях бетонных стен серного ангидрида содержится $12\frac{1}{2}$ %, т.-е. свыше 25% серно-кислого кальция. Это отложение должно совершенно нарушить механическую прочность цемента и вызвать его разрыхление. Из этого анализа выходит, что причинами этих разрушений являются: водопроницаемость бетона, из которого составлен водовод, и присутствие минеральных солей, серно-кислого натрия и хлористого натрия, которые находятся в грунтовых водах. В этих условиях разрушения бетона являются неизбежными, поскольку он водопроницаем. Для того, чтобы можно было бороться с этим явлением, нужно сделать бетон водовода водонепроницаемым. И лучше всего сделать его не подвергающимся снаружи непосредственному действию грунтовой воды. Если этого не будет сделано, то указанный выше процесс должен будет совершаться в большей или меньшей степени и должен будет привести к полному разрыхлению бетона.

Профессор *В. Е. Тимонов* возбудил вопрос, в какой мере эти изменения являются общими для других частей водопровода. По мнению А. А. Байкова они будут иметь общее значение, ибо все здеш-

ние породы являются породами солончаковыми и они непременно должны давать соленые грунтовые воды. Там, где мы будем иметь эти минерализованные воды, там будут наблюдаться и эти явления. В Шолларе, где меньше минерализованных вод, там этих разрушений не наблюдается. Если припомнить прекрасную картину этой местности и сопоставить ее с бесплодной равнинностью южных мест, то представится ясно связь между грунтовыми водами и тем разрушением, которое наблюдается в водоводе при солончаковых грунтах. Разрушение водовода под влиянием грунтовых вод является фактом, который не подлежит никакому сомнению. В этом отношении нельзя упрекать ни производство работ, ни состав цемента, ни состав раствора. Разрушения бетона являются естественными, благодаря этим грунтовым водам. Подобные же разрушения наблюдаются повсюду, где имеются такие воды. В этом отношении особо опасными являются гипсовые воды и серно-кислые воды; как показывает нам изучение вопроса, во всех странах, особенно во Франции, в Испании и Алжире, происходит разрушение бетонных сооружений под влиянием серно-кислых вод. В Алжире разрушение наблюдалось через шесть месяцев. Здесь мы имеем разрушение через 7 лет. Это показывает, что мы находимся в более благоприятных условиях, и что здешние бетонные сооружения меньше подвергались действию этих вод чем в других местностях. Вот почему в заключение, которое вытекает из рассмотрения этих явлений и анализов, произведенных очень подробно Бакинским водопроводом, можно сказать, что эти анализы дают полное освещение данного вопроса. Можно привести для примера некоторые другие данные: имеются сведения относительно разрушения водопровода в Алжире, где находятся аналогичные условия, а именно: имеются местности, покрытые солончаком и имеющие гипсовую почву; там водовод подвергся сильному разрушению; трубопровод из пресованных цементных труб через 4 месяца обнаружил очень значительные повреждения, несмотря на то, что вода содержала всего 4 грамма солей на 1 литр, вместо 26 граммов, которые мы имеем здесь. То же наблюдается в тоннелях линии St Liron Joix, где воды содержали 21 грамм солей на 1 литр, там наблюдалось быстрое разрушение. В Испании было то же самое.

При дальнейшем обсуждении этого вопроса в Комиссии было высказано следующее:

Разрушение водовода происходит также в безводном и не болотистом районе, но имеющем котлованы, так как скопляющаяся в них дождевая вода, пройдя через солончаковую почву, минерализуется и разрушает водовод.

По сравнению с морскими водами грунтовые воды, встречающиеся на пути Шолларского водовода, являются более вредными, так как в их составе преобладают сернокислые соли, образующие отложения гипса и сульфо-аллюмината извести, тогда как в морской воде главной составной частью является менее вредный хлористый натрий.

