

Տպագրվում է Հայկական ՍՍՏ Գիտությունների Ակադեմիայի
Նախագահության կարգադրությամբ:

Պրեզիդենտ Վ. Հ. ՀԱՄԲԱՐՉՈՒՄՅԱՆ

*Печатается по распоряжению Президиума Академии
Наук Армянской ССР.*

Президент В. А. АМБАРЦУМЯН

ԽՄԲԱՐՉՈՒՄՅԱՆ ԿՈՒՆԳԻՍ՝ Վ. Գ. Ազատյան (պատ. քարտուղար), Ա. Գ. Արարատյան,
ՀՍՍՏ ԳԱ իսկական անդամ Բ. Վ. Նդիգալարով, ՀՍՍՏ ԳԱ իսկական անդամ Մ. Գ. Թուման-
յան (պատ. խմբագիր), ՀՍՍՏ ԳԱ իսկական անդամ Կ. Ն. Չաֆֆենհոլց, Ա. Ա. Րիխտեր:

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: В. Д. Азатян (ответ. секретарь), А. Г. Арара-
тян, действительный член АН Арм. ССР И. В. Егиазаров, действительный член АН
Арм. ССР К. Н. Паффенгольц, А. А. Рихтер, действительный член АН Арм. ССР
М. Г. Туманян (ответ. редактор).

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

М. З. СИМОНОВ

**Вибрационный станок МС—1
для изготовления пустотелых легкобетонных плит**

Вводная часть

В течение многих лет автор работает над изучением свойств низко модульных бетонов, к каковым прежде всего относятся различные виды легких бетонов. Низко модульные бетоны по своим свойствам заметно отличаются от так называемых обычных бетонов. Разработанный автором метод скользящей виброопалубки на основе которого могут быть изготовлены разнообразнейшие виды пустотелых и сплошных бетонных и железобетонных изделий учитывают прежде всего особенности легких бетонов.

Принципы нового метода и его возможные практические применения описаны в специальной брошюре, а также в статьях автора 1,2,3. Описываемая конструкция вибрационного станка МС—1 для изготовления пустотелых легкобетонных плит основана на методе скользящей виброопалубки. Первый вариант такого станка был разработан автором еще до Отечественной войны, в Тбилисском научно-исследовательском Институте Сооружений и Гидроэнергетики.

Построенный по тогдашним чертежам станок применялся на ряде строек в Цхалтубо и в Тбилиси.

На станке было изготовлено около 40 000 пустотелых легкобетонных плит размерами $40 \times 60 \times 10$ см с тремя продольными пустотами 5×10 см. С одного торца пустоты были замкнуты, а в боковых узких гранях плиты имели паз и гребень. Из этих плит изготовлялись сборные перегородки. Описываемый вариант станка разработан автором в Институте Сооружений Академии Наук Арм. ССР. В проект внесены все те улучшения, которые выявились в результате 3-х летнего периода опытной эксплуатации станка. Некоторые изменения внесены также в размеры изготавливаемых плит. Длина увеличена до 75 см; количество продольных пустот принято 4 и узкие боковые грани делаются без пазов и гребней.

Увеличение количества пустот улучшает транспортабельность свежизготовленных плит на подкладках, а пазы и гребни признаны излишними, поскольку прочность шва между плитами получается

достаточно высокая и без пазов и гребней, благодаря свойственной легким бетонам шероховатой поверхности.

Что касается размеров плит по ширине и длине, то этот вопрос видимо не имеет существенного значения, поскольку на практике, когда это нужно, легко достигается уменьшение длины и ширины в необходимых пределах путем подрубления топором в период их установки в дело.

Представлялось возможным увеличить производительность станка за счет усложнения его конструкции. Однако, на данном этапе мы воздержались от этого, главным образом, с целью сохранения приемлемости станка как для заводских, так и для построечных условий.

Техническая характеристика станка МС—1:

Производительность* — до 15 плит в час.

Размеры плит— $40 \times 75 \times 10$ см

Объемы пустот в плите—35%

Вес плиты: а) из пемзобетона—23 кг, б) из шлакобетона—27 кг.

Консистенция бетона—мягко-трамбованная

Предельная крупность зерен заполнителя—15 мм

Размеры поддона— $39 \times 85 \times 2.5$ см

Электровибратор—0.25—0.5 кв

Лебедка ручная—0.5 т

Габариты станка: длина—280 см, ширина—78 см, высота—162 см.

Вес станка: деревянных частей—95 кг ($0.19 м^3$), металлических частей (без лебедки)—150 кг

Количество рабочих, обслуживающих станок—3 чел.

Описание станка МС—1

Станок состоит из виброформы, деревянной станины с бункером и лебедки. Станок снабжается поддонами (подкладками) для плит, в количестве до 200 шт.

Основной частью станка является виброформа, состоящая из двух основных частей: качающейся и выдвигной.

Качающаяся часть представляет из себя сборную металлическую конструкцию, состоящую из двух продольных швеллеров № 12, обращенных полками наружу и связанных между собой поперечной полосой $\delta=20$ мм приваренной к спинкам швеллеров. Означенная полоса снабжена четырьмя отверстиями, соответствующими сечению

* Производительность станка определена с учетом времени, затрачиваемого рабочими, обслуживающими станок на ручное изготовление бетона. При одновременной работе 3-х станков и более, бетонную массу целесообразно готовить в бетономешалке (растворомешалке) не отвлекая для этого дела рабочих, обслуживающих станок. В этом случае производительность станка может быть увеличена в 1,5—2 раза.

вкладышей. В эти отверстия введены концы вкладышей и обварены по периметру.

Вкладыши, служащие для образования пустот в изготавливаемой плите, составляют из швеллеров № 6,5, к полкам которых привариваются полосы $\delta=8$ мм, чем обеспечивается требуемое сечение вкладышей 65×50 мм.

К полкам швеллеров прибалчивается при помощи 6-ти болтов лист $\delta=6$ мм, ограничивающий форму в плане с одной стороны.

Четыре средних болта используются одновременно для крепления деревянных прогонов, на которых устанавливается вибратор.

Последний установлен таким образом, что может быть легко снят с прогонов. Сам вибратор крепится при помощи двух хомутов. В качестве вибратора может быть использован любой тип мощностью 0,25—0,5 кв. Качающаяся часть станка оперта при помощи шипов на деревянные подшипники. Шипы из круглого железа $\varnothing=30$ мм приварены к продольным швеллерам при помощи ребер из листового железа. Выдвижная часть станка представляет сварную раму, состоящую из двух продольных швеллеров № 6,5, обращенных полками внутрь.

С противоположного конца швеллера связаны листом, приваренным к внутренним граням полок швеллеров. При помощи ребер к листу приварена полоса, имеющая отверстия, соответствующие вкладышам, но с зазором по периметру в 2,5 мм. Полоса приварена таким образом, что между листом и ею выдержан зазор 25 мм. Полоса служит упором при удалении готового изделия. Готовое изделие покоится на деревянном поддоне, вставляемом в раму подвижной части и закрепляющейся в ней при помощи планки, входящей в соответствующий паз в поддоне. Конец поддона при этом входит в указанный выше 25 мм зазор между листом и упором. Рама снабжена крюком, за который при помощи ручной лебедки производится вытаскивание подвижной части с готовым изделием. Выдвижная часть может свободно перемещаться, скользя по полкам швеллеров качающейся части как по направляющим. Таким образом, обе описанные части станка в совмещенном положении представляют из себя форму, внутреннее пространство которой соответствует геометрическим очертаниям изделия.

Для получения плит требуемой длины и для обеспечения гладкой поверхности торцов плит со стороны открытой части формы, в последнюю вводится так называемый штамп-ограничитель.

Конструкция штампа-ограничителя такова, что он заглубляется в форму всего лишь на 30 мм и при этом между ним и концами вкладышей остается зазор в 20 мм. Наличие этого зазора обеспечивает у плиты глухой торец.

Операция эта производится при включенном вибраторе, а форме при этом дается некоторый наклон для выведения из под бун-

кера. Далее форма приводится в горизонтальное положение, при чем в этом положении она ложится на деревянный настил.

Указания по изготовлению и монтажу станка „МС-1“

1. При изготовлении вкладышей необходимо обеспечить тщательную зачистку сварных швов. При наличии же значительных впадин залить последние баббитом.

2. Выдержать согласно проекту габариты внутренних размеров формы, с увеличением в сторону открытого торца, как по ширине плиты, так и толщине ее. Последнее достигается путем применения клинчатых прокладок между полками продольных швеллеров качающейся части и листом.

Станок смонтирован на деревянной станине. Деревянная станина и виброформа должны быть установлены по уровню и отвесу.

Формовка плит на станке и его обслуживание

Станок обслуживается 3-мя рабочими, в обязанности коих входят и изготовление бетонной массы.

Бетонная масса изготавливается в объеме примерно $0,2 \text{ м}^3$ из такого расчета, чтобы вся она была израсходована до момента начала схватывания. Консистенция бетона должна быть мягкотрамбованная (землисто-влажная) и ни в коем случае не должна давать сплыва. Признаками правильно подобранной консистенции массы является отсутствие сплывания, рассыпания или трещин и, наконец, гладкая поверхность плит. Достигается это не только подбором соответствующей консистенции массы, но и введением в состав бетона мелкого обычного песка или глины, если гранулометрический состав заполнителя показывает недостаток мелких фракций.

Вслед за изготовлением бетонной массы начинается формовка плит на станке. Первый рабочий (формовщик) устанавливает на выдвижную часть поддон, сдвигает ее вперед до отказа, приводит виброформу в вертикальное положение и включает вибратор. В этот момент второй рабочий высыпает в бункер порцию бетона, достаточную для изготовления одной плиты. По заполнении виброформы бетоном, формовщик наклоняет виброформу, выводя ее из под бункера и в открытый торец вдавливают штамп-ограничитель до отказа. В этот момент он левой рукой выключает рубильник, а правой продолжает держать штамп-ограничитель. После прекращения работы вибратора формовщик снимает штамп-ограничитель, приводит виброформу в горизонтальное положение и накидывает на крюк петлю от троса.

Третий рабочий начинает вращать ручку от лебедки и, таким образом, извлекается готовое изделие. Свежеотформованная плита снимается с выдвижной части на поддоне первым и вторым рабочими, а отоса плиты на место вызревания производится вторым и третьим рабочими. В это время первый рабочий остается у станка, за-

ряжая его новым поддоном. Формовка плит продолжается до окончания замеса, после чего делается новый замес и цикл повторяется.

1. Во время работы станка необходимо следить за тем, чтобы все гайки были подтянуты.

2. Площадка под виброформой должна очищаться от бетона перед окончанием каждого замеса, а самый бетон должен быть применен к замесу для использования в деле.

3. После окончания работы станка, виброформа должна быть тщательно промыта, а станок в целом очищен от приставших частиц бетона.

З а к л ю ч е н и е

По решению Совета Министров Арм. ССР завод Стройматериалов в г. Ереване системы Министерства Промышленности Стройматериалов Арм. ССР изготовил и установил 3 станка МС—1. Этот завод наладил уже производство пустотелых легкобетонных плит. Выпускаемые заводом пустотелые плиты нашли широкое применение в строительстве при устройстве перегородок (стен), сводчатых покрытий и обычных сборных перекрытий. О положительном отношении строителей к новому станку и к новой строительной продукции можно судить потому, что проект станка МС—1 запросили у Института ряд строительных организаций Арм. ССР, в том числе Алюминстрой и Строитрест при СМ Арм. ССР, а также ряд крупных строительных организаций Груз. ССР.

Считая станок МС—1 и выпускаемую им продукцию прошедшими период освоения, мы нашли своевременным опубликование описания станка. Насколько нам известно, в Советском Союзе не существует до сего времени станков для изготовления пустотелых легкобетонных плит. Поэтому, а также учитывая эффективность этих плит и повсеместное распространение сырья для их изготовления (топливные шлаки, доменные гранулированные шлаки, туф, пемза и др.), следует считать целесообразным широкое внедрение станков МС—1 в строительную практику Советского Союза.

Институт Сооружений Акад. Наук Арм. ССР

ЛИТЕРАТУРА

1. М. З. Симонов.—«Изготовление бетонных и железобет. изделий методом скользящей виброопалубки». Госстройиздат, 1941, г. Москва.

2. М. З. Симонов.—«Изготовление бетонных и железобет. деталей методом скользящей виброопалубки». Сб. «Закавказская конференция по антисейсм. строит-ву», Арм. ФАН СССР, 1942 г. Ереван.

3. М. З. Симонов.—«Новые типы сборных бетонных и железобет. изделий», Сб. «Опыт передовых строителей», 1943 г. Тбилиси.

Մ. Ջ. Սիմոնյան

ՎԻՐՐԱՑԻՈՆ ԴԱԶԳԱՅ ՄՍ—1—ԹԵՔԵՎ ԲԵՏՈՆԻՑ ՍՆԱՄԵՋ ՍԱԼԵՐ
ՊԱՏՐԱՍՏԵԼՈՒ ՉԱՄԱՐ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հողվածուժ նկարագրվում է ՄՍ—1 վիբրացիոն դազգահը, որ մշակել է հեղինակը սահող վիբրացիոն տախտակամածի իր մեթոդի հիման վրա՝ հրապարակված առանձին բրոշյուրով, դեռևս 1941 թ.:

ՄՍ—1 դազգահները, որոնք նախանշված են թեթև բետոնից սնամեջ սալեր պատրաստելու համար, անցել են իրացման շրջանը և գտնվում են նորմալ շահագործման մեջ Երևանի շինանյութերի գործարանում: Քանի որ այս տիպի դազգահներ չեն գործադրվել Սովետական Միության մեջ, դրանց լայն տարածումը շինարարական պրակտիկայում կնպաստի շինարարության ինդուստրացմանը:

M. Z. Simonian

Vibrating Bench MS—1 for Making Light Weight Concrete
Hollow Plates

S u m m a r y

In the present paper, a vibrating bench MS—1 designed by the author on the basis of his sliding vibro-shuttering method, published in a separate booklet as early as in 1941, is described.

The vibrating benches MS—1—intended for making light weight concrete hollow plates—have passed the test stage and are now in use at the factory building materials in Erevan. Since such benches have not been applied in the USSR, an extensive use of them will promote the industrialisation of building work.

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

А. Г. Назаров

Член-корреспондент АН Арм. ССР

**Задачи исследовательской работы в области
сейсмостойкости сооружений***

Существуют три основных источника, из которых мы черпаем сведения о сейсмостойкости сооружений; это—обследования последствий разрушительных землетрясений, теоретические исследования и, наконец, исследования экспериментальные.

По настоящее время наиболее четкие и выпуклые сведения получены именно в результате полевых обследований; поэтому наука о сейсмостойкости, в основном, является наукой описательной. При использовании лишь материалов описательного характера затруднения в создании стройного представления о природе воздействия сейсмических сил на сооружения весьма велики. Сейсмические силы представляют собою сложнейшую динамическую нагрузку, какую только можно представить себе. Инженерные сооружения, а в особенности здания, представляют собою также весьма сложные механические системы, подвергающиеся действию сейсмической нагрузки. Кроме того, при обследовании мы можем давать лишь весьма грубые оценки физико-механических констант материалов, из которых осуществлены сооружения. Ясно, что мы не можем, опираясь лишь на методы обследования, дать четкую, механически ясную характеристику силам, проявляющимся при землетрясении.

Единственной количественной характеристикой силы землетрясения является его балл. Давно уже осознана вся условность и необоснованность сейсмической шкалы (1, 2, 3, 4). Мы могли бы привести примеры, когда видные сейсмологи приписывали разрушительным землетрясениям неверные баллы, во всяком случае впоследствии давали переоценку этим баллам. Не будем также останавливаться на условности расчетных ускорений, численно характеризующих каждый балл. Отметим лишь, что они находятся в противоречии даже с самой сейсмической шкалой, поскольку ускорение, приписываемое данному баллу, не может вызвать многие из сейсмических эффектов или схем повреждений, характеризующих данный балл. При

* Доложен на сессии Отделения физ.-мат., тех. и естеств. наук АН Арм. ССР 18 января 1947 г.

использовании лишь описательных методов исследований мы также сталкиваемся с существенными затруднениями в возможности накопления однородного материала, который мог бы быть суммируем и подвергнут обобщению. Такое затруднение возникает не только при попытке обобщения изучений последствий землетрясений, имевших место в различных пунктах земного шара, но даже и в одном и том же пункте, поскольку характер и качество возводимых построек меняется и с изменением географического положения, и со временем.

Не лучше обстоит дело и с аналитическими методами исследования. Господствующей теорией сейсмостойкости по настоящее время продолжает оставаться статическая теория Омори. Для применения этой теории на практике необходимо иметь расчетное значение сейсмического ускорения, то-есть данное, которое приводится в сейсмической шкале. Чисто практическое удобство этой теории чрезвычайно велико. К сооружению прикладываются статически действующие силы инерции, отвечающие расчетному значению сейсмического ускорения, и далее его рассчитывают по обычным правилам статики сооружений. Условность статической теории очевидно. По существу мы имеем дело с сейсмической нагрузкой, изменяющейся во времени; поэтому расчет должен осуществляться по методам динамики сооружений. Впервые стройная динамическая теория сейсмостойкости, учитывающая помимо вынужденных колебаний и колебания свободные, обусловленные начальными условиями движения, была предложена профессором Завриевым в 1928 г. (5). В настоящее время мы располагаем несколькими десятками работ, касающихся вопросов динамической теории сейсмостойкости сооружений. К чему же, в основном, они сводятся? Сложное, запутанное колебание почвы заменяется поляризованным колебанием упрощенного закона, большей частью гармонического характера. Затем исследуется упрощенная схема сооружения, под воздействием упрощенных колебаний, и делаются численные выводы о сейсмостойкости реального сооружения. Переоценка подобных приемов исследования неминуемо должна привести к выводам, носящим условный характер и могущим ввести в заблуждение исследователя.

Установим теперь, что дают экспериментальные методы исследования вопросов сейсмостойкости сооружений, сводящихся, в основном, к лабораторным исследованиям на сейсмической платформе. Впервые такие исследования осуществлялись Омори, испытавшего на сейсмической платформе кирпичные столбы. Более совершенная сейсмическая платформа сконструирована при Станфордском университете, на которой преимущественно ставил эксперименты Jacobsen (6). Платформа эта удерживается в состоянии равновесия вдоль направления своих колебаний мощными пружинами. Она приводится в состояние колебания двумя различными способами: посредством уда-

ра подвешенной тяжелой массы, приводящей платформу в состояние свободных, постепенно затухающих колебаний, или же приводится в состояние вынужденных колебаний посредством неуравновешенного маховика, расположенного на самой платформе. Оригинальна конструкция сейсмической платформы Rudge (7). Она способна воспроизвести любую наперед заданную сейсмограмму, вырезанную из картона или плотной бумаги. Сейсмическая платформа Тбилисского Научно-Исследовательского Института Сооружений и Гидроэнергетики (ТНИСГЭИ) устроена по следующему принципу.* Она приводится в движение кривошипным механизмом при достаточно длинном шатуне, что вносит лишь незначительные искажения в чистоту гармонического колебания, не превосходящие 5% для величины максимального ускорения. Конструкция механизма предусматривает диапазон изменения элементов колебания в следующих пределах. Периоды колебаний меняются ступенчато, принимая величины $T=0,8; 1,0$ и $1,5$ сек., максимальные же ускорения могут меняться плавно от 0 до 1000 мм/сек². Платформа может пускаться в ход плавно, путем постепенного ее разгона. При этом в испытываемой конструкции возбуждаются чисто вынужденные гармонические колебания. Далее, путем специального приспособления платформа может быть пущена в ход по закону косинуса. Тогда в испытываемой модели, наряду с вынужденными колебаниями, возникают и свободные колебания.

Испытания моделей конструкций на сейсмической платформе, по существу, являются попытками определения динамического состояния сооружения—оригинала по динамическому состоянию модели. Здесь возникают существенные затруднения, связанные с установлением динамического подобия—задачи, неразрешимой в общем виде. Если бы даже это затруднение было преодолено, то все же ценность подобных испытаний весьма относительна. Действительно, динамика нагрузки, определяемая ускорением сейсмической платформы, очень отдаленно копирует действительную динамическую нагрузку, вызываемую землетрясением. На первый взгляд этим недостатком не обладает сейсмическая платформа Rudge, поскольку она может воспроизвести колебания по любой действительной сейсмограмме. Но сейсмограмма, вследствие индивидуальных свойств сейсмографа, представляет собою искаженную запись смещения почвы. Далее эта сейсмограмма воспроизводится на картоне в виде вырезанной на ней волнистой линии. Ясно, что поскольку динамика сейсмической нагрузки характеризуется истинным ускорением почвы, являющимся второй производной ее смещения, то указанная выше операция вырезания сейсмограммы из картона представляется весьма неосторожной. Мы убеждаемся, поэтому, в недостоверности результатов испытания моделей сооружений на сейсмической платформе и в невозможности их использования для оценки динамического состояния сооружения при землетрясении.

* Платформа эта конструкции инж.-мех. Шаншиева А. К.

Мы не будем останавливаться более на сложных вопросах динамического моделирования сооружений с учетом их упругих свойств, на затруднениях, возникающих при переходе от модели к оригиналу. Повидимому указанными выше причинами объясняется почти повсеместное охлаждение к лабораторным методам воспроизведения землетрясений.

Подытоживая сказанное, мы должны прийти к неутешительному выводу об условности и малой достоверности всех трех перечисленных путей исследования вопросов сейсмостойкости сооружений. И все же это не так. Можно утверждать, что полевые наблюдения, теоретические и экспериментальные исследования можно направить таким образом, что с течением времени мы сумеем накопить достаточно объективный материал, освобожденный от индивидуальности исследователя и его личных навыков и потому поддающийся суммированию.

Задача сейсмостойкости, как и всякая вообще динамическая задача, поставленная перед инженером, складывается, как известно, из трех основных элементов, впервые четко сформулированных проф. Стрелецким Н. С., а именно: динамики нагрузки, динамики конструкции и динамики материала. Под динамикой нагрузки мы понимаем закон изменения нагрузки во времени. В отношении сейсмических сил, — это закон изменения ускорения почвы во времени. Динамика конструкции определяется, в основном, спектром ее свободных колебаний, декрементом затуханий, в общем совокупностью свойств, отличающих ее поведение под действием динамической нагрузки в сравнении с нагрузкой статической. Под динамикой материала мы понимаем отклонение его физико-механических расчетных характеристик в сравнении с таковыми же для статической нагрузки.

При существующем положении вещей нам вовсе неизвестна динамика сейсмической нагрузки, и мы имеем очень смутное представление о динамике таких распространенных сооружений, как здания, для которых практически невозможно вычисление даже простейших динамических характеристик.*

Вопросам изучения динамики материала стали уделять внимание лишь в самое последнее время, да и то больше с точки зрения длительных динамических воздействий, представляющих интерес для промышленных сооружений.

В результате подробного анализа, приведенного нами в другом месте, установлено, что если отказаться от попытки детального анализа действия сейсмических сил на сооружения, а остановиться на оценке их средне-невыгодного состояния, не входя в подробности напряженного состояния отдельных элементов, мы можем пользоваться записями анализаторов сейсмических колебаний, фик-

* Полезные сведения о частоте свободных колебаний здания и декременте его затухания можно получить посредством исследования с помощью вибрационной машины. Такие исследования ставились в США и Японии.

сирующих максимальные амплитуды колебаний отдельных линейных осцилляторов в пределе практического диапазона свободных колебаний сооружений (8). Было также показано, на основе теоретических соображений, что при специальной обработке полученных сейсмозаписей, мы неразрывно-комплексным путем сумеем учесть и динамику сейсмической нагрузки, и динамику конструкции. В частности, для жестких сооружений, которых большинство, мы вновь приходим к расчетной схеме по статической теории Омори с тем лишь существенным отличием, что взамен расчетного сейсмического ускорения, взятого по сейсмической шкале, будет фигурировать приведенное сейсмическое ускорение (вычисленное на основе показаний анализаторов сейсмических колебаний), учитывающее всю сложность динамики явления, в том числе и свободные колебания. При условии массовой установки анализаторов, что будет возможно лишь при достаточной простоте их конструкции, мы получим объективный материал, характеризующий силу происшедшего землетрясения, интересный именно с инженерной точки зрения. Помимо того, мы получим представление и о периоде преобладающих колебаний для данной местности, а также более подробный материал, характеризующий влияние факторов микрогеологии, в частности о величинах почвенных коэффициентов Рэйда, имеющих первостепенное значение при микросейсморайонировании. Полученный инструментальный материал обследования разрушительного землетрясения, наряду с подлинным научным обследованием повреждений построек, осуществленных на статических началах, даст ценный материал, позволяющий значительно уточнить наши воззрения на природу сейсмического воздействия на сооружения.* Именно в этом направлении мы видим необходимость развития полевых методов обследования.

Выше мы отметили условность аналитических методов построения теории сейсмостойкости. Отсюда не следует, конечно, что такой метод должен быть вовсе исключен из нашего арсенала вспомогательных средств. Основным назначением теоретического анализа должно являться не установление количественных соотношений, что бесплодно, а вскрытие закономерностей качественного характера. Уже одно четкое представление о качественной стороне природы воздействия землетрясения на сооружение даст конструктору возможность разработать целесообразно направленные антисейсмические мероприятия.

* Надо отметить не научность приема некоторых исследователей, приводящих для подтверждения тех или иных своих доводов единичные описания фактов повреждения сооружения с точки зрения, специально их интересующей. Такой прием, внешне убедительный и эффектный, в отношении такого сложного многофакторного явления, как землетрясение, недопустим. Здесь единственной убедительной аргументацией является приведение статистического материала. При этом наиболее яркие факты служат лишь для иллюстрации высказанного положения.

В большой плодотворности такого приема аналитических исследований мы убедились, когда устанавливали методику измерений силы землетрясения с точки зрения, интересующей инженера, а также анализировали действие сейсмических толчков и ударов на сооружения (8, 9).

Факты подбрасывания, смещения и опрокидывания мелких предметов приводятся многими авторами.* Они являются свидетельством того, что колебания почвы сопровождаются сейсмическими ударами (импульсивные ускорения), оказывающими действие на жесткие упругие системы с весьма малыми периодами свободных колебаний и остающимся без существенных последствий для систем с относительно большими периодами свободных колебаний. Не понятное на первый взгляд противоречие, заключающееся в том, что большие монолитные массивы, также являющиеся жесткими, остаются при сейсмических ударах без повреждений, хотя силы инерции пропорциональны массе, объясняется податливостью основания, удлиняющего период свободных колебаний массива.** Чрезвычайный интерес для дальнейшего представляет учет конечности скорости распространения сейсмической волны, что также может внести некоторую ясность в поведении сооружений, в особенности протяженных, под действием распространяющихся в них упругих волн.

Теперь несколько слов об экспериментальных методах исследования. Мы уже отметили общую незначительную научную ценность исследований моделей сооружений на сейсмической платформе. Было также установлено, что для полноты оценки динамического состояния сооружения необходимо знание динамики сейсмической нагрузки, динамики конструкции и динамики материала. Поскольку первые два элемента могут быть оценены на основании показаний анализаторов колебаний, соответствующим образом обработанных, то остается еще изучение динамики материала в условиях, приближающихся к сейсмической нагрузке. Вот именно этот вопрос и должен быть подвергнут лабораторному изучению. Поскольку в сейсмических районах наиболее распространены каменные конструкции, и именно они являются наиболее уязвимыми при землетрясении, то в первую очередь необходимо изучение динамического сопротивления кладок различных типов. Каменная кладка, в силу ее сложной структуры, вовсе не поддается моделированию. Поэтому она должна подвергаться испытанию в натуральную величину. Такие испытания над каменными кладками почти в натуральную величину успешно осуществлялись на сейсмической платформе ТНИСГЭИ (10,11). В настоящее

* В качестве яркого примера японский профессор Сюэжиро упоминает о случае выброса монет из коробки, лежавшей на подоконнике, при Великом японском землетрясении 1923 года.

** Некоторую роль играет также и протяженность массива, на участке которого необходимо учесть не пиковое значение ускорения, а его осредненная, т. е. уменьшенная величина.

