

А. Г. Назаров

Функциональные прерыватели Н. М. Герсевича и импульсивные функции

При решении задач техники часто приходится оперировать с прерывными функциями, отдельные участки которых заданы различными аналитическими выражениями. Кроме того, к этим функциям, в качестве их несобственных значений, могут быть приписаны импульсивно действующие величины вроде мгновенной силы на фоне непрерывно изменяющейся во времени силы или сосредоточенных сил и моментов на фоне сплошной нагрузки. Это подчас затрудняет решение дифференциального уравнения, поскольку приводит к необходимости в расчленении функции на отдельные непрерывные участки, в обособленном рассмотрении каждого из них в отдельности, что в свою очередь влечет за собой необходимость соблюдения дополнительных условий на границах этих участков и соответствующего определения произвольных постоянных. В настоящее время известно несколько методов, позволяющих избегать эти затруднения (1, 2, 3, 4). Для решения этого же круга вопросов Н. М. Герсевич изобретает специальный математический аппарат, названный им функциональными прерывателями (4). Аппарат этот не мог не встретить скептическое отношение со стороны математиков, в силу нестрогости его построения. При ближайшем рассмотрении его нами установлен, повидимому, незамеченный до настоящего времени факт, что мгновенные функциональные прерыватели Герсевича первого и т. д. порядков, представляют собою импульсивные функции тех же порядков Хевисайда—Дирака, играющих важную роль в операционном исчислении и квантовой механике (5). Обстоятельство это позволило нам дать объяснение некоторым операциям Герсевича и, вместе с тем, расширить область их возможного применения.

Пусть дан разрывной множитель Дирихле или т. н. функциональный прерыватель

$$\Gamma(x-a) = \begin{cases} 0; & x < a \\ 1, & x > a \end{cases} \quad (1)$$

тогда как известно

$$\frac{d^n \Gamma(x-a)}{dx^n} = \Gamma^{(n)}(x-a) \quad (2)$$

есть импульсивная функция n -порядка, с точкой особенности в $x=a$.

Установлено нами, что

$$x^m \Gamma^{(n)}(x) = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

при $m \geq n$ и

$$x^m \Gamma^{(n)}(x) = (-1)^m \frac{(n-1)!}{(n-m-1)!} \Gamma^{(n-m)}(x) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

при $m < n$.

Поэтому, если $f(x)$ разлагается в ряд Тейлора, то

$$\begin{aligned} f(x) \Gamma^{(n)}(x-a) &= f(a) \Gamma^{(n)}(x-a) - (n-1) f'(a) \Gamma^{(n-1)}(x-a) \\ &\dots + (-1)^{n-m} \frac{(n-1) \dots m}{(n-m)!} f^{(m)}(a) \Gamma^{(n-m)}(x-a) \dots + \\ &+ (-1)^{n-1} f^{(n-1)}(a) \Gamma^{(1)}(x-a) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5) \end{aligned}$$

отсюда легко обосновать соотношение

$$\begin{aligned} [\Gamma(x-a) f(x)]^{(n)} &= \Gamma^{(n)}(x-a) \cdot f(a) + \Gamma^{(n-1)}(x-a) \cdot f'(a) + \Gamma^{(n-2)}(x-a) f''(a) \\ &\dots + \Gamma^{(1)}(x-a) f^{(n-1)}(a) + \Gamma^{(n)}(x-a) f^{(n)}(x) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6) \end{aligned}$$

играющее важную роль в методе Герсеванова. Далее, поскольку

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Gamma^{(n)}(x-a) dx = \begin{cases} 0, & n \geq 1 \\ 1, & n = 1 \end{cases} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

то, на основании (5)

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \Gamma^{(n)}(x-a) dx = (-1)^{n-1} f^{(n-1)}(a), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

что является известным соотношением Хевисайда-Дирака.

Рассмотрим теперь функцию $\Gamma^{(1)}(x; \varepsilon)$, повсюду тождественно равную нулю, за исключением участка $0 < x < \varepsilon$, на котором она принимает такие значения, что

$$\int_0^\varepsilon \Gamma^{(1)}(x; \varepsilon) dx = 1, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

независимо от величины ε . В остальном $\Gamma^{(1)}(x; \varepsilon)$ произвольна. Назовем $\Gamma^{(1)}(x; \varepsilon)$ протяженной импульсивной функцией с параметром протяженности ε . Протяженную импульсивную функцию второго порядка определим как