По мнению *С. А. Озерова* характер разрушения водовода под-

тверждается следующим фактором. Протекающая по водоводу Шолларская питьевая вода во время своего движения теряет жесткость в значительном количестве—на 2—3°, при чем это уменьшение происходит не биологическим путем и не вследствие уменьшения угольной кислоты, а целиком за счет вымывания из бетона едкой извести (происходит как бы искусственное умягчение воды). По подсчетам, потеря 20—30 миллигр. окиси кальция на 1 литр соответствует 240—360 мг., а в среднем 300 милл. на 1 ведро воды дает при суточной подаче 2 миллиона ведер в сутки 600 кил., а в год 219 тонн выщелачиваемой извести. Считая, что выщелачивание происходит по всей длине водовода 160 километров, получаем на 1 погон. метр длины водовода 1,4 кил. При среднем весе 1 пог. метра водовода 360 кил. и количестве имеющейся водной окиси кальция в нем 36 кил. (10%) оказывается, что ежегодное выщелачивание достигает $\frac{1}{2}\%$ всего содержащегося в материале водовода количества извести. При колебании температуры на своде водовода получается температура ниже точки росы, что влечет к образованию капель воды. Эти капли, стекая по водоводу, способствуют также вымыванию извести (подобное явление образования натечков наблюдается и в Рублеве). Шолларская вода является очень чистой, не содержащей почти никаких примесей и осадков водой. Это является показателем того, что вода не насыщена полностью, следовательно, ее растворяющая способность очень велика, что является неблагоприятным обстоятельством для водовода.

Установив, таким образом, основную причину разрушения бетона от действия почвенных вод, Комиссия, на основании полученных материалов, отметила следующие недостатки производства работ (*П. А. Великов*):

- 1) повидимому, не были приняты надлежащие методы отсеивания песка и гравия, 2) не были приняты меры к достаточному обжелезнению поверхности бетонной кладки, 3) не были приняты меры к тому, чтобы поверхность бетона не была покрыта отдельно штукатуркой, но затиралась цементом и зажелезнялась сама по себе, тогда как эта поверхностная пленка имеет громадное значение, 4) новидимому, не были приняты меры к тому, чтобы это сооружение в целом было защищено от наружного воздействия температуры, ибо упругих швов устроено не было, 5) не было устроено надлежащего отвода дренажа, 6) абсолютно не было на водоводе никакого изолирующего слоя, 7) бетон трамбовался на месте отдельно в три очереди, при таком трамбовании могло не образоваться монолитности сооружения, 8) еще не окрепший бетон сразу подвергался действию соленой воды, вследствие чего в некоторых местах через несколько месяцев после устройства водовода уже наблюдалось выщелачивание бетонной кладки, 9) песок применялся не надлежащего качества, известковый, 10) набивка труб производилась в траншеях, при чем повидимому даже во время самой работы производилась не полная откачка воды из траншей, 11) внутренняя штукатурка бетонного водовода препятствовала выходу просачиваю-

щейся почвенной воды и заставляла распространяться ее в толще бетона, нанося тем ему большой вред, 12) наружной штукатурки, могущей предохранить бетон—сделано не было.

VI. Возможность применения бетона и железобетона при имеющихся местных условиях.

По поставленному вопросу о том, уместно ли при данных местных условиях применять бетон и железобетон, Комиссия, не отрицая того, что применение других материалов, если нам считается с экономической стороной дела,—дало бы более надежное сооружение—высказалась за полную возможность применения при данных неблагоприятных условиях, как бетона, так и железобетона, но при условии:

а) соблюдения основных требований строительного искусства, б) тщательности работ и в) применения особых мер, вызываемых местными условиями.

Материалы и условия производства работ должны удовлетворять следующим требованиям (П. А. Велихов).

Растворы должны быть жирные так называемые «жирно плотные растворы» с содержанием цемента не менее 450 кил. в 1 куб. мет., как то требуется нормами Народного Комиссариата Путей Сообщения для железобетонного судостроения. При пропорции 1:1½:3 достигается большая водонепроницаемость материала как в пуццолановых, так и вообще в портланд-цементях.

Целесообразна прибавка таких материалов, которые уменьшили бы растворимость извести. В этом отношении нужно указать на трасс. Прибавка трасса имеет только одно неприятное следствие, что бетон твердеет медленнее, чем без трасса, но стойкость его повышается, и таким образом, имеется возможность получить более прочные и более устойчивые сооружения. В этом отношении крымский трасс оказался материалом превосходного качества—он значительно превосходит итальянские пуццоланы. Прибавка его вызывает увеличение плотности раствора, уменьшение водонепроницаемости и уменьшение выщелачивания, а сам раствор является более дешевым. Наилучшая пропорция такая: на 1 часть цемента 1 часть трасса, или на 4 части цемента—3 части трасса. Получается смесь, которая дает хорошую прочность, и мало выщелачивает раствор. Как показали многочисленные исследования в Алжире, во Франции и Испании, такого рода материалы оказываются менее всего поддающимися действию сернокислых вод. При производстве этих работ в дальнейшем, прибавка трасса является необходимой, независимо от того, будем ли вводить те или иные изоляционные слои. Одна прибавка трасса может достигнуть чрезвычайного увеличения долговечности водовода (пр. А. А. Байков).