время расширенные опыты в этом направлении предполагается поставить при Институте Сооружений Академии Наук Армянской ССР. Как показал опыт, в силу значительного опрокидывающего момента, развиваемого инерционными силами каменных столбов, в платформе возникают паразитные колебания, затрудняющие исследования. Поэтому при проектировании антисейсмической лаборатории мы стали на путь отказа от оборудования ее сейсмической платформой. Действительно нет никакой необходимости в создании возмущающей силы в виде инерционных сил, вызываемых массой испытуемого образца, что весьма громоздко. Можно пойти, без всякого ущерба для дела, на возбуждение возмущающей силы, действующей непосредственно на образец. Специальная конструкция для этой цели запроектирована инж. Шаншиевым А. К. и в данный момент находится в изготовлении. Установка эта позволит осуществлять динамические испытания больших каменных образцов размером в плане $1 \times 0,6$ м и высотой 1,5 м на гармонически меняющуюся возмущающую силу амплитудой до 3000 кг и периодом от 0,2 до 0,6 сек., могущую быть, при желании, внезапно приложенной.

Помимо испытаний на гармонические колебания, предполагается также осуществлять испытания на ударное воздействие, с целью имитирования сейсмических ударов. Такого рода воздействие будет чрезвычайно интересно для особо неоднородных кладок как, например, для трехслойной кладки под названием „мидис“ и другие. Возможно для этой цели использовать помимо силы удара, вызываемого маятником, реактивные силы быстровоспламеняющихся веществ, вырывающихся с большой скоростью из сопла, прикрепленного поверх испытуемого образца. Такой прием создания импульсивно приложенной силы имеет то преимущество, что длительность, а также максимальная величина мгновенной силы не зависят от упругих свойств испытываемой конструкции и могут быть регулируемы независимо от нее.

В настоящее время нормы сейсмостойкого строительства характеризуют качество каменной кладки его временным сопротивлением сжатию. Опыт же землетрясений и теория показывают, что разрушаемость кладки скорее определяется временным сопротивлением на нормальное сцепление и срез. Мы можем представить себе кладку с весьма высоким временным сопротивлением сжатию, но легко разрушающуюся от горизонтально действующих сил при слабом сцеплении камня с раствором и наоборот.* Поэтому, всестороннее исследование в этом направлении, начатое в 1946 г. при Институте Сооружений, имеет значение для перехода к новым методам нормирования качества кладки для сейсмических районов.

Планомерное развитие исследовательской работы во всех трех, перечисленных выше, направлениях позволит разрешить проблему

* Работа эта осуществляется старшим научным сотрудником В. А. Степانياном.

сейсмостойкости на солидной базе. Проблема эта приобретает все более актуальное значение на фоне возрастающей за последнее время активизации макросейсмических явлений.

Институт Сооружений
Академии Наук Арм. ССР

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Быховский—О сейсмических шкалах. Тр. Сейсм. Ин-та. № 13, 1936. Москва—Ленинград.
2. T. Terada—On the Nature of Destructive Earthquakes. Bull. Earthq. Res. Inst., vol. VIII, № 1, March, 1920.
3. H. Benioff—The Physical Evaluation of Seismic Destructiveness. Bull. of the Seism. Soc. of America, vol. 24, № 4, 1934.
4. А. Г. Назаров—Опыт построения теории сейсмостойкости. В печати.
5. К. С. Завриев—Расчет инженерных сооружений на сейсмостойкость. Изд. Тифл. Гос. Политех. Ин-та 1928.
6. S. Jacoben—Vibration Research at Stanford University. Bull. of the Seism. Soc. America, vol. 19, № 1, March, 1929.
7. A. Rudge—A Mashine for Reproducing Earthquake Motions Direct from a Shadowgraph of the Earthquake. Bull. of the Seismolog. Soc. of America, vol. 26, № 3, July, 1936.
8. А. Г. Назаров—Инструментальный метод построения теории сейсмостойкости. ДАН Арм. ССР, 1946.
9. А. Г. Назаров—Сейсм. толчки и удары и их действ. на сооружения. Тр. Бюро антисейсм. стр-ва АН Груз. ССР., вып. 1, 1945.
10. А. Л. Чураян—Эксперимент. исслед. сейсмостойкости армокаменных столбов. Отчет ТНИСГЭИ, 1910.
11. А. Л. Чураян—Исследование сейсмостойкости кладки облицовочными рядами. Тр. Бюро антисейсм. стр-ва АН Груз. ССР, вып. 1, 1945

Ա. Գ. Նազարով

ԿԱՌՈՒՑՈՒՄՆԵՐԻ ՍԵՅՍՄՈՎԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԲՆԱԳԱՎԱՌԻ ՇԵՏԱԶՈՏՍԱԿԱՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԻ ԽՆԴԻՐՆԵՐԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հողվածուժ համառոտակի շարադրված են կառուցումների սեյսմոկայունության հարցերի ուսումնասիրության այն ուղիները, որոնք նախատեսվում են Հայկական ՍՍՌ Գիտությունների Ակադեմիայի կառուցումների Ինստիտուտի կողմից: Հաստատված է, որ խորտակիչ երկրաշարժների հետևանքների, տեսական հետազոտությունների և լաբորատոր պայմաններում փորձնական հետազոտությունների նպատակահարմար ուղղությամբ կատարվող կոմպլեքս աշխատանքը հնարավորություն կտա կուտակել այնպիսի հուսալի նյութ, որը հիմք կձառայի կառուցումների սեյսմոկայունության բնագավառում մեր հայացքների ճշտման համար:

A. G. Nazarov.

Problems on the Investigational Work of
Seismostable Structures

SUMMARY

A summary of the ways for the study of seismostable problems of structures, as foreseen by the Structure Institute of the Academy of Sciences of the Armenian SSR, is given in the article. It is confirmed that the complex work connected with the consequences of destructive earthquakes, their theoretic as well as experimental investigations the latter kind being done in the laboratory, yield hopeful results to confide in the correctness of our views in the seismostable sphere of structures.

ТЕОРИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Г. С. Григорян

**Учет влияния распора, появляющегося в изгибаемых
элементах железобетонных статически-неопределимых
систем в упруго-пластической области**

В железобетонном изгибаемом элементе центр вращения в сечении пластического шарнира совпадает, примерно, с центром тяжести сжатой арматуры. Изгибаемый железобетонный элемент с заделанными концами, с образованием трех пластических шарниров, превращается в трехшарнирную арку со стрелой подъема, приблизительно равной расстоянию между центрами верхней и нижней арматур*:

$$Z = h_0 - a'$$

и продолжает воспринимать возрастающую внешнюю нагрузку, если среда, окружающая рассматриваемый элемент, продолжает препятствовать смещениям его опор. При этом все дальнейшее приращение внешней нагрузки передается на окружающие рассматриваемый элемент части сооружения (1).

Экспериментальные исследования работы железобетонных рам, проведенные Гленвилем и Томасом (2), исследования ЦНИПС 1936—1937 г.г. (3) проводились над опытными образцами одноярусных рам, стойки которых не препятствовали смещениям опор ригеля, поэтому в них не возникал распор.

В наших исследованиях (1), благодаря специальной схеме опытных образцов, был измерен возникающий в изгибаемом элементе (ригеле рамы) распор (нормальная сила). Было установлено, как несомненный факт, появление нормальной силы (распора) в изгибаемых элементах статически-неопределимых железобетонных рам. Предположения, скорее догадки, и попытки теоретического обоснования распорности (Гвоздев), базирующиеся на косвенных данных опытов Гелера и Амоса с плитами, окаймленными ранд-балками, на данных экспериментов ЦНИПС с кольцевыми плитами, усиленными металлическим обручем и данных Томаса, подтвердились. Был экспериментально выявлен и измерен появляющийся в изгибаемых железобетонных элементах распор в различных стадиях работы двух

* Обозначения там, где они специально не оговорены, приняты в соответствии с действующими техническими условиями по железобетону.

опытных образцов под нагрузкой. Доказана распорность железобетонного изгибаемого элемента еще в первой стадии, т. е. еще до образования первых трещин.

Наши экспериментальные исследования показали, что вследствие появления распора в ригеле рамы происходит значительное перераспределение усилий. Стойки экспериментальных рам, нагруженные центрально, оказались внецентренно сжатыми, причем, эксцентриситет сжимающей силы увеличился настолько, что часть сечений стоек (по высоте) оказалась сжато-растянутой и в растянутой зоне появились трещины.

Благодаря распорности значительно увеличилась несущая способность ригеля. Сказанное показывает огромную важность и необходимость разработки методов расчетного учета распорности.

Можно различить распорность в упругой стадии работы рассматриваемого элемента, когда в нем еще не образовались трещины; в упруго-пластической стадии, когда есть трещины, но нет пластических шарниров, или число образовавшихся в данном элементе пластических шарниров $k < n$, где n — число независимых статически-неопределимых параметров, определяющих напряженное состояние железобетонного элемента и в пластической стадии — когда образованы все n пластических шарниров.

В упругой и упруго-пластической стадиях работы элемента рост распорности зависит от упругих характеристик элемента и среды, окружающей его. Поэтому задачу определения распора, вообще говоря, можно решить как статически-неопределимую задачу.

В стадии пластических деформаций задача становится статически-определимой — вся внешняя нагрузка (приращение внешней нагрузки) воспринимается распором. Не ставя перед собой цели дать общее решение задачи, рассмотрим следующий приближенный метод определения распора в упруго-пластической стадии работы элемента. Пусть в изгибаемом элементе возникают лишь три трещины: по одной трещине на опорах и в пролете; в остальных участках элемент остается абсолютно недеформируемым.*

Взаимное вращение и вращение относительно опор, образовавшихся половинок элемента, происходит вокруг трех осей, расположенных на уровне сжатых стержней.

$$\text{При этом } \Delta l = (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3) \frac{h}{h-a} \frac{\bar{2}-a'}{h-a} \quad \dots(1)$$

* В смысле возможности раскрытия трещин рассматриваемая схема распределения трещин является наилучшей из всех возможных. В действительности трещины бывают как то распределены по длине элемента; раскрытие каждой трещины в действительных условиях будет значительно меньше, чем при рассматриваемой схеме распределения трещин, когда они сосредоточены лишь в трех пунктах.

где Δl — удлинение элемента, измеренное по его геометрической оси, а $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ — максимальные раскрытия рассматриваемых трех трещин. В литературе имеется много указаний о том, что трещины порядка 0,2—0,3 мм при эксплуатационных нагрузках можно считать вполне допустимыми. Считая

$$\frac{h}{2} \frac{-a'}{h-a'} \approx 0,5, \text{ а также } \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = 0,1 \text{ см,}$$

получаем $\Delta l \approx 0,05$ см. Следовательно, нормальная сила в рассматриваемом элементе должна быть такой, чтобы вызвать смещение его опор на 0,05 см.

Таким образом, если рассматриваемый элемент есть элемент некоторой рамной конструкции, нормальная сила в нем должна быть такой, чтобы вызвать расхождение его опорных точек на 0,05 см. Если все размеры системы известны, то это условие при принятых допущениях вполне достаточно для того, чтобы определить нормальную силу, возникающую в рассматриваемом элементе.

Распор, определенный указанным путем для испытанной нами рамы № 1 (по измеренным трещинам на опорах и в пролете), при нагрузке, равной половине разрушающей, показал хорошее совпадение с действительным измеренным распором.

При этом момент, воспринимаемый распором $m_n = 0,05 m_0$.

Если элемент рассчитан с учетом распора, определенного при эксплуатационной нагрузке указанным путем, то в действительности ширина раскрытия трещин в нем будет намного меньше чем 0,3 мм, поскольку расчет произведен с учетом наличия лишь трех трещин, а в действительности их будет гораздо большее количество.

Определив тем или иным путем распор, воспринимаемый окружающим рассматриваемый элемент сооружением, следует определить момент воспринимаемый им по формуле:

$$M_n = N (h_0 - a') \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

В (2) принято, что распор работает с плечом $h_0 - a'$.

Для бетонов низких марок это несколько преувеличено. В дальнейшем выражение для плеча внутренней пары должно быть уточнено.

Изгибающий момент M_0 — максимальный момент в соответствующей простой балке, распределяется между моментом, воспринимаемым распором (M_n) и моментами, воспринимаемыми пролетным и опорными сечениями:

$$M_0 = M_n + M_{пр.} + M_{оп}$$

Соотношение между $M_{пр.}$ и $M_{оп}$ может быть принято произвольным, однако, во избежание раннего появления и сильного раскрытия трещин, отступления от моментов, определенных расчетом упругой системы, не должны превышать 30%.

Например, $M_{пр}$, по которому подбирается арматура в пролетном сечении, должен удовлетворять условию

$$\frac{M_{пр. \text{ упр.}} - M_{пр.}}{M_{пр. \text{ упр.}}} < 0,30 \quad (3)$$

Приведенный предел отступления (30%) заимствован из Указаний Наркомстроя (4), базирующихся в этом вопросе также и на результатах наших опытов.

Определив нормальную силу N , следует: с одной стороны обеспечить, чтобы она была воспринята окружающим рассматриваемый элемент сооружением, а стойки рамы рассчитывать на дополнительную горизонтальную силу, с другой стороны, следует проверить сжатые зоны рассматриваемого элемента и обеспечить их от хрупкого разрушения. Первое может быть выполнено легко, обычными методами строительной механики; выполнение второго требования встречается на своем пути с целым рядом трудностей, связанных в первую очередь с нашими скудными познаниями об условиях прочности сжатой зоны бетона и, вследствие этого, неясности схемы разрушения элемента. Задача заключается в том, что требуется обеспечить сжатую зону элементов от разрушения, наступающего раньше, чем образуется достаточное количество пластических шарниров; а вопрос: как обеспечить—остается пока открытым.

Если в заданной системе может развиваться распор, то мы пока не в состоянии установить—не наступит ли разрушение сжатой зоны в каком либо элементе раньше, чем образуется достаточное количество пластических шарниров, превращающих данную систему в кинематическую цепь.

В отдельных случаях, когда схема разрушения заведомо известна, учет распорности, при определении разрушающей нагрузки изгибаемого элемента, может быть выполнен довольно просто.

В качестве примера рассмотрим крестовины, испытанные Томасом (5). В (1) приведены основные данные о прочности бетона и арматуры крестовин, испытанных Томасом. Каждая крестовина была заделана в мощную бетонную раму, максимально сокращающую возможные смещения ее опор. Выше было указано, что для элементов с бетоном достаточной прочности (кубиковая прочность бетона крестовин Томаса равнялась 300 кг/см^2), можно принять, что центр вращения пластических шарниров находится, примерно, на уровне оси сжатой арматуры.

Это означает, что если в заделанном по концам элементе образованы три пластических шарнира, то смещение их центров (стрела подъема трехшарнирной арки) равно

$$Z = h_0 - a'$$

Для того, чтобы стали кинематически возможны критические

деформации крестовин, без хрупкого разрушения сжатой зоны бетона, необходимо, чтобы

$$\sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + h_0^2 (1 - \delta')^2} - \frac{l}{2} = \frac{\Delta l}{2} + \frac{f}{2} \quad (4)$$

где l —пролет крестовины Δl и f —соответственно упругое укорочение и смещение опор крестовин под влиянием нормальной силы (распора).

Δl и f , определенные с учетом максимальной, возможной в крестовине, продольной силы показывают, что условие (4) не выполнимо. Следовательно, образование трех пластических шарниров недостаточно для того, чтобы критические деформации стали кинематически возможны: необходимо разрушение сжатого бетона в одном каком-либо сечении.

Так как развивающаяся в элементе нормальная сила постоянна по всей ее длине, то естественно предполагать, что разрушение сжатого бетона произойдет в сечении, где имеется меньше сжатой арматуры.

В опорных сечениях имеем:

$$\alpha = 0,0884 - 0,0935; \alpha' = 0,1325 - 0,14;$$

в пролетных сечениях $\alpha = 0,1325 - 0,14$; $\alpha' = 0,0884 - 0,0935$, т. е. сжатая зона у опор намного сильнее, чем в пролете. Следовательно, разрушение сжатого бетона будет иметь место в пролете.

Обычно разрушение сжатой зоны бетона принято считать хрупким разрушением. Однако мы не склонны думать, что можно отождествлять разрушение сжатой зоны бетона в изгибаемых элементах с разрушением такого типично хрупкого материала, каким является стекло. Разрушению сжатой зоны бетона, особенно если имеется также и сжатая арматура, предшествуют значительные деформации, приближающиеся по своему характеру к пластическим деформациям. Поэтому можно предполагать, что разрушение сжатой зоны бетона в середине пролета крестовин Томаса наступило лишь после значительных деформаций, вследствие чего в растянутой арматуре у опор уже наступила текучесть арматуры.

При такой схеме разрушения и принимая, что плечо внутренней пары равно $h_0 - a'$, разрушающая нагрузка может быть определена по формуле:

$$P_p^n = \frac{4}{l} \left(M_{np.p} + M_{op.p} \right) \quad (5)$$

$$\text{где } M_{np.p} = 0,4 b h_0^2 R_n + \sigma_r F_a (h_0 - a')$$

$$M_{op.p} = \sigma_r F_a (h_0 - a')$$

В таблице № 3 (1) даны P_p^n , определенные по приведенной формуле для крестовин № 1 и № 2 Томаса. Совпадение их с действи-

тельной разрушающей нагрузкой (по данным опытов) показывает правильность предлагаемой расчетной формулы (а также схемы разрушения).

Как указывалось выше, расчетная величина разрушающей нагрузки была определена в предположении, что разрушение сжатой зоны бетона в середине пролета крестовин происходит при наличии текучести растянутой арматуры на опорах.

В данном конкретном случае это подтвердилось, как совпадением расчетных величин разрушающей нагрузки с действительными, так и данными об измеренных деформациях растянутой арматуры на опорах. Объясняется это с одной стороны тем, что опорные сечения были слабо армированы растянутой арматурой ($\alpha=0,0884—0,0935$), с другой стороны тем, что смещения опор были хотя и очень незначительны, но все же не были вовсе исключены и возможно, что это благоприятствовало раскрытию трещин у опор и наступлению текучести растянутой арматуры.

Нет сомнения, что в случае, если смещения опор исключены, бетон имеет низкую прочность, а растянутая зона армирована сильно, то разрушение сжатой зоны бетона (на опорах или в пролете, в зависимости от того, где сжатая зона слабее) может наступить и до того, как будет течь растянутая арматура в двух других сечениях.

Теория определения разрушающих нагрузок статически—неопределимых систем предполагает, что хрупкое разрушение элементов исключено, что обеспечивается соблюдением некоторых эмпирически установленных соотношений: $0,4 bh_0^2 R_a$ — предельный момент усилий в сжатой зоне бетона относительно арматуры F_a (случай внецентренного сжатия); $\alpha=0,5$, или $n + \beta \leq 0,575$ — пределы, разграничивающие хрупкое разрушение изгибаемого или внецентренно сжатого элемента от разрушения при текучести арматуры и т. д.

Определенные опытным путем, при конкретных условиях работы элементов, эти коэффициенты не применимы, когда условия работы элементов существенно меняются. Например, было установлено, что во всех случаях, когда в изгибаемом элементе $\alpha < 0,50$, при разрушении арматура течет. Это было подтверждено многочисленными опытами ЦНИПС и подсчетами по данным иностранных опытов над изгибаемыми балками. Когда же в 1940 г. были проведены испытания балок с предварительно напряженной арматурой, имеющей высокое временное сопротивление—порядка 10000 кг/см^2 и выше (опыты С. А. Дмитриева—ЦНИПС и Фрайфельда—Харьков), оказалось, что разрушение сжатой зоны бетона наступает раньше, чем наступает текучесть, или разрывается арматура в балках, где $\alpha = 0,25—0,30$.

Возможно проведение некоторой аналогии между явлением

раннего разрушения сжатой зоны в элементах с арматурой высокой прочности и с характером разрушения наших опытных рам.

В балках с арматурой высокой прочности развиваются значительные относительные удлинения арматуры; еще до достижения временного сопротивления (или предела текучести) последней сильно развиваются трещины; сжатая зона бетона значительно сокращаясь, разрушается до наступления текучести в растянутой арматуре, хотя α бывает намного меньше установленного для элементов из обычной арматуры предела 0,5.

В наших опытных рамах, после того как в ригеле образовались пластические шарниры (в раме № 1—один пластический шарнир в середине пролета, а в раме № 2—три пластических шарнира), приращение внешней нагрузки воспринималось частично (в раме № 1—на 32,2—37,1%), или полностью (в раме № 2), распором. Последний, вследствие этого, возрастал очень быстро. Одновременно сильно возросли прогибы ригеля и трещины в сечениях пластических шарниров раскрывались настолько, что сжатая зона бетона сильно сократившись, не выдерживала и в одном из пластических шарниров (там, где сжатая зона слабее) наступало раздробление бетона раньше, чем образовывались последние пластические шарниры (в стойках), превращающие всю систему в кинематическую цепь.

Этим именно и объясняется тот факт, что ригеля обеих наших рам разрушились при нагрузках меньших, чем теоретические разрушающие нагрузки, определенные в предположении, что разрушение сжатой зоны бетона в пластических шарнирах исключено и разрушение рамы может наступить лишь после разрушения стоек.

Характер разрушения ригеля нашей опытной рамы № 1, а также указанное выше явление „раннего“ разрушения сжатой зоны бетона в элементах с арматурой высокой прочности лишнее раз показывает насколько ограничены наши познания об условиях прочности бетона.

Указания, разработанные ЦНИПС-ом (4), рекомендуют высоту балок и плит подбирать так, чтобы соблюдалось условие $S_0 = \alpha (1 - 0,53) < 0,25$, что соответствует условию $\alpha < 0,30$. Сжатая зона ригеля нашей опытной рамы № 1 разрушилась при $\alpha = 0,27$, задолго до наступления предельного состояния в стойках. Поэтому мы рекомендуем быть более осторожным и высоту ригеля в раме назна-

чать из условия $\alpha = 0,25$, где $\alpha = \frac{\delta_r F_a + H}{bh_0 R_n}$. Здесь распор в ригеле H определяется из условий прочности и жесткости окружающих ригель элементов.

Таким образом, теория расчета статически неопределимых железобетонных систем по стадии разрушения на новой ступени своего развития—на ступени, где в порядок дня ставится проблема учета распорности изгибаемых элементов, встречается с трудностями,

связанными с недостаточной разработанностью теории прочности бетона на изгиб, вернее, с отсутствием таковой.

Теперь становится понятным поставленное выше (стр. 22—23) жесткое ограничение учета перераспределения моментов и распорности, возникающих вследствие пластических деформаций.

Приведенный пример показывает, насколько разнообразны и сложны возникающие в связи с распорностью железобетонных статически неопределимых систем проблемы и насколько становится актуальной и неотложной необходимостью разработки теории прочности бетона на изгиб.

Общепринятые методы теории упругости и обычной строительной механики—строительной механики упругих систем, не в состоянии оправдать появление нормальной силы (распора) в изгибаемых элементах статически-неопределимых железобетонных конструкций, если геометрические оси элементов находятся в одной плоскости.

Расчет прочности сооружений по стадии разрушения, с учетом пластических деформаций, открывая широкие возможности для выявления и использования имеющихся в сооружениях избыточных запасов несущей способности, в применении к железобетону выявил новое явление—распорность изгибаемых элементов статически неопределимых систем. Учет распорности изгибаемых элементов статически-неопределимых железобетонных систем открывает новые пути для более рационального и экономичного проектирования железобетонных конструкций.

Дальнейшее исследование этой особенности железобетона, несомненно, приведет к новым конструкциям, в которых материал будет распределен более экономно; к конструкциям, в которых трещины, благодаря возникновению нормальной сжимающей силы, будут образовываться значительно позднее и раскрываться меньше, чем в современных железобетонных конструкциях.

Учет распорности—дальнейший шаг вперед по пути познания действительной работы статически неопределимых железобетонных систем в упруго-пластической области.

Институт Строительных Материалов и Сооружений
Академии Наук Арм. ССР

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. С. Григорян—Известия АН Арм. ССР, Естеств. науки, № 3, 51, 1947.
2. W. H. Glanville and F. G. Thomas—Moment Redistribution in Reinforced Concrete, 1939, London.
3. А. С. Щепотьев и В. С. Булгаков,—Распред. усилий в железобет. раме по эксперимент. данным.—Строит. Пром., № 10, 1939 г.

4. Указания по проектир. и примен. бетонных и железобет. конструкций в условиях воен. времени (У 37—42). Стройиздат, 1943.
5. F. G. Thomas—The Strength and Deformation of Some Reinforced Concrete Slabs' Subjected to Concentrated Loading. Studies in Reinforced Concrete, VIII, 1939 London.

Գ. Ս. Գրիգորյան

**ՍՏԱՏԻԿՈՐԵՆ ԱՆՈՐՈՇ ԵՐԿԱՔԱԲԵՏՈՆ ՍԻՍՏԵՄՆԵՐԻ ԾՈՎՈՂ
ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐԻ ՄԵՋ ԱՌԱՋԱՑՈՂ ԸՆԴԵՐԿԱՅՆԱԿԱՆ ՆՈՐՄԱԸ ՈՒԺԻ
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՌՈՒՄԸ ՆՐԱՆՑ ԿՐՈՂՈՒՆԱԿՈՒՅՑԱՆ ՎՐԱ**

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Ընդերկայնական նորմալ ուժը, որն առաջանում է ստատիկորեն անորոշ երկաթարետոն սիստեմների ծովող էլեմենտների մեջ, առաձգական պլաստիկ դեֆորմացիաների փուլում զգալիորեն փոխում է էլեմենտների լարվածությունը, հետևապես և նրանց ամբուլթյան պայմանները: Ծովող յուրաքանչյուր տվյալ էլեմենտի մեջ շահագործման ընթացքում առաջացող ընդերկայնական նորմալ ուժը մոտավորապես որոշելու համար առաջարկվում է ելնել նրանից, որ ծովող էլեմենտի մեջ առաջանում են ճաքեր՝ ընդամենը 1 մմ ընդհանուր բացվածքով, որը համապատասխանում է էլեմենտի երկրաչափական առանցքի 0,5 մմ երկարացմանը, և ընդունել, որ սեղմող ուժերի համագործն անցնում է սեղմված արմատների առանցքով:

G. S. Grigorian

The Accounting of the Thrust Effect Occuring in Elements in Bending of Reinforced Concrete Statical Indeterminate Systems in the Elastic-Plastic Zone

S U M M A R Y

The longitudinal normal force (thrust) appearing in reinforced concrete statical indeterminate systems at the elastic-plastic stage of deformation considerably changes the stresses in the system elements and consequently their strength properties.

For the approximate determination of the longitudinal normal force appearing in every given element in bending it is suggested to take into consideration the fact, that in the element appear cracks with a total opening of 1 mm, the resultant of the compressive forces passing along the longitudinal compressed reinforcement axis.

Г. А. Осипов

Генеральная схема водоснабжения Араратской котловины*

Введение

В условиях Армении, вопросы санитарной техники являются исключительно актуальными.

В частности вопрос питьевого водоснабжения обстоит исключительно остро. Большое количество населенных пунктов Республики и даже некоторые районы почти вовсе лишены доброкачественной воды.

В отношении водообеспеченности не все пункты находятся в одинаковых условиях.

Так, например, почти все села нагорных, а зачастую и предгорных районов Армении сплошь и рядом имеют родниковую воду, но не везде и не всегда в необходимом количестве и удовлетворительного качества. Некоторое исключение составляют села нагорных районов, где большинство их, если не полностью, то все же в достаточной степени обеспечены водой.

Наиболее необеспеченными являются села низменной зоны Республики.

В частности, населенные пункты, расположенные в пределах приараксинской долины и на территории непосредственно прилегающей к ней, почти вовсе лишены питьевой воды и потому вопрос их водоснабжения является для Республики одним из первоочередных задач.

Вопросам сельского водоснабжения как царским, так и дашнакским правительствами не уделялось абсолютно никакого внимания.

Правда, по инициативе самих крестьян и на их собственные средства строились отдельные примитивные водопроводы, но число их было весьма невелико. В основном все работы в области водоснаб-

* Доложена:

1. На Заседании Ученого Совета Водно-Энергетического Института Академии Наук Арм. ССР 14-го июля 1944 г.

2. На сессии Ученого Совета Водно-Энергетического Института и Гидроэлектрической лаборатории АН Арм. ССР по вопросам водного хозяйства, энергетики и гидротехники 14-го сентября 1944 г.

3. На сессии отделения физико-математических, естественных и технических наук Ака. Наук Арм. ССР 25-го июля 1945 г.

жения сводились лишь к некоторому благоустройству места выхода родников.

После установления Советской власти в Армении замечается резкий перелом в деле водоснабжения.

За истекшие годы построен ряд крупных городских водопроводов, как-то: Ереванский, Ленинаканский, Алавердский, Кироваканский, Герюсинский и другие.