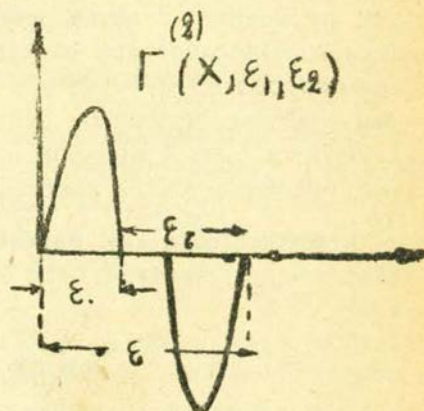
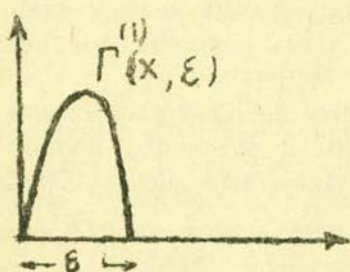
$$\Gamma^{(2)}(x; \varepsilon) = \Gamma^{(2)}(x; \varepsilon_1, \varepsilon_2) = \frac{1}{\varepsilon_2} [\Gamma^{(1)}(x; \varepsilon_1) - \Gamma^{(1)}(x - \varepsilon_2; \varepsilon_1)] \quad (10)$$

при $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$.

Эта функция повсюду тождественно равна нулю, за исключением участка $0 < x < \varepsilon_1 + \varepsilon_2$.

Легко доказать, независимо от строения $\Gamma^{(2)}(x; \varepsilon_1, \varepsilon_2)$, что

$$\int_{-\infty}^x \Gamma^{(2)}(x; \varepsilon_1, \varepsilon_2) dx = \Gamma^{(1)}(x; \varepsilon_1 + \varepsilon_2) \quad (11)$$



Фиг. 1.

Ясно, что если $\Gamma^{(1)}(x; \varepsilon_1)$ и $\Gamma^{(2)}(x; \varepsilon_1, \varepsilon_2)$ изображают сплошные нагрузки, то

$$\Gamma^{(1)}(x) = \lim_{\varepsilon_1 \rightarrow 0} \Gamma^{(1)}(x; \varepsilon_1)$$

и

$$\Gamma^{(2)}(x) = \lim_{\substack{\varepsilon_1 \rightarrow 0 \\ \varepsilon_2 \rightarrow 0}} \Gamma^{(2)}(x; \varepsilon_1, \varepsilon_2) \quad (12)$$

изображают собою соответственно единичные сосредоточенные силу и момент.

Аналогично можно построить протяженные импульсивные функции высших порядков. Из (2) и (12) следует чрезвычайно полезный факт,

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{-\infty}^x \Gamma^{(n)}(x-a; \varepsilon) dx = \int_{-\infty}^x \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \Gamma^{(n)}(x-a; \varepsilon) dx = \Gamma^{(n-1)}(x-a) \quad (13)$$

позволяющий со многими неравномерно сходящимися и даже расходящимися последовательностями функций оперировать при дифференцировании и интегрировании так, как если бы они были равномерно сходящимися последовательностями функции. В этом мы усматри-

ваем одно из важнейших свойств импульсивных функций. Ясно, что с точки зрения определений теории функций вещественного переменного, операции (12) имеют совершенно иной смысл, в частности, если $\Gamma^{(1)}(0; \varepsilon_1) = 0$, $\Gamma^{(2)}(0; \varepsilon_1, \varepsilon_2) = 0$, то правые части (12) в пределе представляют тождественные нули, что идет вразрез с нашими физическими представлениями о пределе, как о силе и моменте, в данном случае символически изображаемые посредством $\Gamma^{(1)}(x)$ и $\Gamma^{(2)}(x)$, (см. ф.1).

Здесь имеет место разрыв между математическим определением предела и его физическим содержанием, интерпретируемым посредством символов $\Gamma^{(1)}(x)$ и $\Gamma^{(2)}(x)$. Отсюда и нестрогость операций над импульсивными функциями, с точки зрения теории функции вещественного переменного. Впоследствии на затронутых здесь вопросах мы остановимся подробнее.

Мы показали, что метод функциональных прерывателей Герсеванова, могущий быть с пользой примененным в различных вопросах техники, основывается на некоторых свойствах импульсивной функции n -го порядка $\Gamma^{(n)}(x-a)$, описанных в тексте посредством формул (1) — (13).