Представители Бакинского водопровода сообщили, что Новороссийский завод не имеет готового трассового цемента и не выраба-

тывал его, а лишь предполагает начать выработку по получении большего заказа. В представленных заводом сведениях нет данных о водонепроницаемости трассцемента и о воздействии на него соленых грунтовых вод. Поэтому Бакинским водопроводом был заказан обычный портланд-цемент.

По этому вопросу проф. П. А. Велихов и А. А. Байков указали, что дело изготовления трасс-цемента может быть легко и быстро организовано Новороссийским заводом, в качестве же такого цемента сомневаться не приходится, так как при испытании на Новороссийском заводе и на Волховстрое этом цемент дал блестящие результаты. Окончательная калькуляция на него еще не выработана, но цены на него не должны быть особенно высоки.

Если сравнивать механические качества трассового цемента и портланд-цемента, через короткие сроки, то портланд-цемент дает более высокие результаты, а через продолжительные сроки получается обратное соотношение. Поэтому о механических свойствах трассцементов следует судить по результатам не кратковременных, а продолжительных испытаний.

Пуццолановые цементы устойчивы химически и в частности хорошо противостоят действию сернистых солей; они не проницаемы для воды, что доказано опытами в Институте Инженеров транспорта (Москва); достаточно прочны механически и дешевы.

Этот сорт цемента мог бы быть изготовлен на Бакинском Цементном заводе путем заводского измельчения и смешения обыкновенного портланд-цемента с одним из пуццоланических веществ, залежи которых имеются между прочим на Кавказе—близь Нальгака (П. А. Велихов).

Указывалось также на наличие Тампоначного цемента, выпущенного под маркой «высоко-сортного». Этот цемент обладает хорошим качеством в смысле прочности, он настолько быстро схватывающийся, что в него для замедления схватывания вводят гипс (проф. П. Ф. Горбачев).

Песок для изготовления бетона должен быть очень хорошего качества. Наиболее желательным является кварцевый песок, но при его отсутствии возможно применять и другой сорт песка из пород раз'едаемых грунтовыми водами., напр., полево-шпатовый. При худшем качестве песка следует увеличивать количество цемента. Гравий следует применять чистый, речной, дробление его не обязательно. Требования к этим материалам—подробно изложены в тексте железобетонных норм (см. доклад П. А. Велихова).

Штукатурка водовода не целесообразна, так как она представляет собой корку, под которой образуется творогообразная рыхлая масса бетона; железнение бетона должно быть признано необходимым, как с внутренней, так и с наружной стороны.

Бетонный водовод должен быть покрыт с наружной стороны слоем изоляции. В качестве таковой в настоящее время Бакинским Водо-

проводом применяется горячий асфальт, при чем добавляется воск и канифоль в следующей пропорции:

На 740 кил. асфальта—2,0 кил. воску.

» » » » —0,8 1,2 кил. канифоли.

Члены Комиссии обратили внимание на то, что хотя асфальт и применяется на практике, но он не является идеальным изолирующим материалом и во всяком случае хорошо изученным; желательно получить об этом отзыв от более узких специалистов и поставить надлежащие наблюдения.

Необходимо иметь упругие стыки труб хотя бы через некоторые промежутки (проф. П. С. Белов). Представители Бакинского Водопровода указали при этом, что первоначально стыки укладываемых Джаггеровских труб заделывались гудроном, но он очень скоро остывал и внутри оставались пустоты, почему эти стыки заделали цементом.

Грунтовые воды необходимо отвести рационально устроенным дренажем, обеспечивающим сток дренажной воды. Дренаж необходимо делать из труб, так как дренаж из щебня может весьма быстро заилиться глиной и перестанет действовать. В том случае, если существующий водовод перестанет служить своему назначению, целесообразно будет использовать его для отведения грунтовых вод.

Относительно способа производств работ большинство членов Комиссии высказалось за желательность изготовления водовода на поверхности земли в виде отдельных звеньев, выдержать их некоторое время в воздухе с тем чтобы получилось достаточное затверждение бетона, и опускать затем в траншеи. Только при этих условиях может быть применено правильное покрытие наружного слоя бетона изоляцией. При необходимости набивания водовода на месте в траншеях необходимо особенно тщательно следить за отведением дренажем грунтовых вод, а также применять трассцемент.