Прделана также значительная работа и в области сельского водоснабжения. Ряд сел безводных районов получил здоровую питьевую воду. К числу таких относятся села в районах—Талинском, Эчмиадзинском, Арташатском, Вединском, Зангибасарском, Аштаракском и др., для которых построены групповые водопроводы. Наряду с этим, построено до сотни мелких водопроводов для отдельных сел и совхозов.

Суммарная длина построенных в Армении, за годы Советской власти, водопроводов доходит до 800 км.

В строительство только сельского водоснабжения вложено более 30-ти миллионов рублей.

В деле водоснабжения не малое место занимают также и артезианские воды из скважин, пробуренных за последнее десятилетие.

Около 40—50 действующих в пределах Октемберянского, Эчмиадзинского и Зангибасарского районов скважин обеспечили водой десятки сел.

Несмотря на проделанную большую работу, все-же не везде в Армении благополучно с питьевой водой.

В течение ближайших лет строительство одних лишь сельских водопроводов для наиболее остро нуждающихся в воде сел и районов потребует укладки свыше 600 км одних лишь магистральных водопроводов стоимостью свыше 50-ти миллионов рублей (не считая разводящей сети), обеспечивающих водой до 180 населенных пунктов Республики, в основном низменных районов.

Такие масштабы работ, безусловно, требуют предварительного производства больших исследовательских работ и на их основе разработанной генеральной схемы; тем более, что осуществлению подлежат наиболее крупные водопроводные системы.

Из-за неизученности основных вопросов обводнения больших территорий в прошлом имели место некоторые упущения. Правда, все они впоследствии выправлялись, но ценой нарушения запроектированных оптимальных гидравлических режимов работы магистралей и за счет изменения некоторых основных положений принятых в первоначальных проектах.

С целью устранения в дальнейшем возможных ошибок при строительстве водоснабжения в пределах Республики, а также с целью закрепления за водопотребителями необходимого количества воды, обеспечивающего хозяйственно-питьевые и производственные

нужды населения, скота и промышленных предприятий, с учетом их дальнейшего развития, по предложению директивных органов Водно-Энергетическим Институтом Академии Наук Армянской ССР было приступлено к составлению генеральной схемы водоснабжения Армении и в первую очередь Араратская котловина, которая и была завершена в 1944 году.

Под условным названием „Араратская котловина“ подразумевается часть территории Армении, очерченной в границах: р. Аракс, р. Ахурия и верхними селами, расположенными на западном, южном и восточном склонах Арагацских (Алагезских) и Агмаганских гор до границы с Нахичеванской АССР и включающая следующие 12 районов Республики: Октемберянский, Талинский, Апаранский, Эчмиадзинский, Ахтинский, Котайкский, им. Берия, Зангибасарский, Арташатский, Ведийский и Карабахларский, с населением около 30% общей численности населения Армении. Общая площадь, охваченная схемой, составляет около 8500 кв. км. или примерно около 30% всей территории Республики. За исключением территории, занятых городами Ереван и Ленинакан и озером Севан, генсхема обнимает 376 существующих и 90 новых населенных пунктов, намечаемых к строительству на вновь орошаемых площадях.

Составленная Водно-Энергетич. Ин-том АН Арм. ССР „Генеральная схема водоснабжения Араратской котловины“ является неотъемлемой частью общей рабочей гипотезы—Генеральной схемы ирригационно-энергетического использования вод озера Севан, рек Раздан (Занги) и Аракса, составленной им-же. Генсхема преследует цель дать наиболее рациональное распределение имеющихся водных ресурсов между отдельными водопотребителями с учетом их предельного развития в пределах рассматриваемой территории.

Таким образом задача Генсхемы заключалась в изучении состояния существующего водоснабжения в каждом из населенных пунктов, изучении всех возможных источников водоснабжения и в первую очередь родников Араратской котловины, установлении контингента будущих водопотребителей, в том числе промышленных предприятий, которые должны возникнуть на базе нового хозяйства ожидаемого в результате осуществления комплексной схемы Севан—Раздан—Аракс, установлении количества потребной хозяйственно-питьевой воды и, наконец, в составлении целесообразных, с техникоэкономической точки зрения, схем водораспределения.

Составлению генеральной схемы предшествовало производство полевых экспедиционных работ, выполненных Водно-Энергетическим Институтом за время с 1940—1944 г.г., по изучению состояния существующего водоснабжения в каждом из населенных пунктов, водных ресурсов, экономики и проч.

В результате полевых и камеральных работ составлен кадастр родников по Араратской котловине и части районов Северной Арме-

нии, в который вошли до 1600 родников с 2000-ми с лишним замеров и свыше 500 химических анализов проб воды.

В настоящей и последующих статьях будут освещены полученные в результате обследования итоги материалов, положенные в основу генсхемы, а также будет изложена и сама схема как таковая.

Начнем с характеристики существующего водоснабжения.

Существующее водоснабжение на территории Араратской котловины

Источниками водоснабжения существующих населенных пунктов Араратской котловины являются:

1. Воды открытых водоемов и, в частности, воды оросительных каналов;
2. Родниковые воды;
3. Артезианские воды и воды колодцев и кягривов.

Наиболее распространенным видом водоснабжения является водоснабжение из открытых водоемов, в частности из оросительных каналов. Этим путем снабжаются водой в пределах Араратской котловины 116 сел, что составляет 30,9% от общего числа (376) населенных пунктов рассматриваемой территории.

По отдельным районам число это распределяется следующим образом:

М.М п.п	Р а й о н ы	Колич, сел	В % от общего числа населенных пунктов района.
1	Велинский	10	62,5
2	Октемберянский	20	60,7
3	Аштаракский	20	52,5
4	Апаранский	14	50,0
5	Карабахлярский	14	43,8
6	Талинский	18	40,8
7	Котайкский	10	27,0
8	Ахтинский	7	25,9
9	Зангибасарский	2	7,2
10	Эчмиадзинский	1	2,9
		116	30,9

В подавляющем большинстве случаев используемые для питье-вых нужд воды оросительных каналов имеют родниковое питание (Аштаракский, Апаранский, Талинский и Котайкский районы). Качество этих вод в источнике достаточно высокое. Однако за время нахождения в пути родниковая вода успевает в достаточной степени нагреться и загрязниться и временами становится мало пригодной для употребления. В качестве примера такого загрязнения можно привести следующие результаты анализов проб вод Гезлинского и Крмз-

лянского родников (Талинский р-н), взятых непосредственно у выхода родников и на месте водопотребления, после того как вода по открытым каналам прошла 10—12 км.

в мгр. на литр.

	Вода Геалинского родника		Вода Крмзлинского родника	
	у выхода	в с. Дузкянд	у выхода	в с. Н. Талин
N_2O_3	нет	следы	нет	следы
N_2O_5	следы	5,0	нет	2,6
Cl	4,67	3,96	1,87	5,94
окисляемость	0,8	4,51	1,62	10,16
жестокость в немецк. град	2,55	3,58	1,54	12,8
Сухой остаток при 110° С.	118	—	90	194

Из сравнения результатов анализов легко усматривается резкое ухудшение качества этих вод благодаря сильному повышению окисляемости, нитратов и появлению нитритов. Из всех поименованных выше районов наиболее низкую по качеству воду имеют села Вединского района. Это объясняется тем, что в летние месяцы оросительная сеть района получает по каналу им. Сталина, в порядке дотации, Разданскую воду, исключительно загрязненную, которая смешиваясь с водой из реки Веди, имеющей родниковое питание, превращает и последнюю в совершенно непригодную для питья. Для качественной характеристики этих вод достаточно указать, что население в летние месяцы, полностью отказываясь от оросительной воды, предпочитает пользоваться колодезной водой, имеющей жесткость, достигающую до 65°, Cl—до 660 мгр., SO_4 —до 2520 мгр. и сухой остаток до 3880 мгр.

Не лучше обстоит вопрос и в Октемберянском районе.

Большинство сел этого района для хозяйственно-питьевых нужд пользуется водой реки Аракс, поступающей по оросительным каналам. Хотя вода реки Аракс, а следовательно и оросительных систем, имеет вполне удовлетворительной солевой состав:

РН	NH_3	I_2O_5	N_2O_5	Cl	Окисл.	Жестк. в нем. градусах	Сухой остаток при 110°С
5,8	Значит. колич.	Следы	нет	9,53	3,87	7,48	129

но тем не менее вода эта мало пригодна для употребления, поскольку исключительно густо расположенные села, через которые прохо-

дят каналы, в сильной мере загрязняют ее. Как показали специально проведенные изучения, вода эта сплошь и рядом становится причиной развития желудочно-кишечных заболеваний в районе.

Сравнительно благополучно обстоит вопрос водоснабжения из открытых водоемов и оросительных систем в Ахтинском районе (река Мамай и притоки). Это обстоятельство нужно приписать качеству воды реки Мамай и ее притоков, имеющих также родниковое питание, а также и малой обжитости района, способствующей самоочищению воды в руслах.

Ко всему сказанному необходимо прибавить еще одно существенное обстоятельство: села, пользующиеся водой из оросительных каналов, зимой сплошь и рядом остаются без воды, так как каналы с небольшим расходом воды замерзают. В качестве примера можно указать на села, пользующиеся водой из реки Геховит (Даличай) (Апаранский район), некоторые села Талинского, Аштаракского, Апаранского, Котайкского и др. районов, почти полностью лишаящиеся воды в наиболее морозные дни, когда в канавах, несущих небольшие расходы и в небольших ручьях образуются наледи и вода перестает поступать в каналы.

Таким образом все населенные пункты Араратской котловины, по сей день пользующиеся для питьевых нужд водой из оросительных каналов, нужно отнести к числу наиболее остро нуждающихся в воде. В этом ряду особое место должно быть отведено селам Вединского и Октемберянского районов.

Следующее, по степени распространения, место должно быть отведено селам, получающим родниковую воду непосредственно на месте выхода и при помощи водопроводных систем.

Число населенных пунктов, имеющих родники в пределах сел — 97 (25,8%); из них полностью обеспечены водой, с учетом дальнейшего роста водопотребления, всего лишь 64 села (17%). Остальные 33 села (8,8%) имеют родниковую воду в ограниченном количестве.

По отдельным районам котловины имеем следующую картину:

Таблица
количество сел, обеспеченных родниковой водой по районам.

№ пп	Р а й о н ы	Коллич. сел	В %/о от общего числа населенных пунктов р-на
1	Ахтинский	19	70,4
2	Карабахлярский	18	56,2
3	Апаранский	14	50,0
4	Котайкский	17	46,0
5	Аштаракский	11	29,0
6	Талинский	12	27,2
7	Район им. Берия	1	6,2
8	Октемберянский	2	6,1
9	Эчмиадзинский	2	5,7
10	Заягбасарский	1	3,6
		97	25,8

В качественном отношении родниковые воды Ахтинского, Апаранского, Котайкского, Аштаракского и Талинского районов почти безупречны. Воды остальных районов в большинстве случаев минерализованы в той или иной степени, однако не свыше предела пригодности их для питья.

Исключение составляют родники Зангибасарского, Арташатского и Вединского районов, дающие воду по своему составу абсолютно негодную для питья, ввиду ее сильной минерализации.

В подтверждение сказанного в нижеследующей таблице приводятся данные о химизме вод основных родников котловины, характерные и для прочих родников тех же районов.

в мгр. на литр

	Ахтинский р-н р-н Алапарк.	Апаранск. р-н Апаранск.	Котайкск. р-н род. Кырбулахск.	Аштаракск. р-н род. Назреван	Талинск. р-н род. Агакчинский	Зангибас. р-н род. Учкерпи	Арташатский р-н род. в с. Верх. Даргалу	Вединский р-н род. в с. Давалу
РН	—	—	—	—	—	щелоч	щелоч.	щелоч.
NH ₃	нет	—	нет	нет	сл. следы	нет	нет	нет
N ₂ O ₅	нет	—	нет	нет	нет	следы	нет	сл следы
N ₂ O ₃	—	—	нет	нет	сл. следы	—	—	нет
HCO ₃	—	—	—	—	—	700,5	1116,7	640,7
Cl	8,3	7,0	11,8	18,0	2,97	63,25	42,6	46,2
SO ₂	8,2	15,0	3,6	9,61	9,62	80,0	880,0	120,0
CaO	22,2	10,4	—	35,5	22,66	—	—	—
MgO	13,6	1,5	—	17,02	6,99	—	—	—
окис ляемость	—	1,4	—	1,92	1,98	—	—	—
жестокость в нем. град. карбонат	—	—	—	—	—	33,14	51,26	29,4
общая	—	6,8	2,96	6,5	3,28	79,02	33,16	88,1
Сухой остат. при 110°	157,3	114,0	114,0	222,0	114,0	680,0	1240,0	840,0
T °C воды	7,0	5,5	7,5	10,0	7,0	—	—	—
Время взятия пробы	VII/1928	XII/1941	VII/1929	VI/1935	IX/1935	II/1929	VI/1929	VI/1929

Родниковая вода высокого качества подводится с помощью специально построенных водопроводных систем к 116-ти селам котловины (30,9%), причем обеспеченными из них в полной мере могут считаться лишь 65 сел (17,4%). Остальные села получают воду сравнительно в ограниченном количестве.

Из 116 сел групповыми водопроводами охвачены 93 села, в том числе Арташат-Вединским районным водопроводом 48 сел, Эчмиадзинским районным водопроводом 21 село, Талинским районным водопроводом 14 сел, Далминским (район им. Берия) районным водопроводом 5 сел и Аштаракским районным водопроводом 5 сел. Остальные 23 села котловины имеют, в большинстве случаев, самостоятель-

ные водопроводы, обслуживающие каждое село в отдельности. Наиболее крупной водопроводной системой Араратской котловины является Арташат-Вединский районный водопровод, начатый строительством в 1936 году, но пока еще не заверченный. Водопровод это уже в настоящее время обеспечивает одно село района им. Берия (по селок Советашен), четыре села Зангибасарского района, 42 села Арташатского района и 4 села Вединского района. В дальнейшем предполагается к этому же водопроводу подвесить почти все села Вединского района, в том числе и будущие населенные пункты, намечаемые на землях Араздаанской степи.

Арташат—Вединский водопровод питается водой Гарнинских (Гарни) родников. Количество воды, поступающей в водовод—250 л/сек. Водопровод представляет собой систему, состоящую из основной магистрали, идущей от родников вниз—почти до реки Аракс и двух распределителей—северной и южной.

Северная магистраль, командуя над населенными пунктами Арташатского района, расположенными в предгорной части района, задана с расчетом подачи воды также и Вединскому району.

Южная магистраль, проложенная вдоль наиболее густо расположенных в Арташатском районе сел, обеспечивает одновременно также и подачу воды ряду сел Вединского района, расположенных вдоль реки Аракс.

Села Зангибасарского района обеспечиваются отдельным распределителем, берущим начало также от основной магистрали. Как от северной, так и от южной магистралей отходят ветки по направлению к населенным пунктам.

Весь водовод в целом выполнен из металлических труб.

Эчмиадзинский районный водопровод питается из Такийских родников (Аштаракский район). Общая длина магистрального водовода 21,3 км, сельских распределителей—37,7 км. Магистральный водовод, а также часть распределителей (25,5 км проложены из деревянных звеньевых труб, на некоторых участках распределительной сети уложены металлические трубы. Водопровод в настоящее время подает, и то с большими перебоями, не более 40 л/сек. воды, из которых около 40% районному центру.

Талинский водопровод, построенный в 1936—1938 г.г., берет свое начало от родников, находящихся вблизи села Агакчи (Талинский район) с дебитом около 25 л/сек. Общая длина магистрали и распределителей 52 км. Водовод, за исключением головного участка Агакчи—Дзитианков, полностью выполнен из металлических труб. На головном участке, на протяжении 13,5 км, уложены деревянные трубы. Водопровод построен на расчетный расход 49 л/с. Остальное количество воды предполагалось получить в результате каптажа и подключения Адиаманской группы родников, расположенных несколько выше.

До настоящего времени водопровод питается водой из Агакчин-

ской группы, т.к. магистраль, подводящая воду из Адиаманских родников, пока не построена.

С одной стороны недостаточность воды в источнике и с другой — большие утечки из деревянных труб, создают частые перебои в подаче воды селам, расположенным в концевых частях водовода и потому села эти даже при наличии готового водопровода не могут считаться полностью обеспеченными водой.

Далминский водопровод — получает воду из магистрали, подающей воду из Арзнинских родников (Котайкский район) в предприятия гор. Еревана.

Водопровод забирает около 20 л/с воды и обеспечивает помимо 4-х сел района Берия также и сел. Паракар (Эчмиадзинский р-н) и частично районный центр Себастья. Из этого же водопровода предполагается снабжать водой два новых поселка, строящихся для приехавших из за рубежа армян. Водопровод построен, в основном, из асбоцементных труб, почти уже пришедших в негодность и потому снабжение водой происходит с перебоями и в ограниченном количестве.

Аштаракский водопровод — подает воду сагмосаванкских родников (Аштаракский район) 4-м селам и районному центру. Водопровод на всем протяжении был уложен из деревянных труб.

Ввиду полной амортизации труб, водопровод до 1946 г. работал с большими перебоями, причем село Ошакан, расположенное в конце водопроводной системы, не получало воду уже через 2-3 года после постройки. В 1946 году часть труб в пределах ущелья реки Казах была заменена металлическими, что несколько улучшило положение с водоподачей.

Из числа описанных групповых водопроводов единственно Арташат-Вединский находится в удовлетворительном состоянии, благодаря, во первых, тому, что он весь выполнен из металлических труб, во вторых — налаженной эксплуатации. Остальные же водопроводы требуют частичной (Талинский) и полной реконструкции (Аштаракский и Эчмиадзинский, построенные в 1934—1936 г.г. из деревянных труб).

Сравнительно небольшое распространение имеет водоснабжение из артезианских скважин, колодцев и кягризов. Этими водоисточниками пользуются 47 сел (12,4%) котловины. Из этой группы водоисточников наибольшее распространение получили артезианские скважины. В результате буровых работ, выполненных в 1931—1939 г.г., удалось обеспечить достаточным количеством воды 35 сел Эчмиадзинского, Зангибасарского и Октемберянского районов.

В качественном отношении воды эти вполне удовлетворительны. Температура воды во всех скважинах одинакова, в пределах 12—14°C. По солевому составу вода характеризуется сравнительно большой жесткостью (8—12°), слабой минерализацией (SO_4 в пределах 10—60 мгр; Cl в пределах 20—70 мгр сухой остаток 300—700 мгр) и потому вполне пригодна для питья.

В качестве примера ниже приводятся результаты анализа пробы воды из скважины в сел. Ардажар (Октемберянский район).

в мгр. на литр.

Время взятия пробы	Cl	SO ₃	CaO	Mg O	Окис- ляе- мость	Жестк. общая	Сухой остат. при 110° С	Темпера- тура во- ды °С
IV—1940	32,0	11,67	32,38	28,24	0,45	7,19	272,0	14

Почти во всех селах низменных районов Араратской котловины имеются многочисленные колодцы, сплошь и рядом небольшой глубины (5—10 м), постоянно подверженные загрязнению. Качество колодезных вод до такой степени низкое, что население почти повсеместно отдает предпочтение воде из оросительных каналов, какого-бы качества она не была.

Для качественной характеристики колодезных вод ниже приводятся максимальные показатели (из числа многократно определенных) компонентов, указывающих на степень загрязнения.

в мгр. на литр

№№ п/п	Р а й о н ы	NH ₃	N ₂ O ₃	N ₂ O ₅	Cl	SO ₃	Окисл	Жест- кость общая	Сух. ост.	Темпе- рат. во- ды °С
1	Эчмиадзинский	2,5	1,0	2,5	400	176	172	34	1200	19
2	Октемберянский	сл. сл.	0,1	2,5	312,6	244,5	5,6	49,39	1734	—
3	Зангибасарский	—	—	—	300	500	—	40	2000	16
4	Вединский	—	—	—	660	2520	—	65	3880	—

Правда, наряду с исключительно загрязненными колодцами имеются также колодцы с менее загрязненной водой, но тем не менее, учитывая постоянную и неизбежную угрозу загрязнения верхних слоев почвы, население, как правило, избегает пользоваться ими.

Несравненно лучшего качества воды колодцев Котайкского района, где четыре села охотно и без вреда для здоровья пользуются этой водой со дня основания этих сел.

На территории Араратской котловины водоснабжение из кягризов почти не имеет развития. Известны только два кягриза—Дашлинский и Вединский (Вединский район), которые в той или иной степени заслуживают внимания. Первый потому, что он является источником водоснабжения Араратского цементного завода, попутно обеспечивающего питьевые нужды 2-х сел Вединского района, а второй—как один из источников водоснабжения самого районного центра Веди.

Заканчивая на этом краткий обзор существующего водоснабжения территории Араратской котловины, нужно отметить, что из 376 населенных пунктов котловины, полностью обеспеченными до-

брокачественной питьевой водой, с учетом роста водопотребления, являются только 129 сел, или 34,4%; остальные населенные пункты нуждаются в здоровой питьевой воде в той или иной степени.

По степени остроты на первом месте—безусловно Вединский район. Единственным районом Араратской котловины, где вопрос водоснабжения разрешен почти полностью, является Арташатский район. Все остальные районы ждут своей очереди.

В нижеследующей сводной таблице дана характеристика существующего водоснабжения на территории Араратской котловины

№ п/п	Р а й о н ы	Всего насел. пункт.	В том числе получающих воду.								
			Непосред. из родников		Из оросит. каналов	Из водопровода		Из рек и ручьев	Из кягиз.	Из артез. скважин	Из колодц.
			Обесп.	Не обесп.		Обесп.	не обесп.				
1	Апаранский	28	10	4	14	—	—	—	—	—	—
2	Аштаракский	38	7	4	20	—	7	—	—	—	—
3	Ахтинский	27	14	5	3	—	—	4	1	—	—
4	Р-н им. Берия	16	1	—	—	14	1	—	—	—	—
5	Эчмиадзинский	35	2	—	1	—	21	—	—	10	1
6	Вединский	16	—	—	8	2	3	2	1	—	—
7	Зангибасарский	28	1	—	—	5	1	2	—	14	5
8	Арташатский	42	—	—	—	42	—	—	—	—	—
9	Котайкский	37	13	4	10	2	4	—	—	—	4
10	Карабахларский	32	5	13	1	—	—	13	—	—	—
11	Октемберянский	33	2	—	19	—	—	1	—	11	—
12	Талинский	44	9	3	17	—	14	1	—	—	—
		376	64	33	93	65	51	23	2	35	10

Водно-Энергетический
Институт Академии Наук Арм. ССР.

Գ. Ս. Օսիպով

ԱՐԱՐԱՏՅԱՆ ԴԱՇՏԻ ՋՐԱՄՍԱԿԱՐԱՐՄԱՆ ԳԼԽԱՎՈՐ ՍԻԵՄԱՆ

Մինչ սովետական կարգերի հաստատումը Հայաստանում ջրամատակարարման խնդիրներին ոչ ցարական և ոչ էլ դաշնակցական կառավարութիւնների կողմից ոչ մի ուշադրութիւն չէր դարձրվում: Բնակելի վայրերի մեծ մասը զուրկ էր բարձրորակ խմելու ջրից:

Սովետական կարգերի հաստատումից հետո մեծ ջրջադարձ կատարվեց: Վերջին տարիների ընթացքում Հայաստանի բոլոր քաղաքները և գյուղերի զգալի մասը ստացան բարձրորակ խմելու ջուր:

Մինչ այսօր հորատված է մի քանի տասնյակ արտեզյան հոր և կառուցված է մինչև 800 կիլոմետր ջրմուղ: Վերջին տարիների ընթացքում միայն գյուղական ջրամատակարարման շինարարութիւն մեջ ներդրված է ավելի քան 30 միլիոն ուրբլի: Մրա հետևանքով, մոտ 150 բնակելի վայր

ստացել են բարձրորակ խմելու ջուր: Սակայն, չնայած կատարված աշխատանքին, Ռեսպուբլիկայի բնակելի վայրերի մեծ մասն այս կամ այն չափով դեռ կարիք է դրում որակյալ խմելու ջրի: Առանձնապես սուր է այդ խրնդիրը այն բնակելի վայրերի նկատմամբ, որոնք գտնվում են Արարատյան հովտի սահմաններում, որտեղ 376 բնակելի վայրերից ներկայումս լրիվ ապահովված են խմելու ջրով միայն 129-ը (34,4%¹⁰), իսկ մնացած բնակելի վայրերից խմելու ջրի սուր կարիք են դրում մոտ 100 գյուղ, հիմնականում Հոկտեմբերյան և Վեդու շրջանների գյուղերից: Դրա տարիներում նախատեսված է գյուղական, առաջին հերթին հերթին Արարատյան հովտի սահմաններում գտնվող գյուղերի, ջրմուղի ցանցի շինարարութան մեծ զարգացում, որի համար արդեն Հայկական ՍՍՌ Գիտությունների Ակադեմիայի Զրահներգետիկ ինստիտուտի կողմից մշակված է ջրամատակարարման գլխավոր սխեման:

H. A. Ossipov

General Scheme of Watersupply of the Ararat Valley

Before the establishment of the Soviet Government in Armenia neither the tsar nor the dashnak governments paid any attention to watersupply questions.

The most of the communities had no qualitative water.

After the establishment of the Soviet Government an abrupt change has outlined. During the years gone by about 150 communities—all the Armenian towns as well as a considerable part of villages—have received potable water of good quality some scores of artesian wells are sunken to-day; 800 kilometers of water-conduits are built. More than 30 millions of roubles are despensed in the elapsed years only for the building of rural watersupply. Still, inspite of the great work being done, most of the communities of the Republic need to a certain degree healthy potable water. Spectal difficulty offers this question for the communities in the Ararat valley.

Of the 376 communities of the Ararat valley only 129 (34%) are completely supplied with water at the present time. Of the latter about 100 villages (in general from the Octemberian and Vedian regions) are in urgent need of water.

A great development of rural water-conduits building is planned for the next years and foremost—on the Ararat valley. A general scheme for the water-supply of the Ararat valley exists already, being drawn up by the Water and Power Institute of Academy of Sciences of the Armenian SSR.

А. М. МХИТАРЯН

Фильтрация воды через земляные плотины на проницаемых основаниях

Фильтрация воды через земляные плотины являлась темой исследования целого ряда авторов, в числе которых встречаем имена крупных ученых: академиков Павловского, Жуковского и Шаффернака, профессоров Шоклича, Угинчуса, Нельсон—Скорнякова, Козени, Дахлера, Гришина, Замарина и др.

Однако, подавляющее большинство имеющихся исследований посвящено фильтрации через земляные плотины на непроницаемом основании. Между тем, значительное большинство сооружаемых плотин приходится располагать на более или менее проницаемом основании. В области фильтрации через плотины на проницаемом основании отсутствовали даже попытки дать общее решение задачи; немногочисленные же частные случаи, приведенные у некоторых авторов, не являются наиболее распространенными. Имеющийся опытный материал по этому вопросу тоже довольно ограничен и, при отсутствии общего теоретического исследования, не позволяет сделать какие-нибудь самостоятельные выводы. В этой работе автор поставил перед собой задачу дать теоретическое исследование вопроса о фильтрации через плотины на проницаемых основаниях.

Как обычно, разобьем плотину на три части. Проведем отдельные сечения II-III с таким расчетом, чтобы отделить крайние зоны с криволинейными очертаниями линий токов от зоны с примерно прямолинейными траекториями движения.

Из элементарных свойств жидкости, как известно, вытекает то положение, что струйки при входе в плотину или выходе из нее (при наличии воды в нижнем бьефе) нормальны к плоскости напорного (или низового) откоса, т. е. линии токов перпендикулярны к линиям эквипотенциала.

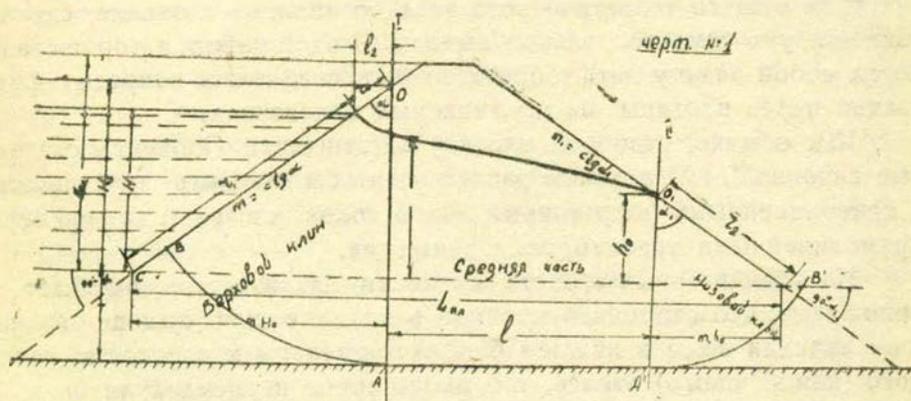
Заметим, что линии токов в пределах верхового клина имеют, во всех случаях, ясно выраженные вогнутые очертания и могут, поэтому, рассматриваться как дуги более или менее концентрических окружностей или эллипсов. Однако в пределах низового клина, расположение линий токов в верхней части несколько иное.