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Эфрос и А. М. Данилевский — „Операционное исчисление и контурные интегралы“.
2. А. Н. Крылов — „О расчете балок, лежащих на упругом основании“. Ленинград, 1931.
3. Уманский — „Специальный курс строительной механики* (метод начальных параметров), часть 1, ОНТИ, 1935.
4. Н. М. Герсеванов — „Функциональные прерыватели и их применение в строительной механике“, Тр. ВИОС, сб. № 2, М.—Л. 1934.
5. А. Г. Назаров — „К проблеме теории импульсов“, рукопись, 1943 г.

A. G. Nazarov

The N. M. Gersevanov's Functional Interruptors and the Impulsive Functions

S u m m a r y

We have shown the method of Gersevanov's functional interruptors, that may be used in the different questions of engineering, is based on the some properties of the impulsive function of n -th range $\Gamma^{(n)}(x-a)$, described in the paper by formulae (1) — (13).

С. Я. Варгазаров

К вопросу пропуска шуги через турбины и турбопроводы гидростанций

Среди многочисленных приемов удаления шуги из сооружений гидростанций, связанных обычно с большой потерей воды, особое внимание привлек к себе, в последнее время, прием пропуска ее через турбины. Сущность этого режима состоит в том, что идущая по реке шуга принимается в деривацию, беспрепятственно проходит по всем сооружениям станции и пропускается через турбины: тем самым отпадает необходимость устройства шугосбросных или шугозадерживающих сооружений и затраты воды на сброс шуги. Совершенно очевидно, что для станций, не располагающих излишком воды в зимний период, этот режим представляется весьма заманчивым. Однако опыт эксплуатации некоторых Закавказских гидростанций, обобщаемый в настоящем изложении, показал ограниченность применения режима пропуска в зависимости от количества шуги, метеорологической обстановки и условий эксплуатации ГЭС.

Выяснению пределов и условий применимости данного режима и разработке некоторых расчетных положений и рекомендаций посвящена настоящая статья.

На Земоавчальской ГЭС (ЗАГЭС Груз. ССР) в периоды интенсивного хода шуги отмечены попытки пропуска ее через турбины. К этому времени поднимались частые решетки турбинных камер, с просветами в 3,7 см и заменялись грубыми, опускаемыми в шандорные пазы с просветом до 10—15 см., способными удержать лишь крупные льдины и плавающие тела. Подъем решеток практиковался преимущественно при наличии чистой воды для нормальной эксплуатации и лишь иногда, в аварийный момент, для предупреждения посадки машин от закупорки решеток. Турбины Френсиса (1-й очереди) мощностью до 4500 л. с. с расчетным напором 13,9 м и расходом в 20 м³/сек. пропускали шугу беспрепятственно при условии полного открытия направляющего аппарата.

Поступление шуги из напорного бассейна в трубопровод диаметром 2,2 м (см. схему рис. 1) происходило благодаря мощным воронкам, образующимся при протекании под забралом. Горизонт под-

держивался обычно на отметке ниже н. р. г. Перед забралом образовывалось скопление шуги, наружный край отложений создавал известную обтекаемость забрала: в промежутке между забралом и входом в трубопровод также возникали отложения шуги, постепенно удалявшиеся воронками.

К сожалению никаких количественных показателей обнаружить в записях дежурных инженеров не удалось. Некоторые описательные характеристики приведены в таблице № 1 (на стр. 46) для наиболее типичных случаев.

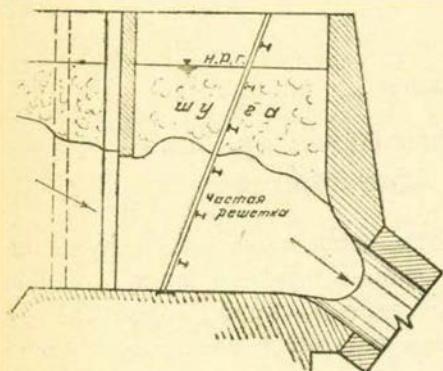


Рис. 1.

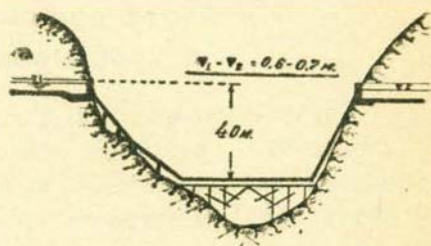


Рис. 2.

По данным ТНИСГЭИ количество шуги на ЗАГЭС обычно не велико и в периоды наиболее интенсивного шугохода не превышает 1% от общего расхода воды.

После устройства обогрева всех решеток, пропуск небольших количеств шуги, проходящих через решетки, продолжался, но данные эти не характерны.

Небольшой опыт пропуска шуги имеется по Зурнабадской ГЭС (Аз. ССР).