По вопросу о бетонных трубах, изготовленных по Джаггеровскому способу и принявших первое время, а затем оставленных (при чем большое количество готовых труб имеется в наличии), Комиссией было заслушано заключение проф. *Н. А. Белелюбского*, сделанное им еще в 1912 году (см. приложение к докладу).

Профессором *П. А. Велиховым* был дан следующий отзыв о Джаггеровских трубах, осмотренных Комиссией на том месте, где они сложены.

По имеющимся данным, испытание Джаггеровских труб было произведено при нагрузке, не соответствующей нормальной работе труб; нагрузка была до $6\frac{1}{2}$ тонн. Очертание Джаггеровских труб было намечено правильно. Толщина труб на глаз представляется недостаточной. На трубах заметны небольшие трещины механического происхождения, поскольку они не слишком велики, беспокоить нас они не должны. В настоящий момент существует такой подход к этому вопросу, что трещины в каменном бетоне в массивных сооружениях, поскольку они не влекут дальнейших осложнений, должны быть рас-

смаатриваемы так, что материалы ищут свои шарниры; они должны оставаться только в порядке известного наблюдения.

По вопросу о применении железобетона были высказаны мнения, что железобетон является более лучшим материалом в техническом отношении, но более худшим в химическом. При наличии сернистых солей в грунтовой воде имеющееся внутри железобетона подвергается интенсивному ржавлению; для избежания этого потребуется столь серьезная бетонная перекрышка арматуры и столь солидная изоляция, что экономические преимущества железобетона могут отпасть. Лишь на участках, где водовод подвергается механическому воздействию со стороны грунта, а также, где имеется серьезная внешняя нагрузка (напр., под железными дорогами), применение железобетона явится предпочтительным перед бетонным.

VII. Вопрос о применении других материалов для устройства водовода.

Из других материалов, которые могли бы быть применены для устройства гравитационного водовода, Комиссия рассмотрела следующие

а) Камень. Камень является наиболее подходящим и долговечным материалом (проф. В. Е. Тимонов), тем не менее морская практика показывает, что разрушаются и бутовые массивы с хорошей притиркой (проф. А. А. Байкоз).

б) Кирпич. Кирпич хорошего качества является также вполне пригодным материалом для устройства водовода. При кирпичной кладке возможно разрушение цементных швов и повреждений водовода.

в) Чугун. Применение чугунных труб вполне возможно, но они экономически нецелесообразны—чугунные трубы уже уложены на одном участке длиной 1200 метров. При укладке чугунных труб полезно устройство смотровых колодцев, что весьма облегчает ремонт.

г) Сталь. Применение стальных труб также экономически нецелесообразно. Вследствие их эластичности они желательны на участках, подвергающихся дислокациям.

д) Дерево. Применение деревянных труб для гравитационных водоводов, работающих неполным сечением, не может быть рекомендовано, так как возможно загнивание дерева, хотя имеются случаи безупречной работы деревянных водоводов, работающих не полным сечением (В. Е. Тимонов).

VIII. Возможность устройства напорного водовода.

Гравитационный канал, укладываемый из-за необходимости соблюдения определенного уклона на больших глубинах, мог бы быть в известных условиях заменен напорным водоводом, что может даже оказаться более выгодным экономически (инж. Ф. А. Данилов). Наиболее подходящим материалом для напорного водовода является сталь; стальные водоводы отличаются прочностью и гибкостью.

IX. Постановление Комиссии.

На основании всех материалов, имевшихся в распоряжении Комиссии, а также на основании личного осмотра членами Комиссии поврежденного водовода, Комиссия пришла к целому ряду ниже приводимых выводов, которые были доложены Пленуму Съезда и им приняты см. стр. 227).

Приложение № 1 к докладу проф. П. С. Билова.

«Отзыв профессора Н. А. Белелюбского по вопросам, касающимся применения метода Джаггера» для Банинского водопровода.

20 и 21 июля 1912 года.

«Прибыв, в сопровождении Заведывающего Отделом по постройке водопровода инженера П. П. Фрезе, Заместителя Главного Инженера—С. Ф. Скрживана и Помощника Главного Инженера Р. Л. Утгофа, в Хамчас, я осмотрел изготовленные на заводе Джаггера и подготовленные к производству испытания на раздавливание и на водонепроницаемость бетонные трубы, равно как и самый завод со всеми относящимися к нему механизмами и приспособлениями.