В самом деле, при отсутствии воды в нижнем бьефе низовой откос не представляет собой, как верховой, эквипотенциалы: линией эквипотенциала в нижнем бьефе служит горизонтальная поверхность земли. Поэтому линии токов в непосредственной близости от подножья сухого откоса направлены вертикально вверх, но в точке выклинивания кривой депрессии она, как известно, тангенциальна к сухому откосу и, поэтому, имеет чуть выпуклые (со впадом вниз) очертания: значит в пределах смежной части низового откоса направление выклинивающихся линий токов должно изменяться от тангенциального—в верхней точке клина через нормальное к откосу, где-то на его поверхности, и до вертикального—у подошвы откоса. В среднем это направление может быть более или менее близким к нормальному.

Как показывают опыты Нельсон-Скорнякова (1) и Скабаллановича (2, стр. 82, черт. 24; стр. 85, черт. 26 Скабаллиновича и стр. 9, черт. А. Нельсона-Скорнякова).

Выпуклые очертания линий токов могут иметь место только в самой верхней части клина (опытами эта выпуклость не уловлена, т. к. 1-я сверху линия тока уже имеет вогнутые очертания).

Таким образом, приближенно можно принять линии токов и пределах низового клина за дуги окружностей (или эллипсов) с центрами в точке O' для клина $A'O'\epsilon'$ и в точке C' для добавочного клина $\epsilon'B'C'$ (поскольку на линии $C'B'$ струи выклиниваются по вертикали; (см. черт. 4-б). Если в самой верхней части низового клина (у точки O') истинное направление линий токов и будет несколько отличаться от принятого нами, то для гидравлической задачи это не должно иметь практического значения.



Посмотрим, нельзя ли обусловить положение раздельного сечения I—I каким-либо количественным соотношением. В таблице 1 приводятся данные, характеризующие положение раздельного сечения для одиннадцати изученных моделей, из которых в шести моделях работы были исполнены как в лотке, так и методом ЭГДА.

Табл. 1

№ опыта и автор	По инженеру Скабаллановичу (2)			По академику Павловскому (3)					
Напор Н	4,42	4,42	4,75	6,75	6,75	6,75			
Мощность проникающего слоя Т	14	14	11,5	*) 11,5	*) 11,5	*) 11,5	0	0	0
$a = \frac{H_0}{H}$				10,0	10	10			
**) (по опытам в лотке	1,17	1,19	1,12	1,11	1,14	1,13	1,11	1,13	1,13
$a = \frac{H_0}{H}$ по методу ЭГДА	1,13	1,15		1,08	1,10	1,09	—	—	—
по опытам в лотке									
$a_1 = \frac{H_0+T}{H+T}$	1,04	1,05	1,03	1,04	1,05	1,05	1,11	1,13	1,11
по методу ЭГДА									
$a_1 = \frac{H_0+T}{H+T}$	1,08	1,04	—	1,03	1,04	1,04	—	—	—

ПРИМЕЧАНИЕ: *) Числитель дроби—величина Т для опытов в лотке, знаменатель—для опытов по методу ЭГДА.

**) Через H_0 обозначена геометрическая высота раздельного сечения в пределах профиля плотины (см. чер. 1).

Просматривая эту таблицу легко обнаружить, что в отличие от отношения a_1 , необнаруживающего достаточного постоянства, величина $a = \frac{H_0}{H}$ оказывается почти постоянной для всех опытов, несмотря на большие различия в размерах, характере моделей, методике опытов.

Если при определении a ограничиться одним знаком после запятой, то величина этого отношения примет постоянное значение $a=1.1$. Допущение $a=1.1$, как показывает таблица, дает погрешность не более нескольких процентов.

При $a=1.1$ расстояние раздельного сечения от уреза воды на верховом откосе l_2 будет равна:

$$l_2 = m(H_0 - H) = m(1.1H - H) = 0,1mH$$

(см. чертеж 1)

Фильтрация через верховой клин

Возьмем элементарную струйку dz , проходящую между откоса-ми и раздельным сечением на глубине Z .

Если по аналогии с методом Угинчуса (4), приближенно принять траектории струй за дуги окружностей с центром в верхней точке раздельного сечения O , то длина струйки определится так:

$$l_x = 2\pi(r_0 + z) \frac{\alpha}{360} \dots \dots \dots (1)$$

(см. чертеж 2.)

Однако, как показывают чертежи из опытов Н. Скорнякова, Пав-

ловского, Скабаллановича и др., линии токов несколько длинее дуг окружностей. Поэтому уточненное выражение длины струй следует написать так:

$$l_z = 2\pi\beta(r_0 + z) \frac{\alpha}{360} \dots \dots \dots (1)$$

где β -поправочный коэффициент-большой единицы. Поскольку верхние струи почти полностью точно соответствуют дугам окружностей и для них $\beta=1$, то этот коэффициент зависит от радиуса.

Эмпирически можно положить

$$\beta = a(r_0 + z)^\mu \dots \dots \dots (2)$$

где α и μ численные параметры, определение которых на опыте облегчается условием, что поверхностная струйка имеет $\beta=1$, т. е.

$$ar_0^\mu = 1 \dots \dots \dots (2')$$

(при $z=0$)

Пока мы не располагаем достаточными опытными данными для определения численных значений этих параметров. Поэтому, впредь до постановки специальных опытов вполне возможно полагать $\beta=1$. Это дает небольшой запас в расчете.

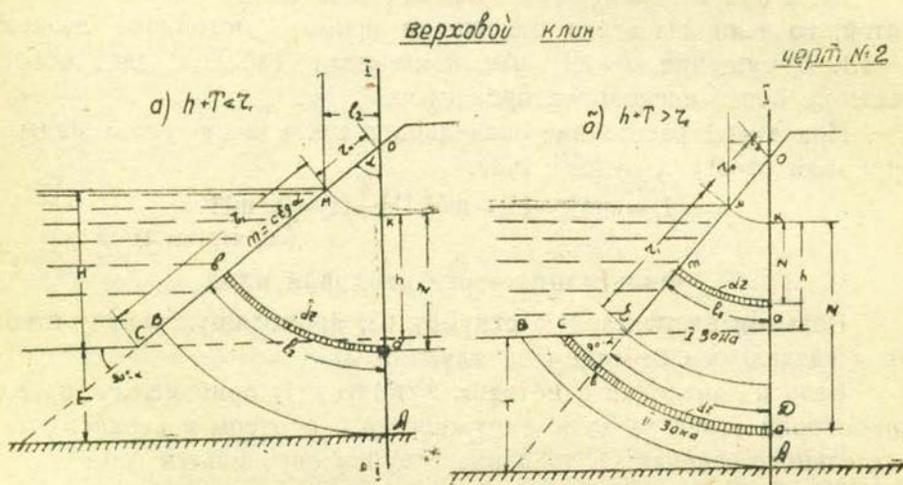
Рассмотрим 2 случая:

1. $h+T < r_1$ (см. черт. 2а), нижняя линия пока пересекает линию откоса.

2. $h+T > r_1$, нижняя линия тока пересекает линию понура.

(См. черт. 2 б)

Случай 1-й: $h+T < r_1$ или $h+T < \frac{H}{\cos\alpha}$



Общая потеря напора в верхнем клине есть $H-h$.

Если живое сечение AK плоское, то эту потерю напора будет иметь каждая струйка.

Уклон элементарной струйки будет:

$$J = \frac{H-h}{2\pi\beta(r_0+z)\frac{\alpha}{360}} = \frac{H-h}{g(r_0+z)} \dots \dots \dots (3)$$

где $g = 2\pi\beta\frac{\alpha}{360}$

При $\beta=1$ величина g будет представлять собой ничто иное, как угол α , выраженный в радианах.

По закону Дарси $v = KJ = K\frac{H-h}{g(r_0+z)}$

Элементарный расход равен: $dq = \frac{K(H-h)}{g(r_0+z)} \cdot dz$

Интегрируя получим:

$$q = \frac{K(H-h)}{g} \int_0^{h+T} \frac{dz}{z+r_0} = \frac{K(H-h)}{g} \left[\ln(r_0+h+T) - \ln r_0 \right]$$

Подставив сюда значение r_0 , равное $H_0 - h = 1,1H - h$, после преобразований получим:

$$q = \frac{K(H-h)}{g} \ln \frac{1,1H+T}{1,1H-h} \dots \dots \dots (4)$$

Случай 2-й: $h+T > r_1$ или $h+T > \frac{H}{\cos\alpha}$

Проводя радиусом r_1 дугу через точку ε , разобьем поток на две зоны. Обозначим расход, проходящий в первой зоне q_1 , а расход во второй зоне через q_2 (см. черт. 2-б)

По предыдущему расход любой струйки, расположенной в пределах 1-й зоны, будет:

$$dq_1 = KJdz_1 = \frac{K(H-h)dz}{g(r_0+z)} \text{ и, следовательно,}$$

$$q_1 = \frac{K(H-h)}{g} \int_0^{r_1} \frac{dz}{r_0+z} = \frac{K(H-h)}{g} \left[\ln(r_1+r_0) - \ln r_0 \right]$$

Длина струйки во второй зоне складывается из двух отрезков ab и bc и, следовательно, равна:

$$g(z+r_0) + 2\pi\beta \frac{(90-\alpha)(z-r_1)}{360} = g(z+r_0) + g_4(z-r_1)$$

Через g_4 обозначена величина $2\pi\beta \frac{(90-\alpha)}{360}$, которая, при $\beta=1$ равна

$\frac{\pi}{2} - \alpha$, т. е. выражает собой угол в радианах, дополняющий угол α до 90° .

Гидравлический градиент: $J = \frac{H-h}{g(z+r_0) + g_4(z-r_1)}$

Расход элементарной струйки—

$$dq_2 = v dz = K J dz = \frac{K(H-h) dz}{g(z+r_0) + g_4(z-r_1)}$$

Следовательно, расход, проходящий через вторую зону, будет равен:

$$q_2 = K(H-h) \int_{r_1}^{h+T} \frac{dz}{g(z+r_0) + g_4(z-r_1)} = \frac{K(H-h)}{g+g_4} \ln \left[\frac{(g+g_4)z + gr_0 - g_4 r_1}{r_1} \right]_{r_1}^{h+T} =$$

$$= \frac{K(H-h)}{g+g_4} \ln \frac{gh + gT + g_4 h + g_4 T + gr_0 - g_4 r_1}{gr_1 + gr_0}$$

Приняв во внимание, что $r_0 = 1,1H - h$, получим:

$$q_2 = \frac{K(H-h)}{g+g_4} \ln \frac{gT + g_4(h+T) + 1,1gH - g_4 r_1}{gr_1 + g(1,1H - h)}$$

Полный расход через верховой клин $q = q_1 + q_2$.

Подставив значения, q_1 и q_2 и имея ввиду, что $r_1 = \frac{H}{\cos \alpha}$, после преобразования окончательно получим:

$$q = \frac{K(H-h)}{g} \left[\ln \frac{H \left(\frac{1}{\cos \alpha} + 1,1 \right) - h}{1,1H - h} + \right. \\ \left. + \frac{K \cdot g}{g+g_4} \ln \frac{(g+g_4)T + g_4 h + 1,1gH - g_4 \frac{H}{\cos \alpha}}{gH \left(\frac{1}{\cos \alpha} + 1,1 \right) - gh} \right] \dots \dots (5)$$

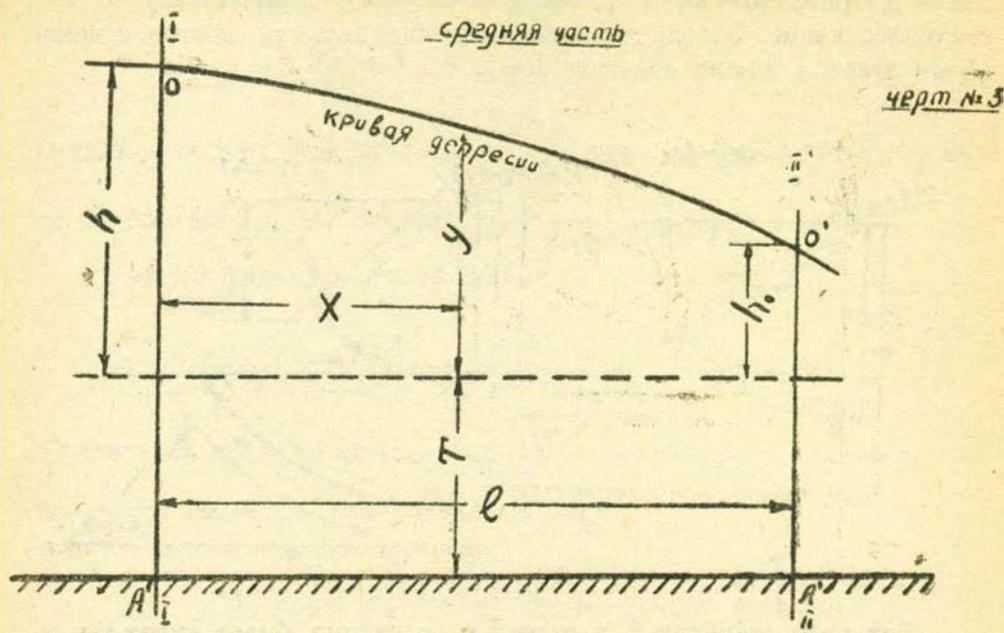
Заметим, что $g+g_4 = \beta \frac{\pi}{2} \approx \frac{\pi}{2}$

Движение воды в средней части плотины

В средней части плотины поток движется почти по горизонтальному основанию, аналогично перемычке с вертикальными стенками.

Для средней части плотины очевидно применена формула Дюпюи (что и принято во всех солидных работах).

Обозначая через U высоту кривой депрессии в теле плотины на расстоянии X от сечения II, получим выражение для расхода фильтрации:



$$q = v(y+T) = KJ(y+T) = -K \frac{dy}{dx}(y+T)$$

Разделим переменные и проинтегрируем $qx = -K \left(\frac{y^2}{2} + Ty \right) + C$

Постоянное интегрирование C определяется из условия $y=h$, при

$$x=0, C = K \left(\frac{h^2}{2} - Th \right). \text{ Таким образом, } qx = \frac{K(h^2 - y^2)}{2} + KTh - Ky.$$

Положив в этом уравнении $y=h_0$ (где h_0 попержнему выходная ордината кривой депрессии) и $x=l$, получим:

$$\frac{ql}{K} = T(h-h_0) + \frac{h^2 - h_0^2}{2} \dots \dots \dots 6$$

Это выражение представляет собой формулу Дюпюи, выведенную для плотин на проницаемом основании.

Движение воды в низовом клине

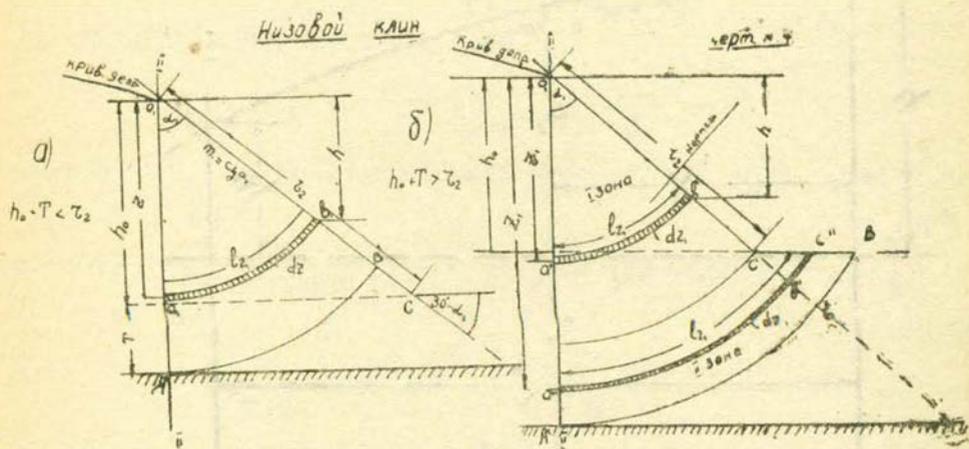
При движении через низовой клин, аналогично вышесказанному о фильтрации в верховом клине, могут встретиться два случая. При малой толщине проницаемого слоя, когда $h_0 + T < r_2$ и большой T , когда $h_0 + T > r_2$.

Случай 1-й: $h_0 + T < r_2$, или $h_0 + T < \frac{h_0}{\cos \alpha}$.

— нижняя линия тока пересекает линию откоса. См. черт. 4 а.

Длина струйки на глубине z_1 , очевидно, равна $2\pi \beta \frac{\alpha_1 z_1}{360} = g_2 z_1$.

Здесь β_1 — поправочный коэффициент аналогично коэффициенту β для верхового клина. Впредь, до постановки специальных опытов, с некоторым запасом можно полагать $\beta_1 = 1$.



При этом значении β_1 параметр g_2 , очевидно, будет выражать собой угол α_1 в радианах.

Разность горизонтов воды в начале и в конце струйки $h^1 = z^1 \cos \alpha_1$, поэтому гидравлический градиент

$$J = \frac{z_1 \cos \alpha_1}{g_2 z_1} = \frac{\cos \alpha_1}{g_2} \dots \dots \dots (7)$$

Следовательно, расход:

$$q = \int KJ dz + \int_0^{h_0 + T} \frac{K \cos \alpha_1}{g_2} dz_1 = \frac{K}{g_2} (T + h_0) \cos \alpha_1 \dots \dots (8)$$

Случай 2-й $h_0 + T > r_2$ или $h_0 + T > \frac{h_0}{\cos \alpha_1}$,

нижняя линия тока пересекает рисберму, см. черт. 4 б.

Разобьем область фильтрации, как и раньше, на 2 зоны, проводя дугу радиусом r_2 . В первой зоне гидравлический градиент поперек ему будет равен $J = \frac{\cos \alpha_1}{g_2}$, скорость по Дарси $v = KJ = K \frac{\cos \alpha_1}{g_2}$,

полный фильтрационный расход в первой зоне:

$$q_1 = \int_0^{r_2} v dz_1 = \frac{K \cos \alpha_1 r_1}{g_2}$$

Во второй зоне длина струи будет слагаться из дуги a^*b^* , проведенной из центра O^* и дуги b^*c^* из центра C^* , следовательно,

$$lz_1 = 2\pi\beta_1 \frac{\alpha_1}{360^\circ} z_1 + 2\pi\beta_1 \frac{(90^\circ - \alpha_1)(z - z_2)}{360^\circ} = g_2 z_1 + g_3 (z_1 - r_2)$$

где $g_3 = 2\pi\beta_1 \frac{90 - \alpha}{360}$

Гидравлический градиент $J = \frac{h_0}{g_2 z_1 + g_3 (z_1 - r_2)}$ элементарный расход во второй зоне будет равен: $dq_2 = \frac{Kh_0 dz_1}{g_2 z_1 + g_3 (z_1 - r_2)}$

Полный фильтрационный расход во второй зоне:

$$q_2 = \int_{r_2}^{h+T} Kh_0 \frac{dz_1}{g_2 z_1 + g_3 (z_1 - r_2)} = \frac{Kh_0}{g_2 + g_3} \left| \ln(z_1 g_2 + r_1 g_3 - z_2 g_3) \right|_{r_2}^{h_0 + T}$$

Подставляя пределы интегрирования и принимая во внимание, что $r_2 = \frac{h_0}{\cos \alpha_1}$, после преобразования получим:

$$q_2 = \frac{Kh_0}{g_2 + g_3} \ln \left[\cos \alpha_1 \left(1 + \frac{g_2}{g_3} \right) \left(1 + \frac{T}{h_0} \right) - \frac{g_3}{g_2} \right]$$

Суммируя расходы q_1 и q_2 , получим расчетную формулу фильтрационного расхода, проходящего через визовой клин:

$$q = \frac{Kh_0}{g_2} + \frac{Kh_0}{g_2 + g_3} \ln \left[\cos \alpha_1 \left(1 + \frac{g_2}{g_3} \right) \left(1 + \frac{T}{h_0} \right) - \frac{g_3}{g_2} \right] \quad (9)$$

Таким образом, нами в нескольких вариантах получены фильтрационные уравнения для всех трех частей плотины.

Четвертое уравнение получается весьма просто, как соотношение между элементами плотины:

$$l = L_{пл.} - mH_0 - m_1 h_0 = L_{пл.} - 1,1mH - m_1 h_0$$

(см. черт. 1)

$L_{пл.}$ — длина плотины; m и m_1 — откосы, низовой и верховой.

Составление систем фильтрационных уравнений

Случай 1-й: $h+T < r_1$ или $h+T < \frac{H}{\cos \alpha}$ (15)

— при малой мощности проницаемого слоя.

$$\frac{q}{k} = \frac{H-h}{g} \ln \frac{1,1H+T}{1,1H-h} \quad \dots \quad (4)$$

$$\frac{q}{k} \cdot l = T(h-h_0) + \frac{h^2 - h_0^2}{2} \quad \dots \quad (6)$$

$$\frac{q}{k} = \frac{T+h_0}{2} \cos \alpha_1 \quad \dots \quad (8)$$

$$l = L_{пл.} - 1,1mH - m_1 h_0 \quad \dots \quad (10)$$

. (11)

Неизвестные: q —расход, h —входная ордината, h_0 —выходная ордината и l —расстояние между сечениями I—I и II и II

Случай 2-й:

$$h+T < r_1 \text{ Но } h_0+T > r_2 \text{ или } h+T < \frac{H_0}{\cos \alpha} \dots (15), H_0 h_0+T > \frac{h_0}{\cos \alpha_1} (17)$$

при средней мощности проникаемого слоя.

$$\frac{q}{k} = \frac{H-h}{g} \ln \frac{1,1H+T}{1,1H-h} \dots \dots \dots (4)$$

$$\frac{q}{k} l = T(h-h_0) + \frac{h^2-h_0^2}{2} \dots \dots \dots (6)$$

$$\frac{q}{k} = \frac{h_0}{2} + \frac{h_0}{g_2+g_3} \ln \left[\cos \alpha_1 \left(1 + \frac{g_3}{g_2} \right) \left(1 + \frac{T}{h_0} \right) - \frac{g_3}{g_2} \right] (9)$$

$$l = L_{\text{пл.}} - 1,1mH - m_1 h_0 (10)$$

} (12)

Неизвестные: q , h , h_0 , l

Случай 3-й: $h+T > r_1$ или $h+T > \frac{H_0}{\cos \alpha_1}$

при большой толщине проникаемого слоя T

$$\frac{q}{k} = \frac{H-h}{g}$$

$$\ln \frac{H \left(\frac{1}{\cos \alpha} + 1,1 \right) - h}{1,1H-h} + \frac{g}{g+g_4} \ln \frac{(g+g_4)T + g_4 h + 1,1gH - g_4 \frac{H}{\cos \alpha}}{gH \left(\frac{1}{\cos \alpha} + 1,1 \right) - gh} (5)$$

$$\frac{q}{k} l = T(h-h_0) + \frac{h^2-h_0^2}{2} \dots \dots \dots (6) (13)$$

$$\frac{q}{k} = \frac{h_0}{g_2} + \frac{h_0}{g_2+g_3} \ln \left[\left(1 + \frac{g_3}{g_2} \right) \cos \alpha_1 \left(1 + \frac{T}{h_0} \right) - \frac{g_3}{g_2} \right] \dots \dots \dots (9)$$

$$l = L_{\text{пл.}} - 1,1mH - m_1 h_0 \dots \dots \dots (10)$$

Неизвестные: q_1 , h_1 , h_0 и l

Общее решение фильтрационных уравнений

Полученные нами уравнения несравненно сложнее уравнений Павловского для плотин на непроницаемом основании. Составление расчетных графиков и таблиц, номографирование уравнений осложняется еще и тем, что они, по сравнению с уравнениями Павловского, содержат один дополнительный параметр—мощность проникаемого основания— T .

Неизвестные: q — расход, h — входная ордината, h_0 — выходная ордината и l — расстояние между сечениями I—I и II-II

Случай 2-й:

$$h+T < r_1 \text{ Но } h_0+T > r_2 \text{ или } h+T < \frac{H_0}{\cos \alpha} \dots (15), \text{ Но } h_0+T > \frac{h_0}{\cos \alpha_1} (17)$$

при средней мощности проницаемого слоя.

$$\frac{q}{k} = \frac{H-h}{g} \ln \frac{1,1H+T}{1,1H-h} \dots (4)$$

$$\frac{q}{k} l = T(h-h_0) + \frac{h^2-h_0^2}{2} \dots (6)$$

$$\frac{q}{k} = \frac{h_0}{2} + \frac{h_0}{g_2+g_3} \ln \left[\cos \alpha_1 \left(1 + \frac{g_3}{g_2} \right) \left(1 + \frac{T}{h_0} \right) - \frac{g_3}{g_2} \right] \dots (9)$$

$$l = L_{\text{пл.}} - 1,1mH - m_1h_0 \dots (10)$$

} (12)

Неизвестные: q , h , h_0 , l

Случай 3-й: $h+T > r_1$ или $h+T > \frac{H_0}{\cos \alpha_1}$

при большой толщине проницаемого слоя T

$$\left[\ln \frac{H \left(\frac{1}{\cos \alpha} + 1,1 \right) - h}{1,1H-h} + \frac{g}{g+g_4} \ln \frac{(g+g_4)T + g_4h + 1,1gH - \frac{H}{\cos \alpha}}{gH \left(\frac{1}{\cos \alpha} + 1,1 \right) - gh} \right] \frac{q}{k} = \frac{H-h}{g} \dots (5)$$

$$\frac{q}{k} l = T(h-h_0) + \frac{h^2-h_0^2}{2} \dots (6) \dots (13)$$

$$\frac{q}{k} = \frac{h_0}{g_2} + \frac{h_0}{g_2+g_3} \ln \left[\left(1 + \frac{g_3}{g_2} \right) \cos \alpha_1 \left(1 + \frac{T}{h_0} \right) - \frac{g_3}{g_2} \right] \dots (9)$$

$$l = L_{\text{пл.}} - 1,1mH - m_1h_0 \dots (10)$$

Неизвестные: q , h , h_0 и l

Общее решение фильтрационных уравнений

Полученные нами уравнения несравненно сложнее уравнений Павловского для плотин на непроницаемом основании. Составление расчетных графиков и таблиц, номографирование уравнений осложняется еще и тем, что они, по сравнению с уравнениями Павловского, содержат один дополнительный параметр — мощность проницаемого основания — T .

<div style="text-align: center;">Случай движения</div> <div style="text-align: left; padding-left: 5px;">область движения</div>	Случай малой мощности проницаемого слоя Т когда: $y > \frac{1}{\frac{1}{\cos \alpha_1 - 1}}$	Средние значения Т $y < \frac{1}{\frac{1}{\cos \alpha_1 - 1}} \quad \text{Нох} < \frac{\gamma}{\cos \alpha - 1}$
Верховой клин	$Q = \frac{\gamma - x}{g} - \ln \frac{1,1\gamma + 1}{1,1\gamma - X} \quad (4')$	—
Средняя часть	—	$Q(\varepsilon - m_1 y) = x - y + \frac{x^2 - y^2}{2} \quad (14')$
Низовой клин	$Q = (1 + y) \frac{\cos \alpha_1}{g_1} \quad (8')$	—

Таблица 2

Большие значения T . $x > \frac{\gamma}{\cos \alpha} - 1$

$$Q = \frac{\gamma - x}{g} \ln \left[1 + \frac{\gamma}{\cos \alpha (1,1\gamma - x)} \right] + \frac{g}{g + g_1} \ln \frac{1 + \frac{g_1}{g} (1 + x) + 1,1\gamma \cdot \frac{g_1 \gamma}{g \cos \alpha}}{1,1\gamma - x + \frac{\gamma}{\cos \alpha}} \quad (5')$$

$$Q = \frac{y}{g_2} + \frac{y}{g_2 + g_3} \ln \left[\cos \alpha \cdot \left(1 + \frac{g_3}{g_2} \right) \cdot \left(1 + \frac{1}{y} \right) - \frac{g_3}{g_2} \right] \quad (9')$$

И так, мы получили три системы из трех уравнений с неизвестными x , y и Q .