Процессы шугообразования на р. Ганджа-Чай, водой которой питается Зур. ГЭС, проходят весьма интенсивно. Число шугоносных дней доходит до 30—40 в году. Станция совершенно не приспособлена к борьбе с шугой.

Шуга в количестве до 15—20% от расхода воды в канале (расчетный расход 4 м³/сек.) поступает в деривацию при пониженных горизонтах в верхнем бьефе. Канал шириной 2,5 м прямоугольного сечения, изобилует резкими поворотами с малыми радиусами закругления, что способствует образованию зажоров.

Два глубоких оврага, пересекаемых трассой канала, пройдены деревянными дюкерами диам. 1,3 м с напором до 40 м (рис. 2).

На период шугохода частые решетки перед входом в дюкеры снимаются и устанавливается примитивный ледосброс из отдельных бревен, позволяющих удалять через холостой водослив в стенке канала крупные льдины. Шуга, снег и мелкий лед проходят беспрепятственно в дюкеры.

Наблюдено, что при полном расходе в деривации в 4 м³/сек.,

т. е. при скоростях течения в дюкере, порядка 2,5—3,0 м/сек. довольно значительное количество шуги (данных измерений нет) свободно проходит по дюккеру, причем у входа в дюккер имеет место спад (рис. 3), что обеспечивает вход от закупорки.

Практика эксплуатации показала неоднократную закупорку нижнего участка дюккера с последующей остановкой всей станции. Для прочистки дюккера требовалось полное выключение станции на 10—12 часов, выпуск воды из дюккера и ручная прочистка образовавшейся пробки.

Происходившая частая забивка напорного бассейна станции выполненного в виде уширения канала, вынудила эксплуатацию испытывать в аварийном случае пропуск части шуги в трубопровод.

В этот период горизонт в камере снижался и происходило свободное истечение в трубопровод (см. рис. 4). Наличие длинного в 215 м деревянного водовода диам. 1,50 м, соединяющего напорную камеру с металлическим напорным трубопроводом диам. 1,40 м (рис. 4) создавало неблагоприятные условия для прохода шуги. Про-

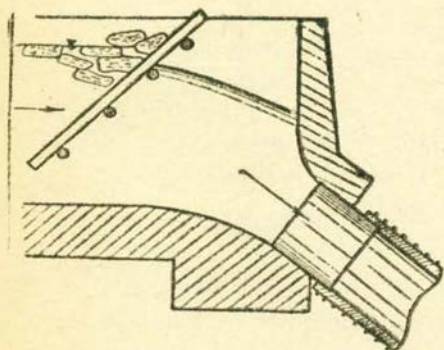


Рис. 3.

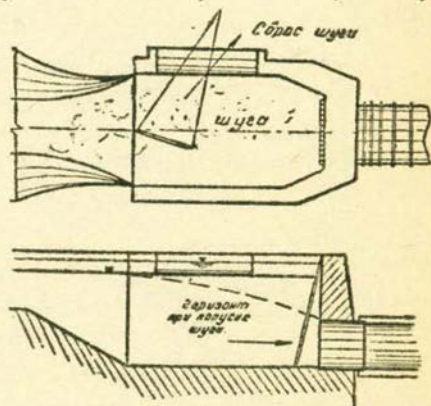


Рис. 4.

исходил частый засос воздуха и закупорка сечения в местах перелома профиля. После нескольких аварий, попытки пропуска шуги были оставлены и вся шуга сбрасывалась через боковой водослив ручными шуготасками.

Наибольшее распространение и успешное применение пропуск шуги нашел на Ленинанканской ГЭС (Арм. ССР)—опыт, который наиболее поучителен и дает возможность сделать ряд обобщений.

Задача борьбы с шугой на Ленинанканской ГЭС стала весьма остро с первых же дней работы станции, благодаря исключительно тяжелым зимним условиям. Сооружения станции оказались непригодными к борьбе с шугой, что вызывало многочисленные аварии.

Схема станции следующая—из бьефа, образованного 4 м плотной, вода подводится безнапорной штольной длиной 3 км к силовому узлу (рис. 5), состоящему из летнего канала длиной 300 м напор-

Известия 6—3

ного бассейна-отстойника, от которого отходят два напорных трубопровода диам. 1,70 м, питающих четыре турбины общей мощностью 7500 л. с. Расход станции 5 м³/сек.; расчетный напор 110 м.