Принцип изготовления бетонных изделий по способу Джаггера, получаемых помощью вибрации в формах, заслуживает, по моему мнению внимания и изучения. Связанное с этим принципом уменьшение размеров в ответственных частях труб и установление пропорций должно основываться на сравнительных опытах, а не только на основании гарантийного заявления предпринимателя, так как, за отсутствием сравнительных опытов в отношении сопротивления давлению и сравнительной водонепроницаемости, трудно установить преимущество одного способа перед другим.

В присланной мне брошюре Джаггера не имеется никаких в этом отношении указаний, в особенности касающихся водопроводных труб.

В настоящем случае о технических достоинствах труб, изготовленных по способу Джаггера, возможно судить лишь по непосредственному опыту готовых изделий и по характеру поверхностей и изломов труб, выходящих из фабрикации.

Произведенные в этом отношении обследования дают следующие результаты:

Испытанная на давление труба № 834, изготовленная 29 апреля с. г. (2 мес. и 20 дней), нагрузку в 6,5 тонн выдержала без малейших трещин; появление трещин было замечено при 8,5 тоннах, а излом—при 8,7 тоннах.

Вторая труба, взятая по моему выбору, изготовленная 17 мая с. г. (2 мес. и 2 дня), выдержала без трещин 5,9 тонн, при 6,1 тонн появилась сверху трещина, которая распространялась почти по всей длине.

Первая труба после разрушения была разбита на куски, излом оказался весьма плотный с равномерным распределением составных частей материала в разных частях трубы.

Обе трубы имели дефекты в раструбах в виде обнаженного графия, хотя и плотно сидящего.

Осмотр других труб показал, что избежать этих дефектов возможно, что также подтвердил и технический надзор, указавший, что в последующем производстве, основанном уже на большем опыте, подобных дефектов уже возможно было избежать.

Осмотр изготовленных труб указывает на существование на наружной поверхности небольших каверн и потеков, вероятно, происходящих, вследствие содержания воздуха и излишка воды, чего также следует, и, вероятно, возможно, избежать.

В общем же, как внутренняя, так и наружная, поверхности достаточно гладки, и все тело труб представляет одну сплошную однородную массу. По моему мнению, затирка мелких каверн раствором чистого цемента вполне допустима, когда это делается в свежем состоянии труб, как это и имеет место.

Следует при всем этом заметить, что самое производство опыта на изготовленном подрядчиком рычажном приборе не отличается достаточной точностью, в виду несовершенства прибора, и действительные результаты могли бы быть более благоприятными по сравнению с полученными.

Трубы двухмесячного срока, поставленные в траншею и нагруженные чистым песком, высотой 9,5 метр. над ключом свода, при настоящем осмотре не обнаружили никаких дефектов (трубы нагружены более месяца тому назад). В четырех трубах, наполненных до известного горизонта водой, согласно договорным условиям, и снабженных водомерными стеклами, по наружному осмотру никакого потения не оказалось.

Затем осмотрен был стык двух труб, исполненный по указанному в договоре способу. Способ этот, по моему мнению, представляется допустимым. Вырезанный на месте стыка кусок бетона показывает непрерывность однородного строения.

Завод по изготовлению труб не действовал, тем не менее был осмотрен и пущен холостым ходом. Осмотр устройства естественно приводит к тому заключению, что план относительного расположения частей, например, бетоньерок и платформ для трясения, нельзя признать удовлетворительным и несомненно, что при изменении конструкции возможно достигнуть более благоприятных результатов, в особенности в отношении необходимости одновременного поступления отдельных составных элементов бетона в формы.

По совокупности отмеченных обстоятельств я полагаю, что способом Джэггера возможно получать удовлетворительно исполненные трубы, отличающиеся плотностью строения и правильным видом поверхностей; что же касается исполнения требуемого договором нагру-

жения до 6,5 тони на 2 метра, то, несмотря на отсутствие каких либо опытных данных, но все же, пользуясь полученными результатами, как сегодняшнего посещения, так и сообщенными мне техническим надзором данными, полагаю, что требуемое давление через 2 месяца по изготовлению труб, повидимому, чрезмерно, в особенности по сравнению с опытом нагружения столбом земли и имея в виду результаты испытания на непроницаемость.

В данном случае, я, в силу полученного довольно высокого результата испытания на давление трубы, изготовленной за три месяца и принимая во внимание, как уже установлено рядом исследований, что сопротивление бетона значительно возрастет с его возрастом, а также и то обстоятельство, что эксплуатация водовода начнется, по всей вероятности, гораздо позже двух месяцев со времени изготовления труб, полагал бы возможным: не настаивать на требовании давления 6,5 тонн для 2-месячных труб, относя эти требования к 3-месячному сроку.