Исключение—два неизвестных, к сожалению даже эта задача—получение из систем (12) или (13) одного уравнения—алгебраически неосуществима. Поэтому нельзя воспользоваться способом графического решения, предложенным Павловским. Мы получили бы одно уравнение с одним неизвестным, содержащим, кроме этого, параметры γ , ϵ , m , m_1 .

Что касается величин g , g_2 , g_3 , g_4 , α , α_1 , то они определяются величинами m и m_1 . В таблице № 3 мы даем численные значения g и $\cos\alpha$ для употребляемых на практике величин заложения откосов. Составление одного расчетного графика, разрешающего весьма сложные соотношения, содержащие, помимо неизвестного, четыре параметра (γ , ϵ , m и m_1), конечно, крайне затруднительно, не говоря уже про табличный способ.

Таблица 3

для определения параметров фильтрационных уравнений, зависящих от заложения откосов плотины.

1	2	3	4	5	6	7	8
Заложение откоса m (или m_1)	Угол α (или α_1)	Угол дуговых един. g (или g_2)	Угол дугов. единиц. до $\frac{\pi}{2}$	$\cos\alpha$ или $\cos\alpha_1$	$A = \frac{\cos\alpha}{g}$ ($\cos\alpha_1$)	Критич. значен. $U_{кр.} = \frac{1}{\cos\alpha_1 - 1}$	$2m_1 A - 1$
			$g = \frac{\pi}{2} - g_2$ ($g_2 = \frac{\pi}{2} - g_3$)				
2,0	63°261	1,107	0,464	0,447	0,404	0,808	0,616
2,25	63° 21	1,152	0,449	0,4062	0,3526	0,684	0,587
2,50	68°121	1,190	0,381	0,3714	0,312	0,5091	0,560
2,75	70° 11	1,222	0,349	0,3417	0,280	0,519	0,540
3,0	71°341	1,249	0,3222	0,3162	0,253	0,462	0,518
3,25	72°541	1,272	0,299	0,2940	0,2311	0,416	0,502
3,50	74° 31	1,292	0,279	0,2748	0,2127	0,379	0,489
3,75	75° 41	1,310	0,261	0,2577	0,1967	0,347	0,475
4,00	75°581	1,326	0,245	0,2425	0,1829	0,320	0,4632
4,5	77°281	1,352	0,219	0,2170	0,1705	0,277	0,4445
5,0	78°411	1,373	0,198	0,1982	0,1429	0,244	0,429

Поэтому приходится стать на путь составления индивидуальных расчетных графиков для стандартных профилей земляных плотин, характеризующихся определенными заложениями откосов. Как известно, стандартным профилем для массового строительства низких земляных плотин (до 10 м) является профиль с откосом $m=3$, $m_1=2$.

Этот профиль широко распространен и в более крупном гидро-

техническом строительстве. Так, например, Джестин⁽⁵⁾ приводит данные о 131-й плотине высотой до 78 метров, обнаружившей хорошую устойчивость. Из этих данных следует, что 43% всех плотин с высотой от 20 до 30 м имели откосы $m=3$ и $m_1=2$.

В общем, повидимому, не менее 50% всех строящихся у нас земляных плотин имеют вышеуказанный стандартный профиль.

Составив расчетный график для этого основного стандарта, несколько (4—5) графиков для других, менее распространенных стандартов, можно обеспечить расчетным материалом подавляющее большинство всех проектируемых плотин.

Предлагаемое решение излагается ниже.

Отметим, что уравнения для низового клина хотя и отличаются сложной структурой, но содержат при заданном m_1 только две величины y и Q ($\cos\alpha_1, g_2, g_3$ определяются через m_1). Поэтому, для любого m_1 , задаваясь рядом значений y , нетрудно вычертить кривую $Q=f(y)$.

Повторяя те же вычисления для других значений m_1 , можно получить семейство кривых, т. е. расчетный график, дающий для любого профиля плотины зависимость приведенного расхода Q от приведенной выходной ординаты y .

Зависимость Q от y может определяться или формулой (8'), или же формулой (9'). Но применимость той или другой формулы опре-

деляется неравенством $y > \frac{1}{\frac{1}{\cos\alpha_1} - 1}$, правая часть которого зависит

только от m_1 . Значит для каждого заложения откоса существует оп-

ределенное критическое значение $Y_{кр.}$, равное $Y_{кр.} = \frac{1}{\frac{1}{\cos\alpha_1} - 1}$

(см. колонку 7 табл. 3), при котором уравнение (9') сменяется формулой (8').

Определив расход Q для значений $y < Y_{кр.}$ по (9'), а для $y > Y_{кр.}$ по (8'), можно объединить эти два выражения в одном графике, устранив, тем самым, многообразие решений. Дальнейшая схема решения рисуется в следующем виде:

Выбрав ряд значений $x=x_1, x_2, x_3$ ($x=1, x=2, x=3$ и т. д.), для каждого из них задаемся рядом значений γ по формуле (4'), вычисляем значение Q . Само собой разумеется, что для значений γ ,

удовлетворяющих неравенству $x > \frac{\gamma}{\cos\alpha_1 - 1}$, т. е. для значений

$\gamma < (x+1)\cos\alpha_1$, расчет Q производим по уравнению (5'). Зная Q , можно определить по графику зависимость $Q=f(y)$, значение y , соответствующие выбранным x и γ .

После этого, обращаясь к уравнению (14'), нетрудно определить из него ε :

$$\varepsilon = \frac{x-y}{Q} + \frac{x^2 - y^2}{2Q} + m_1 y \quad \dots \quad (14'')$$

Найденные значения ε соответствуют величинам x и y . Поэтому результаты расчетов могут быть изображены в виде семейства кривых $y=f(\varepsilon)$, из коих каждая вычерчивается для определенного значения x . При проектировании на основе этого графика решается обратная задача: по заданным y и ε находится точка, дающая по интерполяции между соседними кривыми величину x .

Для удобства расчета на графике II наносятся дополнительные кривые $x' = \frac{y}{x}$, как будет изложено ниже.

Зная величину расхода, можно определить по формуле (4') или (5'), а затем y -по графику $Q=f(y)$. Для ускорения расчета можно составить график, определяющий непосредственно по значениям x и y , совершенно аналогичный графику для определения x .

Проследим ход построения расчетных графиков для стандартного профиля с $m=3$ и $m_1=2$.

При $m=3$ и $m_1=2$ из таблицы 3 имеем: $g=1,249$, $g_2=1,107$, $g_3=0,464$, $g_4=0,322$, $\cos \alpha=0,3162$, $\cos \alpha_1=0,447$ и $U_{кр.}=0,808$.

Подставляя эти значения функции m в уравнение (9') и заменяя натуральный на десятичный логарифм, получим:

$$Q = y \left[0,9025 + 1,466 \lg \left(\frac{0,6322}{y} + 0,2148 \right) \right] \quad \dots \quad (9'')$$

Аналогичные выражения вычислены для $m_1=3$ и $m_1=4$. Это уравнение применимо при значении y от нуля до ∞ . Последнее по таблице 3 составляет 0,808 для $m_1=2$, затем 0,462 для $m_1=3$ и 0,32 для $m_1=4$.

При больших значениях y Q определяется формулой:

$$Q = \frac{\cos \alpha_1}{g_2} (1+y) = A(1+y),$$

представляющей собой просто уравнение прямой.

Значение A по таблице 3 при $m_1=2$ равно 0,404, при $m_1=3,0$ равно 0,253 и т. д.

Задаваясь рядом значений y по уравнению (9''), мы составили таблицу 4 для определения Q . В таблицу включены только значения y , меньше $U_{кр.}$, т. к. при больших y функции $Q=f(y)$ приобретает элементарно простой вид. По этой таблице составлен расчетный график № 1, на котором кривая (9') и прямая (8') совмещены, являясь продолжением друг друга.

Основное уравнение верхового клина (4') при $m=3$ приобретает вид

$$Q = 1.842(\gamma - x) \lg \frac{1,1\gamma + 1}{1,1\gamma - x} \dots \dots \dots (4'')$$

Для малых γ (больших T) в качестве расчетного используется уравнение (5'), подстановка в которое значений m и его функций позволяет получить:

$$Q = 1,842(\gamma - x) \left[\lg \left(1 + \frac{\gamma}{0,3162(1,1\gamma - x)} \right) + 0,795 \lg \frac{1 + 0,256(1+x) + 0,29\gamma}{4,263\gamma - x} \right] \dots (5'')$$

Мы задались рядом значений ($x=0,1$, $x=0,3$, $x=0,5$, $x=1,0$, $x=2,0$, $x=3,0$, $x=4$ и т. д.) и для каждого из этих x рядом значений γ , взятых в интервале от $1,025x$ до $1,5x$, т. е. в интервале, ох-

Таблица 4 $Q=f(y)$

y	Q	Q	Q
	при $m_1=2$	$m_1=3$	$m_1=4$
0,005	—	0,01794	0,01667
0,01	0,0354	0,03148	0,02894
0,02	0,0621	0,03148	0,04910
0,03	0,855	0,07358	0,066
0,04	0,1067	0,09086	0,08073
0,05	—	0,1066	0,093925
$Y_{кр.} = 0,808$	$y > 0,808$ $Q = 0,404(y+1)$	$y > 0,462$ $Q = 0,453(y+1)$	$y > 0,320$ $Q = 0,183(y+1)$

ватывающим, повидимому, все практически возможные случаи. Определив по уравнениям (4'') и (5'') величины Q , мы затем брали соответствующие значения y с графика № 1, что позволило определить ε по формуле (14'').

$$\varepsilon = \frac{x-y}{Q} + \frac{x^2-y^2}{2Q} + 2y$$

Результаты расчетов сведены в таблицы № 5.

По данным этой таблицы составлен этот график для определения x по данным γ и ε (график № 2).

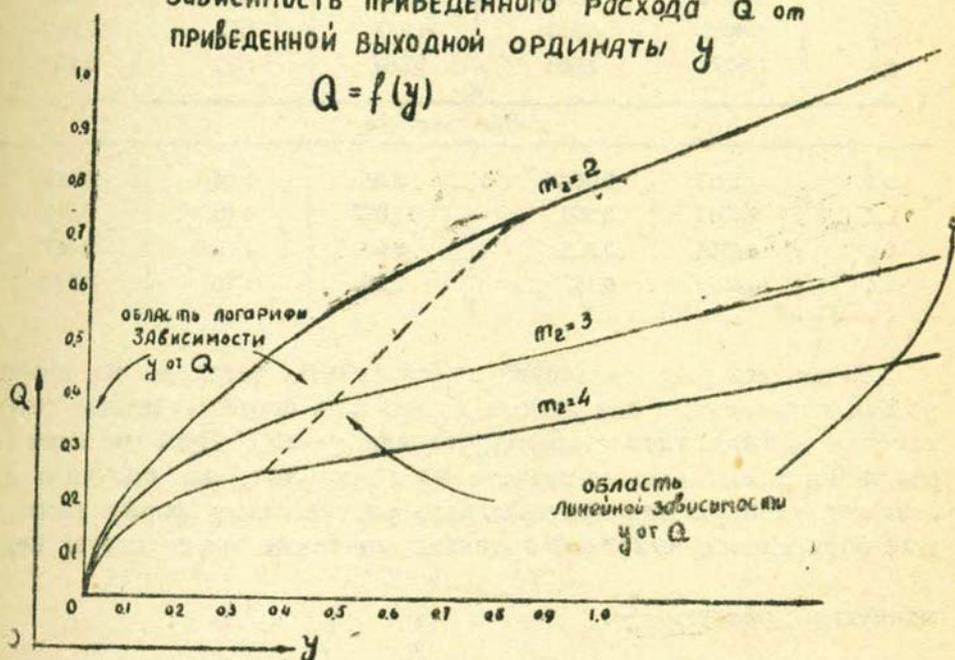
В качестве расчетного этот график имеет один существенный недочет: величина x может изменяться в пределах от 0 до ∞ , что при ограниченном числе кривых приводит к необходимости интерполировать в больших интервалах, т. е. несколько затрудняет расчет и сни-

жает его точность. Учитывая это обстоятельство, мы ввели новую переменную x' , представляющую собой отношение $\frac{y}{x}$.

$$\text{Очевидно: } x' = \frac{y}{x} = \frac{H}{h}$$

ГРАФИК №1

зависимость приведенного расхода Q от
приведенной выходной ординаты y
 $Q = f(y)$



Величина x' с одной стороны имеет конкретное значение для каждой строки нашей таблицы, с другой стороны имеет чрезвычайно небольшой интервал изменения, примерно от 1,03 и не более 1,50.

Таблица 5

$$X=4,0, \gamma_{кр}=1,58$$

τ	Q	y	ϵ	x'	y'
4.1	0,1904	0,388	62,72	1,025	0,02146
4.2	0,7527	0,2163	33,78	1,05	0,0515
4.3	0,4945	0,3765	24,15	1,075	0,08756
4.4	0,6205	0,5755	19,30	1,10	0,1308

x=3,0 $\gamma_{кр}=1,26$					
3,1	0,1900	0,0877	39,167	1,033	0,283
3,2	0,346	0,2098	21,426	1,067	0,656
3,3	0,4787	0,356	15,503	1,10	0,1079
3,4	0,5942	0,532	12,555	1,133	0,1665
x=2,5 $\gamma_{кр}=1,11$					
2,6	0,1398	0,0876	20,329	1,04	0,0837
2,7	0,3414	0,2053	16,223	1,08	0,0760
2,8	0,4682	0,343	11,842	1,12	0,1225
2,9	0,5771	0,503	9,662	1,16	0,1734
x=2,0 $\gamma_{кр}=0,95$					
2,1	0,1897	0,08725	20,81	1,05	0,1415
2,2	0,3555	0,200	11,667	1,10	0,0909
2,3	0,4551	0,328	8,606	1,15	0,1426
2,4	0,5562	0,467	7,090	1,20	0,1946

Задавшись рядом значений x' (через 0,1) нетрудно на кривых $\gamma=f(\epsilon)$, приведенных для разных x , отыскать соответственные точки, которые должны удовлетворить условию $\gamma=x \cdot x'$. Проводя затем через точки с постоянными значениями x' кривые, мы получили достаточно удобную для практического употребления форму графика. Для определения выходной ординаты мы также ввели новую пере-

менную y' , равную $\frac{y}{\gamma}$.

Для построения расчетного графика удобнее всего связать y' с x и γ , как величинами, имеющими также небольшой интервал изменения.

Выбирая из таблицы или с предыдущего графика попарные значения y' и γ , соответствующие постоянным x' , взятым через интервал 0,1, мы оставили расчетный график II б.

Графики 2-а и 2-б объединяют все три возможные варианты решения задачи на фильтрацию через плотину.

Пользование предложенными графиками чрезвычайно упрощает расчет, что видно, например, из приводимого ниже примера.

Пример. Определить элементы кривой депрессии по данным:

$$H=10 \text{ м}, T=10 \text{ м}, m=3, m_1=2, L=63 \text{ м}$$

приведенный напор: $\gamma = \frac{H}{T} = \frac{10}{10} = 1$

ГРАФИК №2а

ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ x'
(входная ордината)

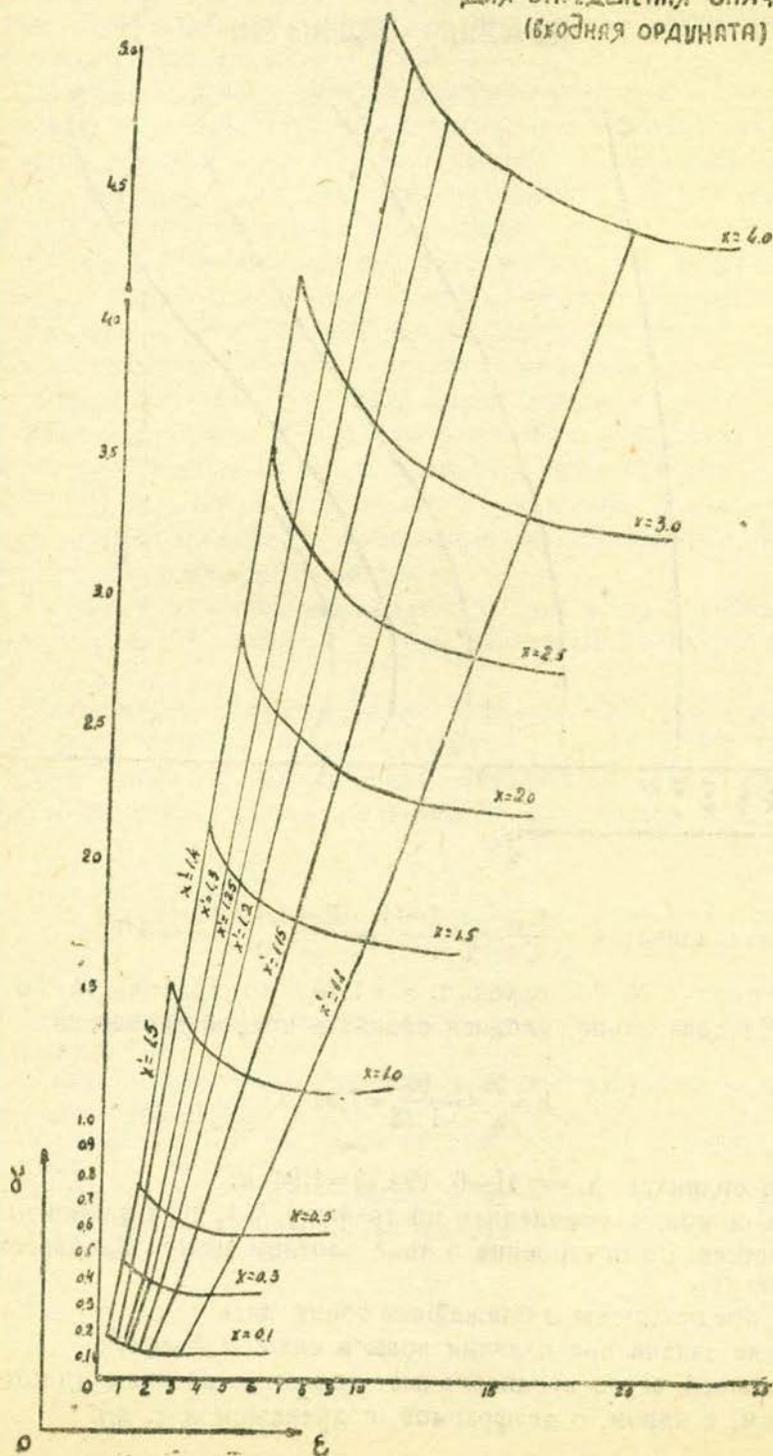
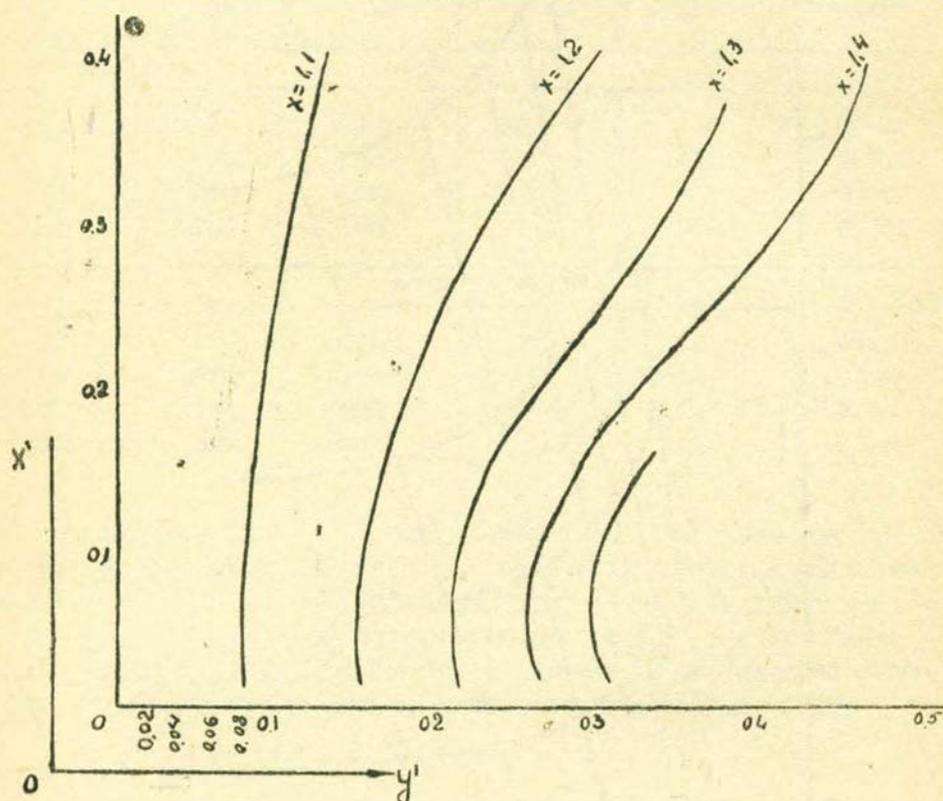


ГРАФИК №2^в
 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ y'
 (ВЫХОДНАЯ ОРДИНАТА)



приведенная длина: $\varepsilon = \frac{L_{пл.} - 1,1mH}{T} = \frac{63 - 1,1 \cdot 3 \cdot 10}{10} = 3,0$

По графику № 2-а находим $x' = 1,28$, а по графику № 2-б $y' = 0,194$. Следовательно, входная ордината кривой депрессии

$$h = \frac{H}{x'} = \frac{10}{1,28} = 7,82 \text{ м.}$$

Выходная ордината $h_0 = y'H = 0,194 \cdot 10 = 1,94 \text{ м.}$

Расход можно определить по графику №1, зная элементы кривой депрессии. Ее построение в теле плотины можно произвести по уравнению (6).

Мы предполагаем в ближайшее время дать:

1. Решение задачи при наличии воды в нижнем бьефе.
2. Фильтрацию через неоднородные земляные плотины (плотина с экраном, с ядром, с диафрагмой, с дренажом и т. д.).

Резюме

Вопросы фильтрации и фильтрационного расчета земляных плотин имеют большое практическое значение, поскольку устойчивость плотин, в значительной степени, обусловлена их способностью противостоять фильтрационному потоку.

По этому вопросу имеется довольно обширная литература, но подавляющее большинство работ посвящено исследованию фильтрации через земляные плотины на непроницаемом основании, в то время как наибольшее практическое значение имеет гидравлический расчет плотин на проницаемом основании.

В этой статье мы дали гидравлическое решение фильтрации воды через земляные плотины на проницаемых основаниях. В отличие от предыдущих исследований, мы вкладываем в понятие верхового клина не геометрический, а гидравлический смысл, проводя раздельное сечение по точкам перегибов линий токов.

Анализ опытных материалов позволяет установить расстояние раздельного сечения от уреза воды $l_2 = 0,1mH$. Очертания линий токов, в пределах низового и верхового клиньев, принято криволинейным, а не прямолинейным, принятыми многочисленными авторами, в том числе академиком Павловским.

Различие соотношения величин напора воды H и мощности проницаемого слоя T приводит к трем различным случаям фильтрационного расчета.

Недостатком предполагаемого решения является необходимость иметь для каждого стандарта профиля плотин особый график.

Хотя эти системы отличаются большой сложностью, но их разрешение номографированием оказывается вполне возможным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нельсон-Скорняков—Расчет движения грунтовых вод через земл. плотины. 1935, Москва.
2. Скабалланович И. А.—Изменение горизонта грунтовых вод при подпоре воды в реке. 1935, Москва.
3. Павловский Н. Н.—О фильтрации воды через земл. плотины на непрониц. основаниях. 1931, Москва.
4. Угинчус А. А.—расчет фильтрации через земл. плотины. 1940, Москва.
5. Дж. Джестин—Земляные плотины. 1936.

Ա. Մ. Մխիթարյան

ՖԻԼՏՐԱՑԻԱՆ ՋՐԱԹՎՓԱՆՑ ՇԻՄՔԵՐԻ ՎՐԱ ԳՏՆՎՈՂ
ՊԱՏՎԱՐՆԵՐԻ ՄԱՐՄՆՈՎ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ի Մ

Ջրի ֆիլտրացիան հողային պատվարների մարմնով և ֆիլտրացիոն հաշիֆներն ունեն կիրառական մեծ նշանակություն, որովհետև պատվարի կայունությունը մեծ մասամբ կախված է ֆիլտրացիոն հոսքի նկատմամբ նրա ունեցած գիմադրողական կայունությունից:

Այդ հարցի առթիվ կա բավական ընդարձակ գրականություն, բայց նրա գերակշռող մեծամասնությունը նվիրված է անթափանց հիմքերի վրա գտնվող պատվարի մարմնով կատարվող ֆիլտրացիային, այն ժամանակ, երբ իրականության մեջ պատվարները մեծ մասամբ գտնվում են ջրաթափանց հիմքերի վրա: Այս հոդվածով մենք տվեցինք ջրաթափանց հիմքերի վրա գտնվող պատվարների մարմնով կատարվող ֆիլտրացիոն հաշիֆները: Ի տարբերություն նախորդ հետազոտումների մենք ներմուծում ենք պատվարի վերին սեպի հիդրավլիկական և ոչ թե երկրաչափական իմաստը, անջատող հարթությունն անցկացնելով հոսանքի գծերի բեկման կետերով:

Փորձնական տվյալների վերլուծումը թույլատրում է ընդունել անջատող հարթության հեռավորությունը ջրի եզրագծից $l_2 = 0,1mH$:

Հոսանքի գծերը վերին և ներքին սեպերում ընդունված են կորագիծ, մինչդեռ մյուս բոլոր հեղինակները, որոնց թվում նաև ակադեմիկ Պավլովսկին, ընդունում են ուղղագիծ:

H ճշման և T հիմքային շերտի տարբեր հարաբերություններից ստանում ենք ֆիլտրացիոն հաշիֆների երեք տարբեր դեպք (տես 11, 12, 13 հավասարումների սխեմաները): Առաջագրվող լուծման թերությունն այն է, որ պատվարի յուրաքանչյուր զույգ հաստատուն թեքությունների համար պահանջվում է նոր հատուկ գրաֆիկ:

Չնայած այս սխեմաներն աչքի են ընկնում իրենց մեծ բարդությունով, բայց նրանց նոմոգրաֆիկ հաշվումը միանգամայն հնարավոր է:

A. M. Mkhitarian

The Filtration of Water through Dams on
Water-Permeating Bases.

S u m m a r y

The filtration of water through the earth dams and the filtration accounts, have a great introducing and a practical significance, because the firmness of the dam depends mostly on its resistance ability toward the filtration stream.

There is a sufficiently ample literature about this problem, however its great part is dedicated to the filtration being made through dam, which is found on penetrating bases, while, in fact, the dams are most-

ly found on the water-permeating bases. The accounts of filtration made through dams resting on water-penetrating base are disclosed in the present article.

In difference to the former researches we attach a hydraulic significance to the upper wedge of the dam, and not to the geometric separating smoothness through the breaking points of the current line. From the analysis of the experimental data (facts), it is permissible to accept the separating smoothness distance from the water-line $L_2 = 0,1 \text{ mH}$.

The lines of the current in the upper and lower wedges are admitted as curved lines, while all the other authors including academician Pavlovsky consider it as rectilinear ones. From (H) pressure and (T) basic strips of different relations, we get three different cases of the filtration accounts (see 11, 12, 13 levelness systemes).

Although these systems are considered with their great complications, but their nomographic calculations are quite possible. The defect (shortcoming) of the suggested solution is that for each pair of the constant slope of the dams a special graphic is required.

Н. А. Картвелишвили

Об устойчивости гидроэлектрических установок, снабженных уравнительными башнями

Вопрос об устойчивости работы гидроэлектрических установок, имеющих уравнительные башни, как известно, был поставлен и решен Тома¹⁾ (Thoma). Это классическое решение основано на следующих предпосылках:

1. Отклонения системы от состояния равновесия достаточно малы, благодаря чему нелинейными членами в уравнениях неустановившегося режима можно пренебречь.

2. При колебаниях горизонта воды в башне автоматические регуляторы турбин поддерживают их мощность идеально постоянной (при неизменной электрической нагрузке); другими словами, мгновенно и безперерегулировки отзываются на малейшее отклонение критериев регулирования (идеальное регулирование).

3. Влияние на напор турбины инерции массы воды, заключенной в трубопроводе (гидравлического удара), потерь напора в нем, и скоростных напоров в месте примыкания напорной деривации и трубопровода к уравнительной башне, пренебрежимо мало по сравнению с влиянием колебаний горизонта воды в башне.