Частые закупорки шугой и снегом напорного бассейна вызвали необходимость устройства дополнительного канала, соединяющего конец тоннеля с напорным бассейном. Этот канал, именуемый обычно зимним каналом, имеет уклон в 0,005, что позволяет подводить воду к решеткам с значительными скоростями, для чего в напорном бассейне устроен деревянный лоток на уровне конца зимнего канала (рис. 6), откуда вода непосредственно поступает в камеры напорных трубопроводов.

Решение о пропуске шуги через турбины было вызвано также недостатком воды в зимний период, что до включения ЛенГЭС в систему Арменэнерго создавало систематический недоотпуск энергии потребителям, доходивший в некоторые зимы до 500000 квч.

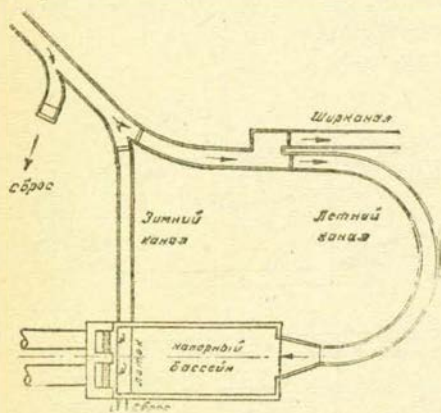


Рис. 5.

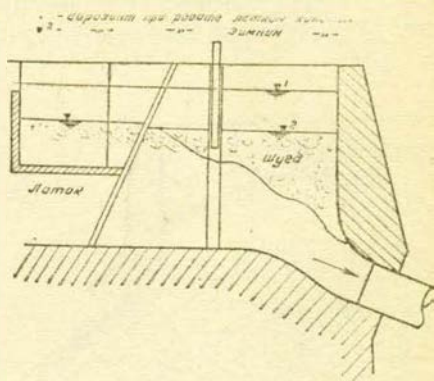


Рис. 6.

В силу этих причин нормальной работой станции является беспрепятственный пропуск шуги по всем сооружениям с последующим поступлением ее в турбины; при этом турбины работают на смеси шуги и воды.

Для загона в деривацию всего наличного расхода воды с шугой горизонты в верхнем бьефе поддерживаются по возможности низкие, что также уменьшает опасность закупорки бьефа поверхностным льдом при колебаниях горизонта. Сброс шуги из верхнего бьефа обычно исключен, из-за недостатка воды и неизбежности заполнения нижнего бьефа ледяными нагромождениями, при длительных сбросах.

Скорости в деривационном тоннеле при расходе в 6 м³/с. составляют порядка 2 м/сек., что достаточно для прорыва небольших пробок, образующихся в местах поворота при больших количествах шуги в потоке. Отмечено образование зажоров в тоннеле из-за задержки шуги в местах с необлицованными секциями; выступающая

обделка штольни создает препятствия и задерживает шуговые массы. Эти уширения были причиной частичной закупорки тоннеля снегом.

Перед ответвлением в зимний канал устроен ледосброс, причем для сброса шуги через откидной щит ледосброса в канале установлена направляющая доска. Эксплуатация этого узла в период хода шуги весьма поучительна.

Часть шуги, отклоняемая направляющей стенкой, проходит в отсек, заполняя его за несколько минут.

Промедление в открытии щитов ледосброса может вызвать полную забивку отсека, т. к. после того, как все пространство заполнилось шугой в рыхлом состоянии, происходит ее дальнейшее уплотнение. Имели место случаи, что при промедлении в открытии сбросного щита накапливание шуговых масс начинало распространяться вверх по тоннелю, угрожая его закупоркой. Порядок использования ледосброса при эксплуатации указан ниже.

Пройдя этот узел, шуга поступает в зимний канал, по которому проходит с большими скоростями до 2,8—3,0 м/сек. Интересно отметить, что небольшое сужение канала перед подходом к бассейну при больших количествах шуги являлось местом образования небольших пробок, задерживающихся на выступах. Легкими ударами шестом эти пробки сбрасывались в поток.

Центральным местом всего режима пропуска являются частые решетки напорной камеры—просветы между стержнями 40 мм при толщине стержней в 12 мм.

Вода из деревянного подводящего лотка поступает несколько неравномерно к обеим решеткам, как то указано на схеме. Благодаря этому, перед решетками имеют место довольно значительные колебания уровня, с попеременным оттоком и притоком масс воды при изменениях нагрузки на агрегатах. Эти нарушения вызывают, кроме основного течения нормально к плоскости решеток, еще дополнительное течение параллельно решеткам.

При снижении расхода в трубопроводе, при падении нагрузки, можно наблюдать обратные течения из камеры в лоток.