Помимо сего, норму, для предусмотренного договором механического испытания труб на раздавливание, полагал бы обосновать опытным путем, произведя параллельные испытания, как нормальных кубических образцов на раздробление, так и цельных труб на нагрузку, при чем желательно требовать минимального сопротивления куба, обусловленного составом бетона, не менее 180 клг. на кв. см. через 28 дней, при размере кубов от 20 до см. в стороне. Что же касается предложенной Джгером замены толщины стенок труб при набивном бетоне в 225 мм. (9 дюйм) толщиной стенок Джаггеровских труб в 127 мм. (5 дюйм.), то, за отсутствием каких-либо мотивированных данных со стороны изобретателя, оправдание означенного изменения в трубах возможно было бы подтвердить лишь опытами на раздробление отрезков труб одинаковой длины, изготовленных по обоим способам при соответственных толщинах. Если же не следовать по этому пути, то оставалось бы довольствоваться лишь заявляемой предпринимателем гарантией, что не желательно.

Признавая таким образом, возможным применение Джаггеровского способа с указанными оговорками, полагаю, что успех дела по исполнению Бакинского водоснабжения существенным образом может быть обеспечен допущением обоих способов изготовления труб, т. е. набивного и по методе Джаггера, тем более, что: 1) с немедленным приступом устройства водовода набивным путем явится возможность тем временем докончить изучение и улучшение устройства по Джаггеровскому способу и, таким образом; в дальнейшем использовать имеющиеся уже значительные заводские устройства и 2) подобного рода ведение дела двумя параллельными методами даст возможность контрагенту пользоваться тем или другим способом заготовки труб в зависимости от местных условий, существенно неодинаковых на протяжении водовода.

Ответы профессора Н. А. Белелюбского на вопросы, заданные техническим надзором.

Примечание: Ссылка на § 7 договора от 14/III—1911 г. измененный постановлением Управы от 23/III—1911 года.

В о п р о с ы.

О т в е т ы:

И. Це м е н т.

1) Достаточны ли при настоящих ответственных работах принятые нормы испытания растворов на разрыв после 7-ми дней—13 клг. и после двадцати восьми дней—18 клг. и на раздробление соответственно 130 и 180 клг., предвидя эти испытания на немецком нормальном песке?

1) Испытания на русском нормальном песке, согласно исследованиям, как русских, так и немецких лабораторий, дают сопротивления меньшие, приблизительно на 30%. Таким образом для разрыва следовало бы считать 9,1 клг. и 12,6 клг. а для раздробления 91,0 и 126 клг. В отличие от технических условий М. П. С. от 1905 года на цементном С'езде в Москве в 1912 г. требуемые ранее нормы повышены, как раз до указанных пределов. А потому требования, поставленные в договоре, соответствуют повышенным требованиям, еще подлежащим проведению в официальном порядке. Что же касается сопротивления на сжатие, то по договору он составляет десятерное от сопротивления на разрыв. По последнему же циркуляру от 1911 г. это требование постановлено не менее восьмерного. Во всяком случае полагаю 7-дневное испытание на раздробление считать факультативным, требуя испытания 28-дневного.

Указанная в основном договоре норма, 28 клг., для чистого цемента совершенно достаточна (Министерская норма 25 клг.).

2) Можно ли, при неудовлетворении 7-дневным договорным нормам, считать цемент удовлетвори-

2) Полагаю возможным допустить такой цемент при условии, что семи-дневный результат будет выше тре-

тельным, если двадцати-восьмидневные испытания удовлетворительны? — буюемого приказом от 1911 года и что такой цемент будет допущен в работу не ранее месяца.

3) Следует ли настаивать на пробе кипячением? — 3) Безусловно; в виду ответственных работ следовало бы требовать этой пробы, которой удовлетворяют все лучшие русские цементные заводы.

4) Какое содержание SO_3 допустимо без вреда для дела? — 4) На основании общих технических условий $1\frac{3}{4}\%$.

5) Каков должен быть удельный вес цемента? — 5) Должно быть 3,06 нормально после сушки в 120° , во всяком же случае не ниже 3,05; при удовлетворении остальных условий проба накаливанием не должна быть произведена.

6) Какова допустимая норма остатка на сите в 900 отверстий? — 6) Требование не более 2% вполне допустимо; надо иметь в виду, что это требование строже министерских норм.