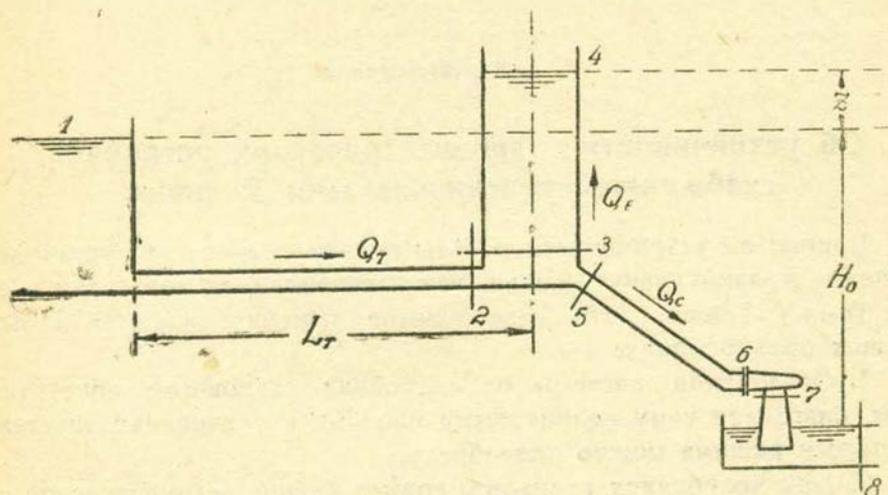
4. К. п. д. турбины в условиях неустановившегося режима остается постоянным.

5. Рассматриваемая установка работает на изолированную сеть.

Первое из этих положений приводит к тому, что полученные Тома условия должны рассматриваться только как необходимые, но отнюдь не достаточные условия устойчивости. Но даже оставляя открытым вопрос о достаточных условиях, необходимо признать неполноту решения Тома, которая побудила Калама (Calame) и Гадена²⁾ (Gaden) предпринять исследование влияния на устойчивость скоростных напоров в основании уравнительной башни, изменений КПД турбин, отклонений процесса регулирования от идеального и условий работы установки в системе, параллельно с другими станциями. К сожалению, в исследовании Калама и Гадена имеется ряд неточностей и ошибок, которые частично уже отмечались автором.³⁾ В

данной работе предлагается более точное и общее решение ряда вопросов, затронутых Каламом и Гаденом.

Рассмотрим неустановившийся режим гидроэлектрической установки с напорной деривацией и уравнительной башней, имеющей один трубопровод и один агрегат, работающий на изолированную сеть (фиг. 1). Уравнения неустановившегося режима в напорных сооружениях этой системы известны, но имея ввиду сделать некоторое их обобщение, приведем вкратце их вывод.



Фигура 1.

Применяя к рассматриваемой системе общее уравнение одномерного неустановившегося движения жидкости, напишем:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{1-2} + \frac{1}{g} \frac{dQ_T}{dt} \int_1^2 \frac{dl}{\omega} \quad 1$$

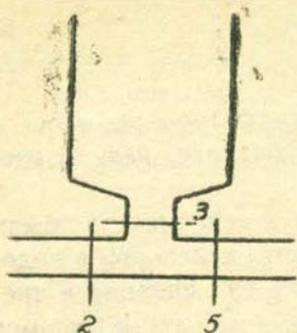
$$z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} = z_4 + \frac{p_4}{\gamma} + \frac{v_4^2}{2g} + h_{3-4} + \frac{1}{g} \frac{dQ_E}{dt} \int_3^4 \frac{dl}{\omega} \quad 2$$

$$z_5 + \frac{p_5}{\gamma} + \frac{v_5^2}{2g} = z_6 + \frac{p_6}{\gamma} + \frac{v_6^2}{2g} + h_{5-6} + \frac{1}{g} \frac{dQ_C}{dt} \int_5^6 \frac{dl}{\omega} \quad 3$$

$$z_7 + \frac{p_7}{\gamma} + \frac{v_7^2}{2g} = z_8 + \frac{p_8}{\gamma} + \frac{v_8^2}{2g} + h_{7-8} + \frac{1}{g} \frac{dQ_C}{dt} \int_7^8 \frac{dl}{\omega} \quad 4$$

где обозначения частью известны, частью ясны из фиг. 1.

Если площадь горизонтального сечения башни в месте примыкания к ней деривации и трубопровода достаточно велика (случай представленный на фиг. 1), то скоростные напоры восстанавливаются



Фигура 2.

ся в башне полностью и для условий установившегося режима можно написать:

$$z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} = z_5 + \frac{p_5}{\gamma} + \frac{v_5^2}{2g} \quad 5$$

В случае же, если башня соединяется с деривацией с помощью узкой вставки (фигура 2), то при установившемся режиме она работает как обыкновенный пьезометр и вместо уравнения 5 будем иметь:

$$z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} = z_5 + \frac{p_5}{\gamma} \quad 6$$

Уравнения 5 и 6 относятся к двум крайним случаям. Во всех промежуточных случаях будет:

$$z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + v_T \frac{v_2^2}{2g} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} = z_5 + \frac{p_5}{\gamma} + v_C \frac{v_5^2}{2g} \quad 7$$

где v_T и v_C — некоторые коэффициенты, лежащие в пределах $0 < v < 1$. Обобщая уравнение 7 и на неустановившийся режим, следовало бы написать:

$$z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + v_T \frac{v_2^2}{2g} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + v_E \frac{v_3^2}{2g} = z_5 + \frac{p_5}{\gamma} + v_C \frac{v_5^2}{2g}$$

но т. к. в теории уравнилельных башен пренебрегают членами, зависящими от квадрата скорости течения в башне, то и для неустановившегося режима сохраняется уравнение 7.

Из уравнений 1, 2 и 7 легко получить следующий результат:

$$z + h_T \left(\frac{Q_T}{Q_0} \right)^2 + \frac{L_T}{g\omega_T} \frac{dQ_T}{dt} = 0 \quad 8$$

а с помощью уравнения 2, 3, 4 и 7 выразить действующий на турбину напор, как разность удельных энергий в сечениях 6 и 7:

$$H = H_0 + z - h_C \left(\frac{Q_C}{Q_0} \right)^2 - \frac{L_C}{g\omega_C} \frac{dQ_C}{dt} \quad 9$$

где $z = z_4 - z_1$ — подъем горизонта воды в башне над горизонтом в водохранилище,

$H_0 = z - z_5$ — напор брутто,

L_T — длина деривационного тоннеля,

L_C — суммарная длина трубопровода, спиральной камеры турбины и всасывающей трубы,

ω_T — площадь сечения деривации,

$\omega_C = \frac{L_C}{\Sigma \frac{l}{\omega}}$; l и ω — длины и площади сечения отдельных участков

трубопровода, спиральной камеры и всасывающей трубы.

h_T и h_C определяются формулами:

$$h_T = h_{FT} + (1 - \nu_T) h_{VT} \quad 10$$

$$h_C = h_{FC} - (1 - \nu_C) h_{VC} \quad 11$$

где h_{FT} и h_{VC} — потери напора в деривации и трубопроводе, а h_{VT} и h_{FC} — скоростные напоры в сечениях 2 и 5 при расходе, равном расходу Q_0 полной нагрузки турбины.

При выводе уравнений 8 и 9 в исходных зависимостях были отброшены члены, выражающие влияние скоростных напоров в водохранилище, башне и отводящем канале, а также сил инерции и трения в башне; кроме того, было принято $p_1 = p_4 = p_5 =$ атмосферному давлению.

Наконец, условие неразрывности приводит к обычному уравнению:

$$Q_C = Q_T - \omega_E \frac{dz}{dt} \quad 12$$

где ω_E — площадь горизонтального сечения башни.

Обозначив:

$$\frac{z}{h_T} = x; \quad \frac{Q_T}{Q_0} = u_T; \quad \frac{Q_C}{Q_0} = u_C; \quad \frac{H}{H_0 - h_T - h_C} = \xi; \quad \frac{h_T}{H_0} = \beta_T; \quad \frac{h_C}{H_0} = \beta_C;$$

$$\frac{L_T Q_0^2}{g \omega_T \omega_E h_T^2} = \varepsilon; \quad \frac{L_C \omega_T}{L_T \omega_C} = \sigma; \quad \frac{L_T Q_0}{g h_T \omega_T} = T_E$$

придадим полученным уравнениям такой вид

$$x + u_T^2 + T_E \frac{du_T}{dt} = 0 \quad 13$$

$$(1 - \beta_T - \beta_C) \xi = 1 + \beta_T x - \beta_C u_C^2 - \beta_T \sigma T_E \frac{du_C}{dt} \quad 14$$

$$u_C = u_T - \frac{T_E}{\varepsilon} \frac{dx}{dt} \quad 15$$

Перейдем к уравнениям, выражающим работу агрегата и его регулирования при неустановившемся режиме. Вывод этих уравнений дается в работе автора.⁴⁾

Момент на валу турбины и электрическая мощность, отдаваемая агрегатом в сеть, связаны между собой уравнением вращения ротора машины

$$m^* = C - T_0 \frac{d\varphi}{dt} \quad 16$$

где m^* — момент на валу турбины, приведенный к номинальной угловой скорости ротора агрегата,

φ — отношение номинальной угловой скорости ротора ω_0 к фактической ω ,

$C = P\varphi^3$, P —электрическая нагрузка в долях от номинальной мощности машины,

T_0 —постоянная инерция машины.

Момент m^* и расход турбины u_c , на основании универсальных характеристик турбины могут быть выражены формулами:

$$m^* = \frac{\varphi^3 \xi - \xi_x}{1 - \xi_x} F(z_s) - m_x \quad 17$$

$$u_c = \alpha(z_s) \xi^n \varphi^{2n-1} \quad 18$$

в которых z_s —относительный ход поршня сервомотора направляющего аппарата; $\alpha = \alpha(z_s)$ —открытие турбины, $F(z_s)$ —некоторая функция открытия, т. е. хода поршня сервомотора, которая должна быть задана на основании универсальной характеристики и кривой $\alpha = \alpha(z_s^*)$; ξ_x ; m_x , n —постоянные, определяемые из характеристик турбины.

Предположим для определенности, что турбина снабжена регулятором ЛМЗ МК—100.

Ход поршня сервомотора z_s определяется уравнением сервомотора:

$$\frac{dz_s}{dt} = \frac{\varphi(z_c) \pi(z_s)}{T_s^*} \quad 19$$

где Φ и Π —некоторые функции, T_s^* —постоянная времени сервомотора, z_c —относительное открытие окон золотника. Это последнее определяется уравнением золотника:

$$z_c = z_r - z_k \quad 20$$

входящие в которое относительные смещения муфты центробежного маятника z_r и точки присоединения обратной связи к балансиру z_k даются уравнениями маятника:

$$\varphi = \varphi(z_r) \quad 21$$

и обратной связи

$$\frac{dz_k}{dt} - \mu_1 \frac{dz_s}{dt} + \frac{z_k - \mu_2(z_s - z_{s0})}{T_k} = 0. \quad 22$$

Здесь μ_1 —коэффициент обратной связи,

μ_2 —коэффициент зависящий от остаточной неравномерности регулирования,

T_k —постоянная времени изодрома,

z_{s0} —ход поршня сервомотора, соответствующий некоторому начальному положению: холостому ходу агрегата или какому-либо установившемуся режиму.

К написанным уравнениям необходимо еще добавить уравнение, определяющее изменение электрической нагрузки. В условиях изолированной работы машины будем считать ее постоянной величиной.

Рассматривая установившийся режим при полной нагрузке агрегата, имеем:

$$\begin{aligned}x &= -1; u_T - u_c = \varphi = P = C = m^* = \xi = z_s = \alpha = 1; \\F(z_s) &= 1 + m_x; z_r = z_c = z_k = 0 \quad (\text{если принять } z_{s0} = 1) \\ \Phi(z_c) &= 0; \quad \Pi(z_s) = \Pi(1).\end{aligned}$$

Пусть в результате какого-либо возмущения переменные получили малые приращения против значений, соответствующих установившемуся режиму. Тогда, отбрасывая все величины порядка малости выше первого и производя элементарные выкладки, получим из уравнений 13—22:

$$\Delta x + 2\Delta u_T + T_E \frac{d\Delta u_T}{dt} = 0. \quad 23$$

$$(1 - \beta_T - \beta_c)\Delta\xi = \beta_T\Delta x - 2\beta_c\Delta u_c - \beta_c\sigma T_E \frac{d\Delta u_c}{dt} \quad 24$$

$$\Delta u_c = \Delta u_T - \frac{T_E}{\varepsilon} \frac{d\Delta x}{dt} \quad 25$$

$$\Delta u_c = k_1\Delta\xi + (2k_1 - 1)\Delta\varphi + k_2\Delta z_s \quad 26$$

$$T_s \frac{d\Delta\varphi}{dt} = (3 - 2g_1)\Delta\varphi - g_1\Delta\xi - g_2\Delta z_s \quad 27$$

$$\frac{d\Delta z_s}{dt} = \frac{\delta\Delta\varphi - \Delta z_k}{T_s} \quad 28$$

$$\frac{d\Delta z_k}{dt} - \mu_1 \frac{d\Delta z_s}{dt} + \frac{\Delta z_k - \mu_2\Delta z_s}{T_k} = 0 \quad 29$$

где

$$k_1 = n; \quad k_2 = \frac{d\alpha}{dz_s}; \quad g_1 = \frac{1 + m_x}{1 - \xi_x}; \quad g_2 = \frac{dF}{dz_s};$$

$$\delta = \frac{dz_r}{d\varphi}; \quad T_s = \frac{T_n^*}{\Pi(1)} \cdot \frac{dz_c}{d\Phi}.$$

Для того, чтобы в рассматриваемой установке отклонения от установившегося режима были затухающими, т. е. чтобы была обеспечена устойчивость, характеристическое уравнение системы 23—29 не должно иметь корней с положительной вещественной частью, т. е. оно должно удовлетворять неравенствам Гурвица. В применении к системе 23—29 эти неравенства приводят к очень сложным выкладкам, результат которых не может быть использован ни для практических расчетов, ни для общих качественных суждений. Поэтому необходимо встать на путь приближенного решения задачи и постараться упростить систему уравнений 23—29, в первую очередь — понизить ее порядок. Для этого, во-первых, будем игнорировать влиянием гидравлического удара, т. е. отбросим последний член в правой части уравнения 24, что допустимо по крайней малости ве-

личины σ во всех практически интересных случаях; во-вторых, будем считать, что регулятор не имеет обратной связи, т. е. положим в уравнении 29 $T_k = \infty$, $\mu_1 = 0$; тогда оно дает $\Delta z_k = 0$, а уравнение 28 приобретает вид:

$$\frac{d\Delta z_s}{dt} + \frac{1}{T_r} \Delta \varphi \quad 30$$

где $T_r = \frac{1}{\delta} T_s$. Принятые упрощения понижают порядок рассматриваемой системы на две единицы.

Рассмотрим сначала идеальное регулирование. В этом случае сервомотор реагирует на отклонения $\Delta \varphi$ от нуля мгновенно, т. е. его постоянная времени $T_r = 0$; следовательно, из уравнения 30 $\Delta \varphi = 0$, т. к. при $\Delta \varphi \neq 0$ будет $\frac{dz_s}{dt} = \infty$, что физически невозможно.

При этих условиях из уравнений 24—27 получим:

$$\Delta u_T = \frac{T_E}{\varepsilon} \frac{d\Delta x}{dt} - \frac{(1+A)\beta_T}{1-\beta_T-(3+2A)\beta_c} \Delta x \quad 31$$

где $A = k_2 \frac{g_1}{g_2} - k_1 - 1$. Неустановившийся режим в рассматриваемом случае выражается только двумя уравнениями 23 и 31, образующими систему характеристическое уравнение которой:

$$r^2 + \frac{1}{T_E} \left[\frac{2}{\varepsilon} - \frac{(1+A)\beta_T}{1-\beta_T-(3+2A)\beta_c} \right] r + \frac{\varepsilon}{T_E^2} \left[1 - \frac{2(1+A)\beta_T}{1-\beta_T-(3+2A)\beta_c} \right] = 0$$

приводит к следующим условиям устойчивости:

$$\varepsilon < 2 \frac{1-\beta_T-(3+2A)\beta_c}{(1+A)\beta_T} \quad 32$$

$$\beta_T + \beta_c < \frac{1}{3+2A} \quad 33$$

Если в уравнениях 10 и 11 принять $v_T = v_c = v$; $h_{vT} = h_{vc} = h_v$, то в развернутом виде формулы 32 и 33 напишутся так:

$$\omega_E > \frac{(1+A)L_T Q^2}{2g\omega_T [h_{FT} + (1-v)h_{vT}]} [H_0 - h_{FT} - (3+2A)h_{FC} + 2(1+A)(1-v)h_v] \quad 34$$

$$h_{FT} + h_{FC} < \frac{1}{3+2A} \quad 35$$

Положив в формуле 34 $A = h_{FC} = 0$ получим при $v=1$ (фиг. 1) формулу Тома, а при $v=0$ (фиг. 2) формулу Калама и Гадена. Как видно обе эти формулы являются весьма частными случаями гораздо более общей зависимости.

Расшифруем теперь смысл величины A . Для этого рассмотрим отношение

$$\frac{\eta}{\eta_0} + \frac{m_{netto}}{m_{brutto}} \quad 36$$

где η — к. п. д. агрегата при данном режиме,

η_0 — к. п. д. агрегата при номинальной мощности,

m_{netto} — момент на валу агрегата в долях номинального,

m_{brutto} — относительный момент брутто, равный отношению фактически подводимой к турбине мощности к мощности, подводимой при работе машины полной нагрузкой.

Будем рассматривать режимы, в которых угловая скорость ротора не изменяется, также как не изменяется и ее мощность, а значит и m_{netto} , определяемый формулой 17 (идеальный регулятор). При этих условиях из уравнения 36 имеем:

$$\frac{1}{\eta_0} \frac{\partial \eta}{\partial \xi} = - \frac{m_{\text{netto}}}{m_{\text{brutto}}^2} \cdot \frac{\partial m_{\text{brutto}}}{\partial \xi} \quad 37$$

Очевидно, что

$$m_{\text{brutto}} = u_c \xi = \alpha (z_s) \xi^{n+1} \quad 38$$

и

$$\frac{\partial m_{\text{brutto}}}{\partial \xi} = \frac{d\alpha}{dz_s} \cdot \frac{dz_s}{d\xi} \xi^{n+1} + (n+1) \alpha \xi^n \quad 39$$

но из уравнения 17

$$\frac{\partial m_{\text{netto}}}{\partial \xi} = \frac{F(z_s)}{1-\xi_x} + \frac{\xi-\xi_x}{1-\xi_x} \cdot \frac{dF}{dz_s} \cdot \frac{dz_s}{d\xi} = 0 \quad 40$$

поскольку $m_{\text{netto}} = \text{const}$. Подставляя в уравнение 39 $\frac{dz_s}{d\xi}$ из 40, и

далее значения m_{brutto} и $\frac{\partial m_{\text{brutto}}}{\partial \xi}$ в уравнение 37, получим:

$$\frac{1}{\eta_0} \frac{\partial \eta}{\partial \xi} = \frac{m_{\text{netto}}}{\alpha \xi} \left[\frac{1}{\alpha^2} \cdot \frac{d\alpha}{dz_s} \cdot \frac{F(z_s)}{\xi - \xi_x} \cdot \frac{dz_s}{dF} - \frac{n+1}{\xi^{n+1}} \right]$$

При установившемся режиме и номинальной нагрузке $m_{\text{netto}} = \alpha = \xi = 1$; $F(z_s) = 1 + m_x$; следовательно:

$$\frac{1}{\eta_0} \frac{\partial \eta}{\partial \xi} = k_2 \frac{g_1}{g^2} - k_1 - 1 = A$$

т. е.

$$A = \frac{H_{\text{netto}}}{\eta_0} \frac{\partial \eta}{\partial H} \quad 41$$

при чем $\frac{\partial \eta}{\partial H}$ берется из универсальной характеристики турбины $\eta = \eta(H, N)$.

Таким образом, совершив предельный переход от фактических уравнений регулирования к идеальному процессу мы, как и следовало ожидать, пришли к тому же результату, который ранее²⁾ был нами получен непосредственно из предположения, что мощность турбины при неустановившемся режиме в напорных сооружениях остается постоянной.

Переходя к вопросу о влиянии на устойчивость отклонений процесса регулирования от идеального процесса, будем игнориро-

вать членами, зависящими от квадратов расхода в трубопроводе (как делает Тома, см. выше) и влиянием отклонения числа оборотов машины от нормального на ее расход и угловое ускорение, т. е. приравняем нулю в уравнениях 26 и 27 члены $(2k_1 - 1) \Delta\varphi$ и $(3 - 2g) \Delta\varphi$. Это оправдывается тем, что коэффициент k_1 близок к $1/2$ (для турбины Пельтона он в точности равен $1/2$), а коэффициент g_1 близок к $3/2$, так что указанные члены близки к нулю.

Тогда, после некоторых элементарных преобразований, система уравнений 23—27, 30 приводится к виду:

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta x}{dt} &= - \frac{\varepsilon k_1 \beta_T}{T_E (1 - \beta_T)} \Delta x + \frac{\varepsilon}{T_E} \Delta n_T && - \frac{\varepsilon k_2}{T_E} \Delta z_s \\ \frac{d\Delta u_T}{dt} &= - \frac{1}{T_E} \Delta x && - \frac{2}{T_E} \Delta u_T \\ \frac{d\Delta\varphi}{dt} &= - \frac{g_1 \beta_T}{T_a (1 - \beta_T)} \Delta x && - \frac{g_2}{T_a} \Delta z_s \\ \frac{d\Delta z_s}{dt} &&& + \frac{1}{T_r} \Delta\varphi \end{aligned}$$

Характеристическое уравнение этой системы:

$$r^4 + a_1 r^3 + a_2 r^2 + a_3 r + a_4 = 0$$

имеет следующие коэффициенты:

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{1}{T_E} \left(2 + \frac{\varepsilon \beta_T k_1}{1 - \beta_T} \right) \\ a_2 &= \frac{\varepsilon}{T_E^2} \left(1 + \frac{2\beta_T k_1}{1 - \beta_T} \right) + \frac{g_2}{T_a T_r} \\ a_3 &= \frac{g_2}{T_E T_a T_r} \left[2 - \frac{\varepsilon \beta_T (1 + A)}{1 - \beta_T} \right] \\ a_4 &= \frac{\varepsilon g_2}{T_E^2 T_a T_r} \left[1 - \frac{2\beta_T (1 + A)}{1 - \beta_T} \right] \end{aligned}$$

Условия устойчивости по Гурвицу напишутся так:

$$a_1 > 0 \quad 42$$

$$a_1 a_2 - a_3 > 0 \quad 43$$

$$a_1 a_2 a_3 - a_3^2 - a_1^2 a_4 > 0 \quad 44$$

$$a_4 > 0 \quad 45$$

Условия 42 и 43 не накладывают на систему никаких ограничений. Условие 45 приводит к неравенству

$$\beta_T < \frac{1}{3 + 2A}$$

совпадающему с неравенством 33 (если положить в последнем $\beta_c = 0$). Условие же 44, после подстановки в него значений коэффициентов

$a_1 - a_4$, может быть представлено в такой форме:

$$\varepsilon < (2 - M) \frac{1 - \beta_T}{\beta_T(1 + A)} \quad 46$$

где

$$M = \frac{(2 + \varepsilon k_1 \beta) [1 - 2\beta(1 + A)]}{(1 + 2k_1 \beta)(2 + \varepsilon k_1 \beta) + \frac{g_2 T_E^2}{T_a T_r} \beta(1 + k_1 + A)}; \quad \beta = \frac{\beta_T}{1 - \beta_T} \quad 47$$

Сопоставляя неравенство 32 с неравенством 46 видим, что влияние отклонения процесса регулирования от идеального сказывается в уменьшении коэффициента в правой части неравенства ($2 - M$ против 2) т. е. неблагоприятно отзывается на устойчивости и притом в тем большей степени, чем меньше величина:

$$\Phi = \frac{g_2 T_E^2}{T_a T_r} \quad 48$$

При мгновенной реакции регулятора на изменения критерия регулирования, т. е. при $T_r = 0$, Φ будет равно бесконечности и тогда неравенство 46 совпадает с неравенством 32, что и следовало ожидать.

Заметим здесь, что путь исследования, который нами был применен выше, заключающийся в использовании уравнений машины и регулятора, является вполне естественным и единственно правильным. Калам и Гаден, не прибегая к уравнениям регулирования, а основываясь на некоторых физических соображениях, в критику которых за краткостью данной статьи мы вдаваться не можем, пришли к диаметрально противоположному и неправильному выводу, что отклонение процесса регулирования от идеального благоприятно, хотя и незначительно отзывается от устойчивости.

Положим в выражениях 46 и 47 $A = 0$ (т. е. пренебрежем влиянием изменений кпд агрегата) и $k_1 = 1/2$ и, подставив значение M из 47 в 46, решим неравенство 46 относительно ε , что дает:

$$\varepsilon < \sqrt{\left(2 \frac{1 - 2\beta_T}{\beta_T} + \Phi\right)^2 + 4(\Phi + 4)} \frac{1 - \beta_T}{\beta_T} - 2 \frac{1 - 2\beta_T}{\beta_T} - \Phi \quad 49$$

Обозначим через R отношение значений ε , получающихся из выражений 49 и 32 (при $\beta_c = A = 0$) при замене в них знаков неравенства знаками равенства. Будем иметь

$$R = \sqrt{\left[\frac{1 - 2\beta_T}{1 - \beta_T} + \frac{\beta_T \Phi}{2(1 - \beta_T)}\right]^2 + \frac{\beta_T(\Phi + 4)}{1 - \beta_T}} - \frac{1 - 2\beta_T}{1 - \beta_T} - \frac{\beta_T \Phi}{2(1 - \beta_T)} \quad 50$$

Отклонение величины R от 1 характеризует величину ошибки, получающуюся от игнорирования неточностью процесса регулирования.

Выясним теперь возможный диапазон изменений величины Φ . Учитывая только главную часть величины h_T , состоящую из потерь

на трение в деривации, и выражая коэффициент Шези формулой Маннинга, получим:

$$T_E = \frac{0,0162 D^{1/2}}{V n^2}$$

где D —диаметр деривационного тоннеля,
 V —скорость течения в нем при расходе Q_0 ,
 n —к-нт шероховатости,

т. е. в первом приближении T_E от длины деривации не зависит. Считая $D = 2 \div 10$ м, $V = 2 \div 5$ м/с; $n = 0,010 \div 0,20$ получим, что T_E лежит в пределах $20 \div 1750$ сек.

Постоянная времени машины T_a изменяется в очень узких пределах и для гидрогенераторов составляет в среднем 7 сек. Величина T_r при T_s , равном в среднем 3 сек. и $\delta = 5 \div 10$, равна приблизительно 0,3—0,6 сек. И, наконец, коэффициент g_2 для разных типов турбин колеблется в пределах $1,2 \div 1,8$. Следовательно:

$$\Phi = \frac{1,2 \cdot 20^2}{7 \cdot 0,6} \div \frac{1,8 \cdot 1750^2}{7 \cdot 0,3} = 100 \div 8.000.000.$$

Решив уравнение 50 относительно Φ , получим:

$$\Phi = \frac{R^2 + 2R - (R + 2)^2 \beta_T}{(1 - R) \beta_T} \quad 51$$

Эта формула дает возможность судить о тех наименьших значениях параметра Φ , при которых погрешность в определении параметра ε , а значит и площади сечения башни ω_E по формуле 34 не превзойдет заданной величины $1 - R$. На фиг. 3 нанесены кривые этих наименьших значений Φ в зависимости от β_T для разных $1 - R$. Как видно из этих кривых, на практике вполне могут встретиться случаи, в которых игнорирование параметрами машины и регулятора в расчете устойчивости может привести к существенным ошибкам в определении необходимой площади сечения башни. Конечно, формулы 46, 49 и 51 не могут претендовать на точное количественное выражение условий устойчивости, но они во всяком случае могут ориентировать в тех значениях параметров, при которых обычный расчет устойчивости нуждается в специальной проверке с учетом влияния параметров регулятора.