В общем случае можно считать, что результирующее, наиболее часто встречающееся, течение направлено несколько косо по отношению к плоскости решеток. Идущие пласты и комя шуги проносятся вдоль всего фронта решетки, постепенно продавливаясь сквозь нее.

Нашими наблюдениями отмечено (данные эксплуатации по этому вопросу отсутствуют), что при скоростях течения перед решеткой свыше 1,5 м³/сек. комя шуги свободно проходят в просветы решетки по всей глубине канала и увлекаются в трубопровод.

Проталкивание шуги очень чувствительно к изменению скоростей подхода (давление на проталкиваемый пласт пропорционально квадрату скорости) и сравнительно небольшое их изменение вызывает

почти немедленную остановку и скопление комьев шуги перед решетками.

Спустя буквально несколько десятков секунд, все это пространство заполняется густой кашеобразной массой, причем накопление шуги интенсивно распространяется вверх по каналу.

Малейшая нерасторопность дежурного персонала может повлечь за собой забивку всех сооружений узда шугой. С увеличением нагрузки начинается быстрое подсасывание шуги сперва из нижних слоев, а затем из верхних и, спустя небольшой промежуток времени, при энергичном вмешательстве дежурного персонала, шуга проходит через решетку. В стене бассейна, на уровне лотка устроен ледосбросный щиток, которым эксплуатация пользуется при возникновении аварийного положения.

В период изолированной работы станции, в своем стремлении обеспечить нагрузку потребителей, эксплуатационный персонал шел на резкое ухудшение работы без отключения сети. Лишь в случае продвижения по каналу шуги в количестве, превышающем приемную способность решеток и трубопроводов, часть воды использовалась для сброса шуги на шугосбросе, до подхода к зимнему каналу, а часть удалялась через ледосброс напорного бассейна.

Задержка в отключении потребителей нередко вызывала настолько серьезное положение в силовом узле, что срочно мобилизовались дополнительные бригады для расчистки решеток, ледосброса и канала.

В просмотренных записях в книгах дежурных инженеров нет указаний о количестве шуги, проходящей по каналу и поступающей в турбины. Некоторые сведения можно получить по данным исследований, проведенных Тнис ГЭИ в 1934—1938 гг., и по данным наблюдений 1944 г.¹ Обычные расходы шуги не превышают 15—20% от расхода воды в канале, доходя до 40—50% при крайне неблагоприятных метеорологических условиях. Количество снега, проходящего по деривации, может доходить до 60%, как, например, имело место в 1930 г. при закупорке всей деривации снегом.

Опытная эксплуатация ЛенГЭС в 1944 г.² показала, что количество шуги, проходящей через решетку при полной нагрузке турбины, не превышает примерно 25% от расходов воды.

Пропуск шуги через решетку должен быть полностью исключен при появлении в воде кусков льда, что обычно имеет место при оттепели днем. Куски льда, поступая к решетке, полностью ее закрывают и удаление их крайне затруднительно. В этот период, независимо от характера нагрузки, основной расход пускается на сброс

¹ Отчеты автора по ТнисГЭИ (рукопись); Ледовый режим ГЭС Армении. ВЭНИ Акад. Наук Арм. ССР, 1944 г. (рукопись).

² Опыт зимней эксплуатации ЛенГЭС в зиму 1944—45 г. ВЭНИ АН Арм. ССР, 1945 г. (рукопись).

для удаления шуги и льда. При поступлении льдин в небольшом количестве, они вылавливаются граблями, не нарушая прохождения шуги. Пропуск снега, как правило, в силу его большой примерзаемости, происходит значительно сложнее и потому даже малые расходы снега желательно удалять через сбросы, не подвергая опасности решетку.

Все пространство между решеткой и входом в трубопровод заполняется шугой, причем отломившиеся ледяные массы создают обтекаемый вход в трубопровод, благодаря которому вся шуга беспрепятственно проходит в него, при условии достаточных скоростей для ее увлечения. Накапливающаяся снизу шуга создает мощный пласт, который несколько всплывает над поверхностью воды.

Любопытно отметить, что закупорка входа в трубопровод не наблюдалась за все время эксплуатации, а потому это пространство даже не оборудовано удобным доступом. Это положение вызвано тем, что, как указывалось выше, пропуск шуги через решетку чутко реагирует на небольшие изменения скоростей прохода, т. е. при уменьшении нагрузки и тем самым снижении пропускной способности трубопровода, к выходу поднимается небольшая часть шуги, неувлекаемая водой, и отлагается в пространстве у входа, увеличивая толщину наличной ледяной подушки. Часть же шуги продолжает поступать в турбину, в то же время резко снижается прохождение шуги через решетку, что облегчает условия работы трубопровода.