7) Какова допустимая норма остатка на сите в 4900 отверстий. — 7) Не более 20% допустимо.

8) Каково допустимо время схватывания? — 8) Должно быть не свыше 8-ми часов.

9) Имеет ли влияние на результаты испытаний производство их на дистиллированной воде? — 9) Допускаемые колебания в пределах по различным родам испытания покрывают ничтожное влияние рода воды, применяемой для испытания.

10) Как следует поступать с цементом, содержащим в себе значительное количество легко рассыпающихся в пальцах и заведомо не отсыревших, но только слежавшихся комьев? — 10) Весь цемент в таком случае должен быть просеян, после чего необходимо произвести контроль испытаний, при коих льготность не допускается. Предпочтительно вообще доставка цемента в бочках.

II. Песок.

11) Допустимо ли в песке содержание глины; в каком количестве? — 11) Допустимо в количестве до 5% . При большем содержании глины, песок следует промывать или отмучивать.

12) Каков максимальный предел величины зерен песку? — 12) Допущенное на работах сито 3 мм. следует признать правильным.

13) Существует ли минимальный предел и следует ли отделять от песка содержащуюся в нем мелочь? — 13) Предела этого нет. По соображению с принятым во Франции пятиситным нормальным песком.

- 14) Можно ли для ответственных работ применять Дербентский и чистый ракушечный песок с малым содержанием кварца?
- 14) Применение в работу известковых песков, с сравнительно малым содержанием кварца, как показывает пример Швейцарских работ, вообще допустимо, за исключением случаев действия высоких температур. Дербентский песок необходимо перед употреблением в дело просеивать.

III. Гравий.

- 15) Допустим ли для Джаггеровских труб, принятый договором, размер гравия 3 см.
- 15) Было бы правильнее, в виду тонкости стенок, установить несколько меньший размер, не более 25 мм.
- 16) Возможно ли допущение в работы по изготовлению Джаггеровских труб чистых кругляков, прошедших через грохот в 3 см.
- 16) Желательно, чтобы чистый гравий (кругляки) смешивался с колотым гравием (щебнем) и чтобы последнего было не меньше $\frac{1}{3}$ по объему.
- 17) Необходимо ли требовать от подрядчика повторного грохочения щебня, выходящего из дробилки для отделения песку?
- 17) Да.
- 18) Необходимо ли требовать от подрядчика вторичной промывки щебня, выходящего из дробилки.
- 18) Нет.

IV. Джаггеровские трубы.

- 19) Достаточно ли, при приемке труб, испытание на нагрузку одного процента принимаемой партии?
- 19) Достаточно, но при условии, чтобы число испытываемых труб для принимаемой партии было не менее трех.
- 20) Необходимо ли производить испытание труб внутренним давлением?
- 20) Если трубы не будут работать под напором, то считаю такое испытание не соответствующим их действительной службе.
- 21) Необходимо ли хранить трубы, по изготовлении, в течение 8 дней в воде?
- 21) Необходимы меры, предохраняющие трубы от действия солнца и ветра и обеспечивающие влажное их состояние. Необходимости хранить трубы в воде нет.

22) Возможно ли принять трубы, изготовленные подрядчиком на Хач-масском заводе. На каких условиях? 22) Приемка этих труб возможна. Естественно, нужно отбросить трубы с трещинами и оголениями. Испытание на пропускаемость произвести по договору, а также испытание на сжатие, допуская норму 6500 кгг. для труб, возрастом до 3 месяцев.

Постановление С'езда по докладам А. Т. Севостьянова, инж. А. Н. Мямлина и Комиссии, организованной под председательством проф. П. С. Белова. «По рассмотрению вопросов о поврежденных бетонного водовода Баку-Шолларского водопровода и по выработке общих мероприятий по борьбе с ними^{*)}».

1) С'езд признает, что путь, который выбрало Управление Бакинского водопровода для выяснения сложных причин разрушения бетонного водовода, с научной стороны поставлен вполне правильно.

2) На основании всех материалов, имевшихся в распоряжении С'езда, а также на основании личного осмотра членами С'езда поврежденного водовода, С'езд пришел к нижеследующим выводам:

1. Среди причин, вызвавших повреждение части Шолларского водовода, можно отметить две главнейшие: а) химическое действие грунтовых вод, содержащих большое количество раз'едающих бетон солей и б) влияние дислокации (сдвиги, сбросы, оползни и пр.). Кроме этого, на ускорение процесса разрушения могли повлиять также и некоторые недочеты работ, вызванные частью стремлением возможно быстрее пустить воду в город, во время сооружения водопровода в 1912—1916 г.г.