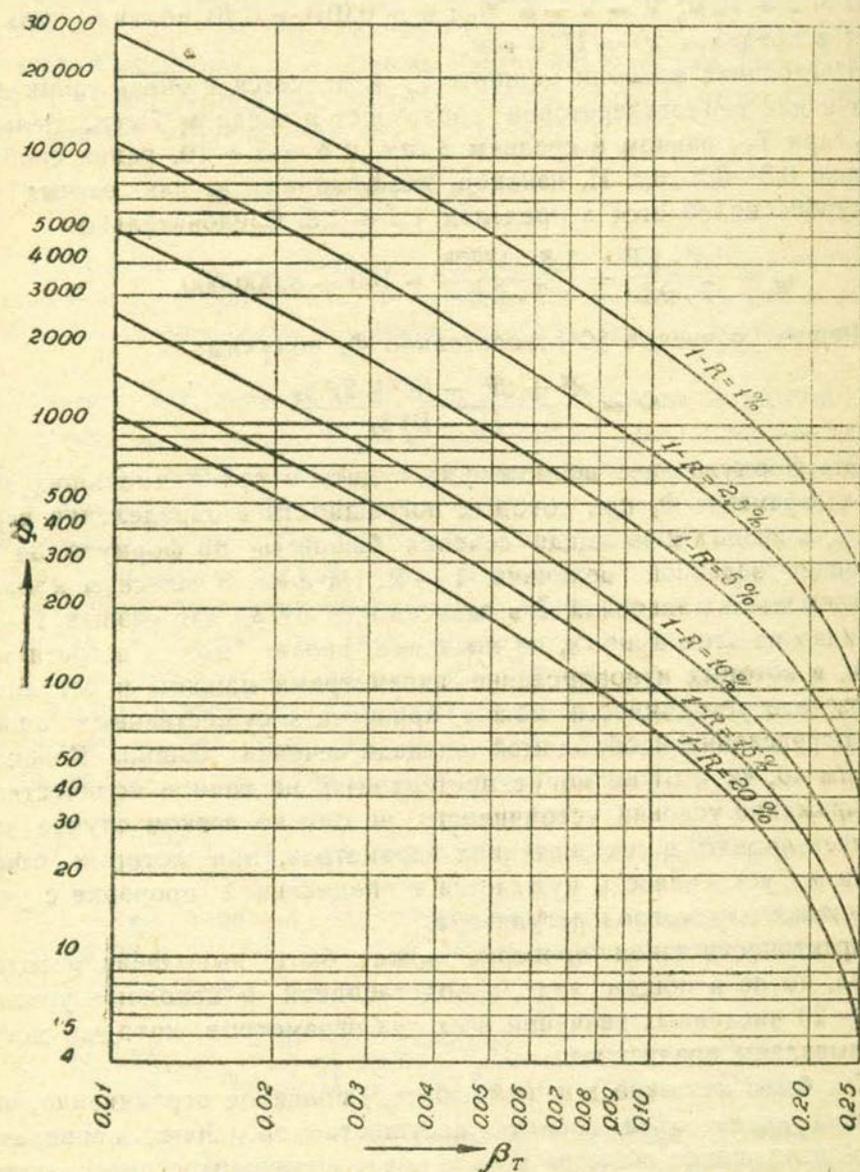
Практически такая проверка может быть выполнена методом Гурвица, но не в общем виде, а подстановкой в исходные уравнения 23—29 численных значений всех тех параметров, которые могут быть выявлены предварительно.

Как было показано в нашей работе,³⁾ принятое ограничение, что установка имеет один агрегат, несущественно. Легко проверить, что все изложенное остается в силе и для установок с несколькими машинами, если только параметры всех машин, трубопроводов и регуляторов одинаковы и если одинакова нагрузка машин при том режиме, устойчивость которого проверяется.

Обратимся к влиянию на устойчивость условий параллельной работы данной установки в системе. Для этого случая расчетные нормы³⁾ дают формулу для площади сечения башни:

$$\omega_E > \frac{(1 + A - K) L_T Q^2_0}{2g\omega_T h_T [H_{\text{netto}} - 2(1+A) h_c]} \quad 52$$

в которой $K = \frac{3}{2} \left(1 - \frac{N_{\text{станции}}}{N_{\text{системы}}}\right)$ и N мощность.



Фигура 3.

В тексте нормы множитель $\frac{3}{2}$ в выражения для K пропущен, повидимому в результате опечатки. Эта формула является обобщен-

нием соответствующей формулы Калама и Гадена, которая получается из формулы 52 при $A = h_c = 0$.

При выводе своей формулы Калам и Гаден ставили распределение нагрузок между станциями системы в зависимости от остаточной степени неравномерности регуляторов турбин. Это справедливо только для состояния равновесия системы, т. е. для времени, к которому все переходные процессы уже затухли и из этой предпосылки принципиально невозможно вывести правильного заключения о том, в какой степени переходные процессы стремятся затухнуть. Действительный характер распределения нагрузок между станциями системы при неустановившемся режиме определяется не статизмами (остаточными неравномерностями) регуляторов, а углами взаимных сдвигов роторов машин станций системы, что приводит к результатам в корне отличающимся от формулы Калама и Гадена.

Предполагая, что в пределах каждой станции машины идут между собой синфазно, мощность на шинах k -ой станции можно выразить так:⁶⁾

$$N_k = \frac{E_k E_1}{Z_{k1}} \sin(\theta_{k1} - \alpha_{k1}) + \dots + \frac{E_k E_{k-1}}{Z_{k1k-1}} \sin(\theta_{k1k-1} - \alpha_{k1k-1}) + \\ + \frac{E_k^2}{Z_{kk}} \sin \alpha_{kk} + \frac{E_k E_{k+1}}{Z_{k1k+1}} \sin(\theta_{k1k+1} - \alpha_{k1k+1}) + \\ + \dots + \frac{E_k E_n}{Z_{kn}} (\theta_{kn} - \alpha_{kn}) \quad 53$$

где 1, 2, ..., k, ..., n — номера станций,

E_i — их эдс,

Z_{ki} ($i \neq k$) — взаимные импеданцы,

Z_{kk} — собственные импеданцы,

α_{ki} — углы дополняющие импедантные углы до 90° ,

θ_{ki} — углы взаимных сдвигов роторов.

При малых значениях θ_{ki} , с точностью до величин второго порядка малости, из уравнения 53 имеем:

$$N_k - N_{k0} = \Delta N_k = \\ = B_{k1} \theta_{k1} + \dots + B_{k1k-1} \theta_{k1k-1} + B_{k1k+1} \theta_{k1k+1} + \dots + B_{kn} \theta_{kn} \quad 54$$

где

$$B_{ki} = \frac{E_k E_i}{Z_{ki}} \cos \alpha_{ki}$$

$$N_{k0} = 2 \frac{E_k^2}{Z_{kk}} \sin \alpha_{kk} - \sum_{i=1}^{i=n} \frac{E_k E_i}{Z_{ki}} \sin \alpha_{ki}$$

Очевидно, что N_{k0} есть мощность k -ой станции при установившемся режиме.

Имея ввиду, что

$$\theta_{ki} = \theta_k - \theta_i$$

где θ_k и θ_i суть углы сдвига роторов k -ой и i -ой станции по отно-

шению к синхронному положению, имеем из уравнения 54:

$$\Delta N_k = -B_{k_1} \theta_1 - \dots - B_{k_1 k+1} \theta_{k-1} + B_{kk} \theta_{kk} - \\ B_{k_1 k+1} \theta_{k+1} - \dots - B_{kn} \theta_n$$

при чем здесь обозначено:

$$B_{kk} = B_{k_1} + \dots + B_{k_1 k-1} + B_{k_1 k+1} + \dots + B_{kn}$$

Дифференцируя это уравнение по времени и имея в виду, что с точностью до величин высших порядков малости

$$\frac{b\theta}{dt} = \omega - \omega_0 = -\omega_0 \Delta\varphi$$

где ω и ω_0 — фактическая и номинальная угловые скорости ротора в электрических радианах в секунду, получим:

$$\frac{d\Delta P_k}{dt} = \frac{\Delta\varphi_1}{T_{k_1}} + \dots + \frac{\Delta\varphi_{k-1}}{T_{k_1 k-1}} - \frac{\Delta\varphi_k}{T_{k_1 k}} + \frac{\Delta\varphi_{k+1}}{T_{k_1 k+1}} + \dots + \frac{\Delta\varphi_n}{T_{kn}} \quad 55$$

$$\text{где } \Delta P_k = \frac{\Delta N_k}{N_{ko}}; \quad \frac{1}{T_{ki}} = \omega_0 \frac{B_{ki}}{N_{ko}} = \frac{\omega_0 E_k E_i}{N_{ko} Z_{ki}} \cos \alpha_{ki} \quad (i \neq k)$$

$$\frac{1}{T_{kk}} = \frac{1}{T_{k_1}} + \dots + \frac{1}{T_{k, k-1}} + \frac{1}{T_{k, k+1}} + \dots + \frac{1}{T_{kn}}$$

при чем величины T (которые имеют размерность времени) с вполне достаточной точностью могут считаться постоянными.

Написав для каждой станции уравнение 55 и уравнения 23—29, мы получим систему уравнений полностью определяющих исследуемый переходный процесс. Получить для столь громоздкой системы условия устойчивости в общем виде практически невозможно, и мы ограничимся только одним частным случаем, когда мощность рассматриваемой, напр. n -ой станции мала по сравнению с мощностью остальных станций системы. В этом случае импедансы $Z_{kn} = Z_{nk}$ будут велики, следовательно, величины $\frac{1}{T_{kn}}$, а значит и $\frac{\Delta\varphi_n}{T_{kn}}$ будут малы и в пределе будут стремиться к нулю. Отбросив их, напишем на основании уравнения 55:

$$\frac{d\Delta P_1}{dt} = -\frac{\Delta\varphi_1}{T_{11}} + \frac{\Delta\varphi_2}{T_{12}} + \dots + \frac{\Delta\varphi_{n-1}}{T_{1, n-1}}$$

$$\frac{d\Delta P_2}{dt} = \frac{\Delta\varphi_1}{T_{21}} - \frac{\Delta\varphi_2}{T_{22}} + \dots + \frac{\Delta\varphi_{n-1}}{T_{2, n-1}}$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\frac{d\Delta P_{n-1}}{dt} = \frac{\Delta\varphi_1}{T_{n-1, 1}} + \frac{\Delta\varphi_2}{T_{n-1, 2}} + \dots - \frac{\Delta\varphi_{n-1}}{T_{n-1, n-1}}$$

$$\frac{d\Delta P_n}{dt} = \left(\frac{\Delta\varphi_1}{T_{n_1}} + \frac{\Delta\varphi_2}{T_{n_2}} + \dots + \frac{\Delta\varphi_{n-1}}{T_{n, n-1}} \right) - \frac{\Delta\varphi_n}{T_{nn}} \quad 56$$

Необходимо заметить, что хотя с уменьшением мощности n -ой станции импедансы Z_{kn} растут, а величины $\frac{1}{T_{kn}}$ уменьшаются, но

$$\frac{1}{T_{nk}} = \frac{\omega_0 E_n E_k}{N_{no} Z_{nk}} \cos \alpha_{nk}$$

уменьшаться не будут, так как увеличение импеданса Z_{nk} будет компенсироваться уменьшением мощности N_{no} . Поэтому, отбросив последние члены в первых $n-1$ уравнениях 56, мы в n -м уравнении должны сохранить все его члены без исключения.

Так как связи между станциями выражаются только уравнениями 56, а в первое $n-1$ уравнение этой системы не входят никакие переменные, характеризующие работу n -ой станции, то написанные уравнения и выражают то положение, что n -ая станция не оказывает влияния на систему. Но в последнее из уравнений 56 входят переменные $\Delta\varphi_1 \dots \Delta\varphi_{n-1}$, которые по отношению к n -ой станции могут рассматриваться как заданные и это означает, что в n -ой станции имеют место, во-первых, собственные колебания, такие же, какие были бы при ее изолированной работе на сеть, но с учетом зависимости нагрузки от частоты тока по уравнению.

$$\frac{d\Delta P_n}{dt} = - \frac{\Delta\varphi_n}{T_{nn}}$$

во вторых—вынужденные колебания, возбуждаемые системой и выражающиеся заключенными в скобки членами последнего из уравнений 56.

Значит, во-первых, рассматриваемая установка должна удовлетворять условиям устойчивости при изолированной работе на сеть, т. е., если отвлечься от отклонений процесса регулирования от идеального, площадь сечения башни должна определяться по формуле 34. По формуле же 52 получается, что если

$$N_{станции} < \frac{1-2A}{3} N_{системы}$$

или, при $A = 0$, если N станции $< \frac{1}{2} N$ системы, то требования устойчивости не накладывают никаких ограничений на площадь сечения башни.

Во вторых, существует еще одно ограничение, практическая проверка которого, к сожалению, гораздо более затруднительна.

Уравнение собственных колебаний системы $n-1$ станции по какой либо переменной x имеет вид

$$a_0 \frac{d^m x}{dt^m} + a_1 \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + a_m x = 0$$

а уравнение собственных колебаний n -ой станции по какой либо переменной z будет:

$$b_0 \frac{d^s z}{dt^s} + b_1 \frac{d^{s-1} z}{dt^{s-1}} + \dots + b_s z = 0.$$

Тогда, на основании последнего из уравнений 56, уравнение вынужденных колебаний n -ой станции можно написать так.

$$b_0 \frac{d^s z}{dt^s} + b_1 \frac{d^{s-1} z}{dt^{s-1}} + \dots + b_s z = \sum_{k=1}^{k=m} h_k e^{\lambda_k t}$$

где λ_k — корни уравнения:

$$a_0 \lambda^m + a_1 \lambda^{m-1} + \dots + a_m = 0$$

а h_k — некоторые постоянные. Пусть далее μ_k суть корни уравнения:

$$b_0 \mu^s + b_1 \mu^{s-1} + \dots + b_s = 0$$

и пусть $\lambda = \alpha \pm \beta i$; $\mu = \gamma \pm \delta i$. Как известно в n -ой установке будет иметь место резонанс, сопровождающийся неограниченным ростом амплитуд колебаний, т. е. потерей устойчивости, если среди всех возможных комбинаций значений λ и μ найдется хоть одна удовлетворяющая условию:

$$\alpha + \beta = \gamma + \delta$$

или

$$\alpha - \beta = \gamma - \delta$$

Как мы уже говорили, практическая проверка этого ограничения затруднительна, но существование его показывает, что условия устойчивости для работы установки в системе тяжелее соответствующих условий для изолированной работы, а не легче их, как это вытекает из формулы Калама и Гадена. А priori, можно утверждать, что так будет и для случая, когда мощность n -ой станции ощутима по сравнению с мощностями остальных. Таким образом, условия устойчивости изолированной работы во всех случаях должны удовлетворяться безоговорочно, дополнительные же ограничения, накладываемые в случае работы установки в системе, сейчас в общем виде сформулированы быть не могут и подлежат дальнейшему исследованию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Thoma D.—Beiträge zur Theorie des Wasserschlosses, München, 1910.
2. Calame J., Gaden D.—De la stabilité des installations hydrauliques munies des chambres d'équilibre. Schweizerische Bauzeitung, 90, S. 55, 1927.
3. Картвелишвили Н. А.—Гидравлич. устойчивость уравн. башен. Изв. НИИГ, т. XXVI.
4. Картвелишвили Н. А.—Неустановившийся режим работы агрегатов гидрорезервуаров. Изв. АН Азерб. ССР, № 4, 1946.
5. Технич. условия и нормы Главгидроэнергостроя. ТУ 24-14-40. Гидравлич. расчет уравнит. резервуаров. 1940.
6. Лебедев С. А., Жданов П. С.—Устойчивость параллельной работы электрич. систем. 1934.

Ն. Ա. Գարբալիշվիլի

ՀԱՐԴԱՐԻՉ ԱՇՏԱՐԱԿՆԵՐՈՎ ՀԻԴՐՈԷԼԵԿՏՐԻԿ ՏԵՂԱԿԱՅՈՒՄՆԵՐԻ
ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում քննության է առնված սրբնթաց ճնշումների, տուրբինի կարգավորիչի պարամետրների և այլ կայանների հետ տեղակայումի զուգահեռ աշխատանքի պայմանների ազդեցությունը հարդարիչ աշտարակի՝ իր հիմքի մոտ աշխատանքի կայունության վրա:

Ցույց է տրված, որ Կալամը և Գադենը վերջին երկու ֆակտորների ազդեցությունը հանդիս են սխալ արդյունքների և արվում է այդ ֆակտորների ճշգրիտ անդրադարձումը:

N. A. Kartvelishvili

On the Stability of Hydro-Electric Power Plants with
Surge Tanks

S u m m a r y

An account of the influence exerted at the basis of surge tanks on the stability of their work, by velocity head, parameters of turbine regulators as well as the conditions of their parallel work simultaneously with other stations is recorded in the paper.

It is shown that while appreciating the influence of these two factors, Calame and Gaden have arrived at erroneous results; hence a description of the correct revelation of the role of these factors in the present article.

ТЕХНОЛОГИЯ

Х. О. Геворкян

**Экономичный способ промышленного использования
Туманянской (Дсехской) огнеупорной породы
(флинт-клея)**

Описываемая работа была поставлена с целью сокращения расхода топлива на обжиг и получения более экономичного способа производства огнеупорного кирпича.

Для получения безобжиговых огнеупоров, как известно, могут быть использованы как естественное камневидное огнеупорное сырье, так и материалы, полученные предварительным обжигом (шамот и т. п.).

В данной работе были выполнены опыты с Туманянской огнеупорной породой.

Изучение Туманянского месторождения было начато в 1934 г. В результате были даны геологическое описание, минералогическая характеристика породы, определены запасы месторождения, установлены физико-механические и термические характеристики породы в качестве керамического сырья для огнеупорной промышленности. Было установлено, что этот материал обладает некоторыми своеобразными свойствами, не характерными для обычного огнеупорного сырья: а) камнеподобный характер, б) небольшая огневая усадка и в) высокая механическая прочность. Эти свойства дают возможность использовать породу в качестве естественного шамотного заполнителя, а также, вероятно, в качестве сырья, для производства безшамотных, безобжиговых изделий.

Эта порода по своим свойствам аналогична породе „флинт-клей“, широко применяющейся в огнеупорной промышленности США.

Описание советских и американских флинт-клеев имеется в работе проф. Федосеева (1). Характеристики американских флинтов приведены в таблице 1 (по Федосееву).

Таблица 1

Наименование штата или завода	Химический состав в % ⁰ / ₁₀					Усадка при 1410°—1430° в %	Огнеупорность
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	п.п.п.		
Огайо	45,20	1,80	36,77	1,30	12,90	10,4	1720°
Западн. Виргиния	60,70	1,30	23,17	3,04	7,49	7,1	1620°
Завод Ирвона	43,91	2,77	38,18	1,03	13,43	7,8	1760°
» Ванделия	42,86	2,17	39,40	0,91	13,25	не опр.	1750°
» Соляйно	39,59	1,90	40,56	1,68	13,97	5,4	не опр.

По данным Федосеева флинт-клей, как заменитель шамота, применяется в США с 1936 года. В Советском Союзе промышленное использование флинтов имеет сравнительно небольшую давность. Интерес к нашим месторождениям флинт-клея возник с 1935 года. За последние 10 лет проведены значительные разведочные и исследовательские работы, в результате которых выявлены некоторые, весьма интересные месторождения.

Тумаянское месторождение открыто в 1930 г. Тер-Абрамяном(2). Однако местные жители с давних пор использовали этот огнеупорный камень („бута-кар“) для своих нужд.

По данным геолога Вартапетяна(3) эта порода представляет собой продукт изменения порфиритов, туфов и туфобрекчий. Подробные данные о результатах геолого-минералогических и технологических исследований Тумаянского флинт-клея имеются в работах Федосеева (1), Вартапетяна (3), Пирумова (4), Антипова П. А. (5), Кузьмина (6).

Флинт-клей, применяемый в данной работе для приготовления опытных образцов, подвергся химическому анализу (см. таб. 2); кроме того были определены физико-механические характеристики сырья, приведенные в таблице 3.

Таблица 2

Наименование окислов	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	п.п.п.
% содержания	46,72	0,45	36,1	2,45	0,91	0,10	1,70	10,59

Таблица 3

Удельн. вес	Объемн. вес (гр/кб. см)	Водопоглощение (в %)	Кажущаяся пористость в (в ⁰ / ₁₀)	Временное сопротивление на сжатие в кг/кв. см.
2,66	2,38	4,82	10,17	549,4

Подбор оптимальных условий технологического процесса

Свойства безобжиговых огнеупорных изделий определяются, главным образом, следующими условиями технологического процесса:

а) подбором цементирующего вещества и его содержанием в смеси, б) гранулометрическим составом смеси, и в) давлением пресования.

А) *Цементирующее вещество.* Из описания сырья следует, что важнейшей особенностью Туманянской породы является его постоянство объема при обжиге, что делает возможным изготовление из него безобжигового огнеупорного кирпича. В литературе имеются описания небольшого числа исследований по получению последнего. Как в работе (инж. Антипова П. А. (7), так и в работе инж. Мельникова (8), в качестве основного сырья применяли Туманянский флинт-клей и в качестве связки—сульфит-целлюлозный щелок. Однако, как указывают авторы, кирпичи на такой связке не обладают достаточной водостойчивостью.

Учитывая некоторые общеизвестные отрицательные свойства сульфит-целлюлозного щелока в качестве связки для огнеупорных масс, в настоящей работе были поставлены опыты с портланд-цементом в одном случае и нефтяным битумом в другом. Настоящая статья включает опыты лишь только с портланд-цементной связкой.

В огнеупорной промышленности уже делались попытки приготовления гидравлически твердеющих огнеупоров; при этом, в качестве связки, почти всегда, брали глиноземистый цемент. Описаны некоторые удачные опыты практического применения глиноземистого цемента для приготовления огнеупорного бетона.

Глиноземистый цемент, по сравнению с портланд-цементом, имеет безусловные преимущества в качестве связки в огнеупорных массах. Тем не менее мы предпочли применить портланд-цемент, имея в виду его распространенность и доступность для массового производства.

Безобжиговый огнеупорный кирпич в условиях службы будет подвергаться нагреву; поэтому для данной работы решающее значение имеет характер изменений затвердевшего цемента при высокотемпературном обжиге. Имеющиеся по этому вопросу исследования (9) показывают, что при нагревании затвердевшего цемента хотя и происходит понижение прочности, однако при нагреве до 1150° затвердевший цемент всегда сохраняет некоторую, хоть и небольшую, часть своей начальной прочности. Кроме того, было учтено, что при нагреве выше 900° , происходит нарастание механической прочности сперва в результате реакций в твердом состоянии, а затем—в области более высоких температур—в результате процесса спекания.

Вышеприведенные соображения обуславливали выбор портланд-цемента в качестве связки для производства безобжигового огнеупорного кирпича.

Б) Гранулометрический состав. Сырьевая смесь, применяемая для производства безобжигового огнеупорного кирпича, должна состоять из зерен определенного гранулометрического состава.

Как известно, влияние гранулометрического состава на свойства керамических изделий особенно сильно сказывается в случае тощих масс (многошамотных, динасовых и т. п.).

Смесь измельченного огнеупорного камня с портланд-цементом, по существу, аналогична бетонной смеси и поэтому к такой смеси⁸ могут быть применены некоторые принципы приготовления бетона. Прежде всего известно, что гранулометрический состав заполнителей влияет на пустотность бетонной смеси, причем в случае частиц сферической формы одинакового диаметра пустотность—величина постоянная, независящая от размера зерен.

Подобное же заключение было сделано проф. Полубояриновым Д. С. (10) для керамических материалов, измерением объемного веса смеси зерен шамота, заполняющих мерный сосуд. Результаты его измерений приведены в таблице 4.

Таблица 4

Размер фракции в мм	5—4	4—3	3—2	2—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1
Плотность укладки в гр/кб. см.	1,42	1,44	1,48	1,43	1,45	1,42	1,45

Как можно видеть из данных таблицы 4, при изменении крупности фракций более чем в 25 раз, плотность укладки зерен остается почти без изменений.

Кроме того, в бетонной технологии проектируя состав бетона ставят своей целью получить заданную марку бетона при ограниченном расходе цемента. Для наших смесей мы также применили этот принцип, т. е. получение огнеупорных изделий, с достаточной связанностью и механической прочностью при минимальном расходе связки. Однако при этом мы руководствовались совершенно другими соображениями. В нашем случае необходимость минимального удельного расхода портланд-цемента обуславливается соображениями, связанными с влиянием добавки портланд-цемента на физико-химические и керамические свойства огнеупорной смеси. Таким образом, прежде всего необходимо было подобрать те оптимальные условия, при которых достаточно высокое качество изделий получается при минимальной добавке портланд-цемента.

В бетонном деле задача эта решается следующим образом. Известно, что смесь инертных должна содержать зерна разной крупности: мелкие должны заполнить промежутки между крупными зернами, чем достигается уплотнение смеси и сокращение расхода цемента.

Однако кроме максимального уплотнения смеси, следует учесть также и следующие соображения. Отдельные зерна в смеси не должны соприкасаться друг с другом; необходимо несколько раздвинуть зерна друг от друга и вокруг каждого зерна создать оболочку из цементного теста, при помощи которого отдельные зерна склеиваются друг с другом. Необходимое для этого количество цементного теста зависит от суммарной поверхности зерен каменистого материала. Следовательно, для расходования минимального количества цемента необходимо подобрать смесь зерен с минимальной суммарной поверхностью. Зависимость суммарной поверхности смеси от размера зерен можно выяснить следующим теоретическим рассуждением. Представим коробку в виде куба с размером ребра равным единице, весь объем которого заполнен шарами только одного диаметра, равного d . В таком случае общее число шаров в коробке будет

$$N = \frac{1}{d^3}$$

и суммарная поверхность зерен в единице объема будет

$$S = N \cdot \pi d^2 = \frac{1}{d^3} \cdot \pi d^2 = \frac{\pi}{d}$$

На основании подобного вычисления проф. Скрамтаев, в случае заполнителей для бетона, делает вывод, что чем крупнее зерна заполнителя, тем меньше будет поверхность смеси зерен, а следовательно при данном расходе цемента получится более совершенное обволакивание зерен заполнителя цементным тестом, а следовательно и большая прочность бетона.

На основании этих положений технологии бетона мы пришли к выводу, что в нашем случае огнеупорная масса должна быть крупнозернистой, но должна содержать и достаточное количество мелких зерен для заполнения пространства между крупными зернами.

Таким образом, чтобы получить огнеупорное изделие возможно большей механической прочности при ограниченном расходе связки, необходимо значительное увеличение размера зерен крупных фракций. И если для обычных (пластичных) шамотных масс чаще всего максимальный размер крупной фракции не превышает 2 мм, то в случае безобжигового огнеупора, максимальный размер крупной фракции следует увеличить до 5 мм и более.

В наших первоочередных опытах мы приняли максимальный размер крупной фракции 5 мм, однако это нельзя считать пределом. Исходя из вышеприведенных соображений возможно, что эффект от применения необычайно крупных зерен будет настолько значительным, что целесообразно будет применение фракций более крупных чем 5 мм.

Вопросы гранулометрического состава зернистых материалов

неоднократно исследовались также и в керамической технологии, в работах Вестман и Хушл (11), Кузьменко (12), Исакова (13), Куколева (14), Кайнарского (15), Келлера (16) и других авторов.

На основании многих исследований по вопросу гранулометрического состава можно сделать следующие выводы:

1) Процент пустот зернистого материала не зависит от размера зерен в случае заполнения пространства частицами одинакового размера.

2) При исключении крупных фракций пустотность смеси увеличивается.

3) Плотная смесь может быть получена только при наличии некоторого количества мелких зерен.

4) Плотность смеси повышается при исключении средних фракций. Несмотря на это, испытания огнеупорных масс показывают, что благоприятные керамические свойства могут быть получены только в случае непрерывного гранулометрического состава, включающего все фракции.

5) Для получения возможно большей механической прочности при минимальном расходе связки необходимо значительное повышение размеров зерен крупных фракций.

Наряду с вышеперечисленными выводами по многим вопросам гранулометрического состава зернистых масс еще невозможно сделать общепринятых выводов. По этой причине в данной работе возникла необходимость выполнения опытов по подбору гранулометрического состава, применяемых в работе смесей.

В экспериментальной части данной работы были испытаны 3 состава:

1-ый состав—взятый на основе опыта керамической технологии—состав, предложенный проф. Полубояриновым (табл. 5).

Таблица 5

Размер фракций в мм	5—3	3—2	2—1	1—0,5	0,5—0,2	<0,2
Количество в %	33	17	5	5	14	26

2-ой состав—По принятому в бетонном деле методу Боломея. Идеальная кривая Боломея строится по формуле

$$p = B + (100 - B) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

где p —часть навески, которая проходит через данное сито (в %)
 D —наибольшая крупность зерна (в мм)

d —размер отверстия сита (в мм)

B —коэффициент, значение которого определяется по таблице, в

зависимости от консистенции бетонной смеси и характера зерен заполнителя.