Внезапная полная остановка агрегатов может сказаться на закупорке входных отверстий, но образовавшиеся отложения, благодаря своей малой прочности, легко размываются при повторном пуске агрегатов.

Движение шуги по трубопроводу происходит обычно без каких-либо осложнений, благодаря регулированию количества поступающей шуги решетками. Следует предполагать, что при внимательной эксплуатации мало вероятны случаи закупорки трубопровода. Однако некоторые случаи закупорки имели место на ЛенГЭС, и потому опыт их поучителен.

Явления почти полного заполнения трубопровода шугой или снегом имели место в том случае, когда при неполной нагрузке агрегатов и сниженных до 1,0—1,2 м/сек. скоростях в трубопроводе, через решетки проталкивались большие массы шуги, которые, заполнив все пространство у входа, постепенно поступали в трубу при несколько суженном сечении; слой шуги у верха трубопровода все дальше распространялся вниз. В оставшемся свободном сечении скорости несколько увеличивались, что способствовало уносу части поступающей шуги. Верхний слой продвигался по трубопроводу, достигал крутого перелома профиля и, не имея возможности проникнуть дальше, останавливался; при дальнейшем поступлении шуги легко происходило заполнение почти всего живого сечения, что

приводило к тому, что при пуске турбины манометр показывал отсутствие давления (см. выписку из журнала).

Остановившийся слой шуги примерзал к верху трубопровода, усугубляя положение.

Вторым типом закупорки трубопровода следует считать заполнение шугой вертикальной его части. Как удалось выяснить из записей эксплуатации, такие случаи имели место при остановленном одном агрегате. Ответвление на остановленный агрегат постепенно заполнялось шугой и отложившиеся массы, уплотнившись, сужали сечение основного трубопровода. Если в этот период второй работающий агрегат принимал больший расход воды с большим же насыщением шуги, то небольшое сужение вызывало остановку части шуги, напор при этом несколько падал, нагрузка снижалась и вся поступившая шуга получала возможность всплыть и примерзнуть к уже отложившейся части, а также задержаться у места перелома, не имея возможности быстро пройти обратно весь остальной участок трубопровода.

Заполнение шугой неработающего ответвления трубопровода неизбежно и потому эксплуатация старается поддерживать пропуск через неработающий агрегат хотя бы части воды.

Пропуск шуги через турбину вообще говоря проходит достаточно безболезненно, т. к. большие скорости входа на рабочее колесо обеспечивают проталкивание шуги. Однако отмечены случаи, когда турбина забивалась шугой и останавливалась. Наличие записи на станции позволяют лишь отчасти восстановить обстановку при этих авариях. Насколько можно установить, забивка направляющего аппарата и рабочего колеса возможна при больших насыщениях потока шугой порядка 30% и при неполной нагрузке агрегата. (см. таблицу № 1).

Кроме того, как то будет видно из расчета обмерзания (см. ниже), имеют также значение термические условия воды и шуги.

Отмеченные случаи забивки произошли вечером или в первую половину ночи дневной шугой, которая, как нами неоднократно наблюдалось на р. Ахуриян, имеет температуру, близкую к 0°, в противоположность ночной и утренней шуги, обычно переохлажденной.

При неполном открытии направляющего агрегата легко могло произойти обмерзание лопаток от наносимой на них шуги с закрытием части входного сечения. Уменьшение количества воды, поступающей на рабочее колесо, вызывало падение оборотов и тем самым возможность застревания шуги на рабочих лопатках.

Кроме того, при малых нагрузках наблюдалось обмерзание всасывающих труб и отводящих камер. Недостаточный расход воды не был в состоянии унести всю прошедшую через турбину шугу и нижний бьеф, что вызывало заполнение камеры, уменьшение скорости выхода из всасывающей трубы и тем самым способствовало

заполнению останавливающейся турбины, а также и трубопровода шугой.

Необходимо подчеркнуть, что режим отводимых камер в период пропуска шуги является одним из наиболее ответственных моментов, которому эксплуатация должна уделять особое внимание.

В этом вопросе сталкиваются два противоположных стремления. Для обеспечения прохода шуги необходимо держать в отводящих камерах низкие горизонты, вместе с тем, увеличение высоты всасывания отражается на кавитационных явлениях в турбине.