2. Хотя в условиях данного места наиболее целесообразно применение водовода из камня соответствующих пород, тем не менее и бетон является материалом, пригодным для водовода в данном случае при выполнении следующих условий:

а) Бетон должен быть жирным с содержанием цемента не менее 450 килограмм на 1 куб. метр бетона.

б) Песок для бетона должен быть чистым, просеянным и отмытым.

Качество его должно быть наилучшим по местным условиям, при чем в зависимости от крупности его должна изменяться и пропорция цемента, идущего на приготовление бетона.

в) Гравий, употребляемый на бетон, должен быть смешанный, а именно частью естественный, частью же раздробленный, чистый и промытый.

г) Для увеличения водонепроницаемости и химической устойчивости требуется обязательное добавление к цементу трасса, или других аналогичных веществ, или применения трассового цемента.

^{*)} Доклад А. Т. Севостьянова: «Водоснабжение Баку», в котором лишь попутно приведены данные о водоводе Шоллар-Баку—помещен в выпуске № 3 Трудов С'езда.

д) По наружной поверхности водовода должна быть произведена затирка бетона чистым цементом и его ожелезнение, а поверх этого должен быть положен изолирующий слой из материалов, который не должен пропускать воды и не должен разрушаться от грунтовых вод; для выбора изолирующего материала и способа его нанесения необходимо обратиться к соответствующему специалисту.

е) Водовод должен быть также зажелезнен и по всей внутренней поверхности.

ж) Пропорция веществ, входящих в бетон, должна быть обоснована на соответствующих опытах.

з) Нельзя допускать воздействия воды на неокрепший бетон. В виду этого следует предпочесть устройство отдельных звеньев водовода на поверхности земли с укладкой их на место достаточно окрепшими.

и) Для постоянного отвода грунтовой воды надлежит устроить дренаж с прокладкой дренажных труб. Выходящей дренажной воде должен быть обеспечен сток, в противном случае должна быть устроена перекачка дренажных вод.

н) Для наблюдения за высотой стояния грунтовых вод должны быть устроены наблюдательные скважины или шурфы, на глубину до основания водовода.

л) Для уменьшения проникновения к водоводу поверхностных вод необходимо принять меры по отводу поверхностных вод посредством канав, дренажей и пр.

м) Стыки труб, хотя бы через некоторые промежутки, должны быть сделаны упругими.

3. Обращаясь к конкретным условиям ныне производящихся работ по исправлению Шолларского водовода на 61—63 килом. и констатируя отсутствие наличности высокосортного кварцевого песка и затруднения в устройстве водовода из бетонных звеньев, построенных вне траншей, Комиссия полагает, что хотя отмеченные обстоятельства не могут не влиять на степень долговечности сооружения, но тем не менее при надлежащей промывке и просевке песка и при оставлении дренированной траншеи открытой до отвердения бетона, могут быть получены достаточно удовлетворительные результаты, и потому упомянутые условия не должны служить поводом к непроизводству работ из набивного бетона в траншеях.

4. Применение железобетона для устройства Шолларского водовода с точки зрения химического воздействия воды не представляет преимуществ перед бетоном и требует особо высокого качества бетона и особенной тщательной изоляции. На участках, где можно опасаться дислокации (сдвигов, сбросов, оползней и пр.) грунта, железобетон заслуживает предпочтение перед бетоном, как более упругий материал.

5. Цемент, применяемый для выделки бетонного водовода, должен удовлетворять специальным требованиям в отношении возможно меньшего содержания глинозема.

6. Применение стальных и чугунных труб для устройства гравитационного водовода является экономически нецелесообразным. Стальные трубы с технической точки зрения желательны на участках, подвергающихся дислокации.

7. Применение деревянных труб для гравитационного водовода, работающего неполным сечением, тоже не может быть рекомендовано, за отсутствием достаточно продолжительного опыта в этом отношении. При проектировании водовода 2 оче-

реди желательно составление второго варианта стального напорного трубопровода, который может оказаться экономически выгодным.

8. В целях предохранения бетонного водовода от дальнейших разрушений необходимо организовать наблюдения за его состоянием и в случае обнаружения тех или иных повреждений принять соответствующие меры согласно изложенны выше указаний.

3) Благодарить Комиссию и ее председателя за труды по вопросу о повреждении Баку-Шолларского водовода и о мерах к исправлению этого водовода.