В нашем случае принимая $D=5$ мм и $B=10$, были вычислены значения p и соответственно—гранулометрический состав, приведенный в таблице 6.

Таблица 6

Размер фракций в мм	3—5	2—3	1—2	0,5—1	0,2—0,5	<0,2
Количество в %	19,8	10,8	17,8	11,8	10,2	29,6

III-ий состав—По принятому в дорожно-строительном деле методу определения наиболее плотной смеси фракций каменного материала для приготовления асфальтовых смесей. Один из таких методов, так называемый „лабораторный“, применялся в данной работе. Сущность этого метода заключается в следующем. Определяется объемный вес насыпки первой наиболее крупной фракции (3—5 мм) в уплотненном состоянии. Затем к исходному материалу постепенно добавляется отдельными порциями вторая по крупности фракция (2—3 мм), причем каждый раз после уплотнения смеси двух фракций, определяется объемный вес насыпки в уплотненном его состоянии. Таким образом производится ряд опытов смеси первых двух фракций до получения смеси с наибольшим объемным весом, которая и принимается как наиболее плотная смесь первых двух фракций. Эту смесь принимаем за исходную и, постепенно добавляя третью по крупности фракцию, находим наиболее плотную смесь трех первых фракций. Таким же образом, в результате третьей серии опытов, находится наиболее плотная смесь четырех фракций и, наконец, в результате четвертой серии опытов находится наиболее плотная смесь пяти фракций, а затем смесь шести фракций.

В результате выполненных таким образом опытов с измельченной и просеянной на фракции Туманянской породой нами, по лабораторному способу был определен гранулометрический состав (см. табл 7), который далее применялся в опытах под названием „лабораторный“ состав.

Таблица 7

Размер фракций в мм	3—5	2—3	1—2	0,5—1	0,2—0,5	<0,2
Содержание в %	30,3	12,12	18,18	15,15	15,15	9,1

Для подбора оптимального гранулометрического состава, были выполнены опыты с безобжиговыми огнеупорными образцами, изготовленными на портланд-цементной связке. Туманянский флинт-клей вводился в состав шихты измельченный и просеянный на фракции

в количественном соотношении, соответствующем трем вышеупомянутым гранулометрическим составам. Для испытаний были изготовлены прессованием лабораторные образцы в виде цилиндров диаметром 50 мм и высотой 50 мм, из каждого состава по 4 цилиндрика. Количество портланд-цемента—5% от веса сухой смеси. Прессование производилось в стальных формах на гидравлическом прессе. Давление прессования—200 кг/кв см). После прессования образцы, для полноты процессов гидравлического твердения, 28 дней хранились во влажной среде, и затем подвергались физико-механическим испытаниям. Результаты испытаний приведены в таблице 8.

Таблица 8

Наименование испытаний	Гранулометрический состав		
	По Полу- бояринову	По Бо- ломею	Лаборатори. состав.
1) Временное сопротивление на сжатие (в кг/кв см)	179,8	204,9	202,3
2) Объемный вес (в кг/кб см)	2,03	2,0	2,06
3) Водопоглощение (в %)	11,44]	12,10	10,65
4) Кажущаяся пористость в (в %)	23,14	24,33	21,96
5) Термическая стойкость при 850°			
а) число теплосмен до появления трещины	3	1	2
б) число теплосмен до потери 20% веса	—	—	18
в) Остаточная прочность на сжатие после 20 теплосмен (в %)	55,9 %	47,6 %	—

На основании результатов физико-механических испытаний (таблица 8) образцов, изготовленных на трех гранулометрических составах, было сделано заключение, что все три способа (бетонный, керамический и асфальтовый) почти одинаково удовлетворительно решают поставленную задачу подбора оптимального гранулометрического состава. Однако, учитывая что приготовленные нами массы относятся к группе керамических, далее, в данной работе применялся гранулометрический состав, данный для керамических масс (состав таблицы 5).

В) давление прессования и количество связки в огнеупорной массе. Важнейшими факторами, определяющими механическую прочность безобжигового огнеупорного кирпича, являются давление прессования и содержание связки в смеси. Для подбора оптимального содержания связки и давления прессования были выполнены следующие лабораторные опыты. Были изготовлены образцы с содержанием портланд-цемента 3%, 5% и 10%. Из каждого состава были изготовлены цилиндрики диаметром 50 мм и высотой 50 мм, при давлениях прессования 100, 200, 250, 300 и 400 кг/кв. см. Во всех случаях измельченный огнеупорный камень имел один и тот же гранулометрический состав, приведенный в таблице 5. Из каждого состава были изготовлены по 4 цилиндрика прессованием в стальной прессформе на гидравлическом прессе.

После 28-дневного хранения во влажной среде образцы подвергались физико-механическим испытаниям. Результаты испытаний приведены в таблицах 9, 10 и 11.

Таблица 9

Физико-механические характеристики образцов с содержанием 3% связки

№ образца	Давление прессования в кг/кв. см	Объемный вес в гр/кб. см	Водопоглощение в %	Кажущаяся пористость в %	Врем. сопротивл. сжатию в кг/кв. см	Термическая стойкость	
						Число теплосмен до появления трещин	Число теплосмен до потери 20 % веса
1	100	1,94	12,86	25,19	83,9	1	6
2	200	2,00	11,65	23,35	141,5	1	7
3	250	2,12	8,95	10,42	129,9	2	20
4	300	2,11	7,98	15,05	124,4	2	20
5	400	2,21	5,02	10,58	122,6	4	20

Таблица 10

Физико-механические характеристики образцов с содержанием 5% связки

№ образца	Давление прессования в кг/кв. см	Объемный вес в гр/кб. см	Водопоглощение в %	Кажущаяся пористость в %	Врем. сопротивл. сжатию в кг/кв. см	Термическая стойкость	
						Число теплосмен до появления трещин	Число теплосмен до потери 20 % веса
6	100	1,98	11,46	21,44	127,4	4	5
7	200	2,02	11,87	23,04	187,1	5	14
8	250	2,05	11,01	22,49	187,2	6	20
9	300	2,13	7,72	16,41	151,3	3	9
10	400	2,15	6,81	14,70	173,8	1	5

Таблица 11

Физико-механические характеристики образцов с содержанием 10 % связки

№ образца	Давление прессования в кг/кв. см.	Объемный вес в г/кв. см.	Водопоглощение в %	Кажущаяся пористость в %	Вр. сопротивл. на сжатие в кг/кв. см.	Термич. стойкость	
						Число тепло-смен до появления трещин	Число тепло-смен до 20 % потери веса
11	100	1,99	11,51	23,07	176,8	3	20
12	200	2,08	10,44	22,64	171,0	2	18
13	250	2,06	10,53	21,55	301,7	1	20
14	300	2,11	8,45	17,70	258,7	3	9
15	400	2,12	8,99	18,95	243,0	1	15

Как следует из вышеприведенных данных, с повышением давления прессования растут как плотность, так и механическая прочность. Однако можно заметить, что во всех случаях значительный рост механической прочности продолжается только до давления прессования 250 кг/кв. см. Таким образом, во всех составах оптимальным давлением прессования можно считать 250 кг/кв. см. Для подбора оптимального давления прессования следует учитывать также те предельные давления, какие могут развивать пресса, применяемые в современной огнеупорной промышленности.

Одним из наиболее распространенных прессов в огнеупорной промышленности является пресс механического действия типа „Бойд“. По характеру работы этого пресса, исключается возможность непосредственного измерения усилия прессования, развиваемого прессом. С другой стороны, большинство лабораторных опытов с огнеупорными массами производится на гидравлических прессах, с измерением давления прессования при помощи манометра. При этом, для сравнения результатов лабораторных опытов с заводскими условиями, необходимо бывает давление прессования, развиваемое прессом „Бойд“, выразить в эквивалентном давлении гидравлического пресса (в кг. на кв. см.). С этой целью выполнены некоторые работы, в частности работы Полубояринова Д. Н. (17), Глебова С. В. (18) и др., в результате которых установлено, что предельное давление прессования, развиваемое прессом Бойд, соответствует давлению 250—300 кг/кв. см.

Учитывая несовершенство современных механических прессов, применяемых в огнеупорной промышленности, надо полагать, что в ближайшем будущем перед машиностроением будет поставлен вопрос о выпуске гидравлических и гидромеханических прессов, которые обеспечат: а) получение высоких давлений прессования (более 300 кг/кв. см.);

б) равномерное увеличение давления и выдержку при максимальном давлении; в) отсос избытка воздуха.

Однако, пока что можно рассчитывать на пресса типа Бойд; именно поэтому мы при выборе оптимального давления прессования остановили наш выбор на давлении 250 кг/см^2 .

Сравнением показателей, полученных для трех составов с 3%, 5% и 10% связки, было сделано заключение, что с повышением содержания связки механическая прочность повышается. Однако, учитывая необходимость введения в смесь минимального количества цементной связки, мы пришли к выводу, что приемлемая прочность образцов получается при содержании 5% связки.

Таким образом, на основании вышеописанных опытов, оптимальными условиями изготовления безобжигового огнеупорного кирпича следует считать:

- 1) Гранулометрический состав измельченного Туманянского флинт-клея по таблице 5.
- 2) Оптимальное содержание цементной связки в смеси 5%.
- 3) Давление прессования $250/\text{кг см}^2$.

О поведении безобжигового огнеупора при нагревании

Учитывая неизбежное разложение цементного камня при нагревании, следовало выяснить степень влияния этого процесса на физико-механические свойства безобжигового огнеупора в области высоких температур. С этой целью образцы—цилиндрики, изготовленные в соответствии с вышеприведенными оптимальными условиями, после гидравлического твердения в течение 28 дней, подвергались обжигу при различных температурах.

Скорость нагрева— 4° в минуту и выдержка при максимальной температуре обжига в течении 4-х часов. Измерение температуры производилось платино-родиевой термопарой, с точностью $\pm 10^\circ$.

После обжига образцы подвергались физико-механическим испытаниям, результаты которых приведены в таблице 12.

Таблица 12

Температура обжига	Объемн. вес в гр/кб. см	Удельный вес	Усадка в %	Истинная пористость в %	Временное сопротивление сжатия в кг/кв. см
110°	2,07	—	—	—	154,4
600°	1,90	2,557	0,77	25,68	297,9
700°	1,88	2,553	0,74	26,66	212,6
800°	1,88	2,591	0,77	27,25	189,1
1000°	1,88	2,677	1,00	29,75	161,9
1100°	1,88	2,687	1,42	29,83	176,2
1200°	1,90	2,677	1,24	31,58	119,1
1300°	1,89	2,674	1,38	29,31	93,6

Как можно видеть из этой таблицы, в соответствии с процессом разложения, который имеет место при нагревании, увеличивается пористость и несколько падает механическая прочность.

Физико-механические характеристики безобжигового огнеупора

Образцы безобжигового огнеупора с содержанием 5 % портланд-цементной связки, изготовленные при давлении прессования 250 кг/кв. см показали следующие характеристики:

- | | | | |
|---|-----------------|-------|----|
| 1) Временное сопротивление сжатию | 187,2 кг/кв. см | | |
| 2) Водопоглощение | 11,01 % | | |
| 3) Кажущаяся пористость | 22,49 % | | |
| 4) Объемный вес | 2,05 гр/кб. см | | |
| 5) Термическая стойкость: | | | |
| а) Число теплосмен до появления трещин | | | 6 |
| б) Число теплосмен до потери 20 % веса | | | 20 |
| 6) Огнеупорность | 1640° | | |
| 7) Температура деформации под нагрузкой 2 кг/кв. см | | | |
| а) Температура начала деформации | 1010° | | |
| б) " 4 % сжатия | 1300° | | |
| в) " 10 % " " | 1330° | | |
| г) " 40 % " " | 1340° | | |
| 8) Усадка при обжиге | 1350° | 3,31% | |

Обсуждение результатов опытов

Технологический процесс производства безобжигового огнеупорного кирпича заключается в следующем: огнеупорный камень, измельченный до соответствующего гранулометрического состава, смешивается с портланд-цементным молоком и после достаточно хорошего перемешивания масса поступает в формовочный пресс и формируется под давлением не менее 200 кг/кв. см в виде кирпичей нормального размера. Для завершения процессов гидравлического твердения кирпичи выдерживаются определенное время во влажной среде. Для ускорения твердения предполагается воздействие водяными парами в специальных камерах. Последней операцией является выдерживание кирпичей в складе, на полках, для высыхания до воздушно-сухого состояния.

Т. к. влажность массы весьма ограниченная, нет необходимости усложнять процесс сушки какими либо искусственными сушилками.

Таким образом, технологический процесс по описанному способу, по сравнению с обычными способами производства шамотного огнеупорного кирпича имеет следующие преимущества: 1) упрощение производства, 2) экономия топлива, 3) значительное снижение стоимости кирпича.

Прежде чем делать окончательные выводы следует рассмотреть некоторые особенности предлагаемого способа.

1) *Возможность падения прочности кирпича в результате разложения цементного камня при нагревании.* При нагревании цементного камня выше 500° начинается падение его механической прочности, при чем резкое снижение прочности происходит при $700-800^{\circ}$. Однако даже в этой области $700-800^{\circ}$ разрушения образцов не происходит. С другой стороны, в кладке металлургических печей кирпич подвергается сжимающим усилиям очень ограниченной величины, которые в температурной области $600-900^{\circ}$ не могут вызвать разрушения огнеупорного кирпича.

Известно, что разрушение огнеупорного кирпича во время эксплуатации в кладке печи происходит по совершенно другим причинам, а именно, главным образом, в результате размягчения под действием сжимающих усилий (так называемая деформации под нагрузкой).

В области $700-800^{\circ}$ вообще никакого размягчения не может происходить, т. к. эта температурная область ниже тех температур, где начинается появление жидкой фазы.

С другой стороны, явления размягчения под нагрузкой могут начинаться лишь при более высоких температурах, однако одновременно при этих температурах должно иметь место нарастание механической прочности—а) сперва в результате реакций в твердом состоянии, которые будут происходить в смеси огнеупорного материала и цемента, б) затем в области более высоких температур, в результате процесса спекания.

2) *Возможность появления трещин вследствие гидратации извести.* Как известно, в составе затвердевшего портланд-цементного теста, кроме водных силикатов и алюминатов, имеется также гидроксид кальция. Последняя при нагревании обезвоживается и, таким образом, в составе кирпича появляется окись кальция, способная гидратироваться.

Возможность появления трещин и снижения механической прочности в результате гидратации извести в безобжиговом огнеупоре исключается по следующей причине. В условиях службы безобжиговый огнеупор будет подвергаться нагреву выше 900° и при этом известь будет вступать в химическое взаимодействие с силикатами и алюмосиликатами огнеупорной массы. Образование новых известковых соединений будет происходить сперва в твердом состоянии, а затем в области спекания, с участием жидкой фазы. Таким образом, в результате обжига в кладке печи в безобжиговом огнеупорном кирпиче не может быть свободной извести и, следовательно, не будет связанного с последней растрескивания и падения прочности.

Явление гидратации извести может иметь место только в случае низкотемпературного обжига—при $550-700^{\circ}$. В связи с этим, интересно высказывание проф. Дементьева, который при рассмотрении

вопроса о влиянии пожаров на портланд-цементный бетон делает заключение, что— „для целостности бетонных и железобетонных конструкций при пожарах полезен очень сильный жар“.

Повидимому проф. Дементьев здесь имеет ввиду вышеприведенное объяснение невозможности появления трещин вследствие отсутствия свободной извести в смеси после высокотемпературного нагрева.

Вышеприведенные рассуждения подтвердились в результате наших испытаний, которые показали, что безобжиговый огнеупор при нагревании и последующем охлаждении не подвергается растрескиванию.

3) *Возможность пониженной термической стойкости вследствие полиморфных превращений.* В составе портланд-цемента имеется двухкальциевый силикат, который имеет три полиморфные разновидности (α , β , γ). При изменении температуры происходят взаимные превращения этих разновидностей, связанные с объемными изменениями. Можно ожидать, что в результате таких полиморфных превращений при нагревании безобжиговый огнеупор будет растрескиваться. Испытания образцов цилиндриков показали отсутствие растрескивания при нагревании до 850° и последующего охлаждения погружением в холодную воду. Это можно объяснить следующим образом: во время гидратации портланд-цемента двухкальциевый силикат образует гидрат состава $(1,7-2,0) \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; последний при нагревании в начале обезвоживается, а затем взаимодействует с известью и с составными частями огнеупорного камня, образуя новые соединения. Весьма вероятно, что после таких химических изменений в огнеупоре совсем не окажется двухкальциевого силиката. Но если даже допустить, что в огнеупорной массе, после гидратации портланд-цемента и последующего высокотемпературного обжига имеется двухкальциевый силикат, то количество его в безобжиговом огнеупоре должно быть столь ограниченным, что его полиморфные превращения не могут вызвать растрескивания кирпича.

4) *Возможное флюсующее действие портланд-цемента на огнеупорную массу.* Очевидно, что портланд-цемент, включающий значительное количество основного окисла—гидроксида кальция, должен оказывать некоторое флюсующее действие на огнеупорную массу. При нагревании в смеси должны образовываться сравнительно легкоплавкие эвтектики, понижающие температуру размягчения огнеупорной массы. Однако флюсующее действие портланд-цемента зависит от количества его в смеси. При введении в состав огнеупорной смеси более 10% портланд-цементной связки последняя может вызвать весьма сильное ухудшение свойства огнеупорного изделия.

Сущность предлагаемого способа заключается в том, что вводится минимальное количество портланд-цемента (5%) и при этом достигается получение достаточно прочного кирпича, благодаря соответствующего подбора гранулометрического состава, применению

крупных фракций и значительного давления прессования (250—300 кг/кв. см).

5) *Некоторые возможности повышения свойств безобжиговых огнеупоров.* Получение безобжиговых огнеупоров повышенного качества возможно, прежде всего, применением портланд-цемента высоких марок (400, 500). При этом необходимую механическую прочность можно будет получить применением меньшего количества портланд-цемента.

Очевидно, что значительное уменьшение содержания портланд-цементной связки в огнеупорной массе (до 2—3 %) должно способствовать повышению свойств безобжигового огнеупора. Той же цели можно достигнуть введением в состав массы высокоогнеупорных добавок в порошкообразном состоянии, а еще лучше — полной заменой самой мелкой фракции (меньше 0,2 мм) тонкоизмельченным высокоогнеупорным материалом. В частности, возможно для этой цели применить муллитовую мелочь — отход производства.

В ы в о д ы

1) Туманянский флинт-клей, благодаря своему камневидному характеру, может быть сырьем для производства безобжигового огнеупорного кирпича. Опытным путем определены оптимальные условия производства безобжиговых изделий.

2) Установлена возможность применения портланд-цемента в качестве связки для изготовления безобжиговых изделий.

3) Установлен характер изменений безобжиговых огнеупоров при нагревании.

4) Намечены некоторые области применения безобжигового огнеупорного кирпича.

5) Предлагаемый способ производства безобжигового огнеупорного кирпича значительно снижает расход топлива и упрощает технологический процесс производства.

Безобжиговые изделия, полученные из Туманянского флинт-клея, могут применяться как дешевые заместители шамотного огнеупорного кирпича в условиях нагрева до 1200° (футеровка дымоходов, фундаменты печей, дымовые каналы за регенераторами, кладка дымовых труб и т. п.).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Федосеев А. Д.—Советские флинты и перспективы их использования. Огнеупоры, № 4, 1939 г.
2. Дсехская огнеупорная порода. Паспорт Геол. фонда, Геол. упр. Арм. ССР.
3. Вартапетян Б.—Отчет о геолого-развед. работах на Дсехском месторождении огнеупорной породы. Геол. Упр. Арм. ССР.
4. Пирумов—Дсехское месторождение. Огнеупоры, № 7, 1937 г.

5. *Антипов П. А.*—Промышл. испытание Дсехской огнеупор. породы как шамото-заменителя на заводах Союзной пром. Отчет Укр. Научно-исслед. Ин-та Огнеупоров.
6. *Кузьмин*—Дсехское месторождение. Огнеупоры, № 10, 1935 г.
7. *Антипов П. А.*—Огнеупоры, № 4—5, 1937 г.
8. *Мельников Ф. И.*—Изготовление и служба безобжиг. бесшамот. изделий из Дсехской породы. Огнеупоры, № 10, 1938 г.
9. *Геворкян Х. О.*—О поведении цементного камня при нагревании. Изв: АН Арм. ССР, Естеств. науки, № 6, 1946 г.
10. *Полубояринов и Грачева*—Влияние гранулометрич. состава шамота на качество готовой продукции. Тр. Всесоюз. Ин-та Огнеупоров и кислотоупоров. Вып. 11, 1934 г.
11. *Вестман и Хушл*—Journal of American Ceramic Society, № 10, 1930.
12. *Кузьменко*—Опыт производства многошамота на Латинском заводе. Огнеупоры № 4, 1938 г.
13. *Исаков*—К вопросу заполнения пространства шамотными зёрнами. Тр. Гос. Исслед. Керамич. Ин-та, вып. 16, 1929 г.
14. *Куколев*—Гранулометрич. состав динасовых масс. Огнеупоры, № 4, 1938 г.
15. *Кайнарский*—Влияние добавки извести и грануломатрич. состава на свойства динаса. Огнеупоры, № 4, 1933 г.
16. *Келлер*—К вопросу о плотности укладки шамота в зависимости от гранулометрич. состава. Огнеупоры, № 8, 1937 г.
17. *Полубояринов Д. Н.*—По поводу статьи—Механич. прочность шамотного кирпича сухого прессования. Огнеупоры, № 3, 1934 г.
18. *Глебов С. В.*—Прессованный многошамотный доменный припас. Огнеупоры, № 1, 1940 г.

Խ. Հ. Գեորգյան

ՔՈՒՄԱՆՅԱՆԻ (ԴՍԵՂԻ) ՇՐԱԿԱՅՈՒՆ ԱՊԱՌԻ (ՖԼԻՆՏ-ԿԼԵՅԻ) ԱՐԴՅՈՒՆԱԲԵՐԱԿԱՆ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ՆՈՐ ԵՂԱՆԱԿ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Քումանյանի հանքավայրի հրակայուն ապարը (ֆլինտ-կլեյը) ունի այն կարևոր առանձնահատկությունը, որ լինելով քարանման, ունի բարձր մեխանիկական ամրություն և թրծման փամանակ տալիս է շատ չնչին կծկում. շնորհիվ այդպիսի հատկությունների, հնարավորություն է ստեղծվում նրանից հրակայուն աղյուս ստանալու՝ առանց թրծման:

Այդ ուղղությամբ կատարված փորձերը ցույց են տվել հետևյալը.

1. Քումանյանի ֆլինտ-կլեյից առանց թրծման հրակայուն աղյուս ստանալու համար որպես կապակցող նյութ կարելի է օգտագործել պորտլանդ ցեմենտ:

2. Պորտլանդ-ցեմենտի միսիմալ ծախսով հարկավոր ամրություն հրակայուն նյութ ստանալու համար հարկավոր է հրակայուն քարն օգտագործել մանրացրած՝ մինչև հարկավոր գրանուլոմետրիկ կազմությունը: Կատարված փորձերի հիման վրա ընտրված է սլրոֆ. Պոլուբոյարինովի առաջարկած գրանուլոմետրիկ կազմությունը (տես աղյուսակ 5):

3. Ցույց է տրված, որ բարենպաստ ֆիզիկո-մեխանիկական հատկութիւններով հրակայուն իրեր ստացվում են հետևյալ պայմաններում՝

ա) երբ խառնուրդի մեջ պարունակվում է 5 % պորտլանդ ցեմենտ, բ) երբ մամլման ճնշումը հավասար է 250 կգ./քառ. սմ.

4. Առանց թրծման ստացված նմուշների համար որոշված են ֆիզիկո-մեխանիկական և թերմիկ հատկութիւնները (տես աղյուսակ № 12):

5. Ստացված ֆիզիկո-մեխանիկական հատկութիւնների հիման վրա կարելի է եզրակացնել, որ ֆլինտ-կլեյից կարելի է ստանալ հրակայուն աղյուս, որն առանց թրծման կարող է գործածվել մինչև 1200° տաքացման պայմաններում:

Ch. O. Gevorkian

An Economical Method of Using Flint-Clay

S u m m a r y

The following are the results of laboratory investigations:

1. Flint-Clay of the Thumanian bed may be used as raw material for the production of unburned refractory bricks.

2. Portland-Cement may be used as binding material for the production of unburned refractory bricks.

3. The optimum Portland-Cement content in the mixture is 5 %.

4. The optimum pressing pressure is 25 kg/cm².

5. The physico-mechanical properties of unburned refractories have been determined.

6. On the basis of thermic and physico-mechanical test results the possible fields of using unburned refractories have been found out.



ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

52

Շինարարական սեխնիկա

Մ. Զ. Սիմոնյան—Վերջնական դազգահ ՄՍ 1—Թեթե բետոնից սնամեջ սալեր պատրաստելու համար 3

Ինժեներական սեյսմոլոգիա

Ա. Գ. Նազարով, ՀՍՍՐ ԳԱ Բնակից-անդամ—Կառուցումների սեյսմոկայունության բնագավառի հետազոտական աշխատանքների խնդիրները 9

Մեկաբարեօճի սեռուրյուն

Գ. Ս. Գրիգորյան—Սառսիկորեն-անորոշ երկաթբետոն սիստեմների ծավոլ էլեմենտների մեջ առաջացող բնիկերկայնական նորմալ ուժի ազդեցության հաշվառումը նրանց կարողունակության վրա 19

Ջրամասակարգում

Գ. Ա. Օսիպով—Արարատյան դաշտի ջրամատակարարման գլխավոր սխեման 29

Հիդրոսեխնիկա

Ա. Մ. Սյուրբայան—Ֆիլոսոֆիան ջրաբափանց հիմքերի վրա զանվոլ պատվարների մարմնով 41

Հիդրոէներգետիկա

Ն. Ա. Քարթվելիցվիլի—Հարզաբիչ աշտարակներով հիդրոէլեկտրիկ անդակայունների կայունության մասին 65

Ցեխնոլոգիա

Խ. Հ. Գեվորգյան—Քուլմանյանի (Իսեղի) հրակայուն ապակի (Ֆլինտ-կլեյթ) արդյունաբերական օգտագործման նոր եղանակ 83

С о д е р ж а н и е

Стр.

Строительная техника

М. З. Симонов—Вибрационный станок МС—1 для изготовления пустотелых легкобетонных плит 3

Инженерная сейсмология

А. Г. Назаров, Член-корр. АН Арм. ССР—Задачи исследовательской работы в области сейсмостойкости сооружений 9

Теория железобетона

Г. С. Григорян—Учет влияния распора, появляющегося в изгибаемых элементах железобетонных статически-неопределимых систем в упруго-пластической области 19

Водоснабжение

Г. А. Осипов—Генеральная схема водоснабжения Араратской котловины 29

Гидротехника

- А. М. Мхитарян*—Фильтрация воды через земляные плотины на проницаемом основании 41

Гидроэнергетика

- Н. А. Картвелишвили*—Об устойчивости гидроэлектрических установок, снабженных уравнительными башнями 65

Технология

- Х. О. Геворкян*—Экономичный способ промышленного использования Туманянской (Дсехской) огнеупорной породы (флинт-клея) 83

Contents

Construction Technics

- M. Z. Smonian*—Vibrating Bench MS—1 for Making Light Weight Concrete Hollow Plates 3

Engineering Seismology

- A. G. Nazarov*—Correspondent-Member of the Academy of Sciences of the Armenian SSR—Problems on the Investigational Work of Seismostable Structures 9

Theory of Reinforced Concrete

- G. S. Grigorian*—The Accounting of the Thrust Effect Occuring in Elements in Bending of Reinforced Concrete Statically Indeterminate Systems in the Elastic-Plastic Zone 19

Water-Supply

- H. A. Ossipov*—General Scheme of Water-supply of the Ararat Valley 29

Hydraulic Engineering

- A. M. Mkhitarian*—The Filtration of Water through Dams on Water-Permeating Bases 41

Hydroenergetics

- N. A. Qartvelishvili*—On the Stability of Hydro-Electric Power Plants with Surge Tanks. 65

Technology

- Ch. O. Gevorkian*—An Economical Method of Using Flint-Clay 83

Сдано в производство 3/VI 1947 г., подписано к печати 20/VIII 1947 г.

Объем 6½ п/л. в 1 п/л. 53500 печ. зн. Тираж 750. ВФ 029.

Зак. № 477. Изд. № 426.