Повидимому наилучшим решением в этом вопросе явится работа турбины на полной мощности в период пропуска шуги, что обеспечит транзит шуговых масс и будет являться лучшим режимом в отношении кавитации.

Из приведенного скромного опыта пропуска шуги по сооружениям гидростанций можно сделать некоторые выводы:

1. Транзитный режим требует обеспечения беспрепятственного продвижения шуговых масс по всем сооружениям станции.

2. Напорные камеры большой емкости желательно на этот период выключать, а если этого не позволяет схема станции, поддерживать в них низкие горизонты, приняв меры для удаления скопившейся шуги вне течения, направляющегося к трубопроводам.

3. Поступление шуги из бассейна в трубопровод возможно или проталкиванием ее через решетку большими скоростями течения, или при глубоких бассейнах воронками у входа.

Пределы применимости этих приемов неясны.

4. Поступление шуги во входную часть трубопровода происходит беспрепятственно, благодаря формированию шуговыми отложениями обтекаемого очертания подхода. Случаи закупорки входа не отмечены.

5. Проталкивание шуги через решетку требует создание скоростей протекания не менее 1,5 м/сек. Небольшое снижение скоростей влечет за собой немедленную остановку шуговых масс перед решеткой.

6. В системе сооружения станции должен быть обязательно предусмотрен шугосброс, типа отбойной запани, не нарушающей режим движения шуги для ликвидации аварийных положений при поступлении больших масс шуги, и ледосбросные отверстия в напорной камере у решетки.

7. Для поддержания свободного прохода шуги по трубопроводам следует иметь в них скорость не менее 2,0—2,5 м/сек., увеличивая ее при увеличении расхода шуги.

8. Закупорка трубопровода вызывается: а) большим количеством шуги; б) недостаточными скоростями движения; в) снижением в нем скоростей при устойчивом ходе шуги по трубопроводу и г) резкими переломами профиля, тормозящими движение шуговых масс.

9. Закупорка турбин происходит при а) забивке всасывающей

трубы и отводящей камеры вследствие обмерзания стенок; б) малой нагрузке: в) большом количестве шуги.

10. Предельные количества шуги, допускаемые к пропуску через турбины, не установлены. Весьма ориентировочно для малых высоконапорных станций типа ЛенГЭС можно принять расход шуги порядка 20—25% от расхода воды, в качестве предварительной цифры.

11. Для изучения полных эксплуатационных характеристик режима пропуска необходимо проведение специальных наблюдений.

Изложенные материалы дали возможность предложить проект инструктивных указаний по пропуску шуги, приводимых ниже. Некоторые положения являются установленными, некоторые же требуют проверки. Искключительная актуальность этого вопроса для небольших гидростанций с ограниченным зимним расходом заставила предложить на обсуждение проект этих указаний.

При проектировании станции с учетом пропуска шуги неизбежно возникают вопросы о методах расчета допустимых скоростей в трубопроводе и турбине, достаточных для предупреждения обмерзания.

Ниже даются некоторые предложения по расчету критических скоростей в трубопроводе и в направляющем аппарате турбины, не допускающих обмерзания.

Пропуск шуги через направляющий аппарат и рабочее колесо турбины определяется соотношением скоростей в спиральной камере и между лопатками, а также способностью транспортируемого потока льда к примерзанию.

Процесс обмерзания погруженных в поток предметов происходит как следствие наталкивания на обтекаемую поверхность частиц льда, которые под давлением воды смерзаются, образуя плотную ледяную корку. Это явление, известное в литературе как „режелация“ или повторная смерзаемость льда, вызвана известным свойством понижения температуры плавления льда с увеличением давления. Градиент этого понижения составляет -0.0075°C на 1 кг/см^2 .

Попеременное плавление льда под давлением с повторным промерзанием выделенной воды и дает явление „режелации“, наиболее эффектно иллюстрируемое известным опытом Боттомлея—брусok льда, прорезанный проволокой с подвешенным грузом, сохраняется целым, благодаря немедленному замерзанию образуемого проволокой прореза.

Б. П. Вейнберг,¹ разработавший теорию режелации, дает формулу для определения соотношения между температурой льда и способностью его к смерзанию в зависимости от давления.

Если Θ —температура льда $^{\circ}\text{C}$, P —давление набегающего потока, а S —площадь обтекания, то имеем:

¹ Б. П. Вейнберг—Лед. 1940 г.

$$\Theta = -0,0075 \frac{P}{S}, \quad (1)$$

т. е. режеляция может иметь место только тогда, когда температура намерзающего льда меньше того понижения температуры замерзания, которое вызывается наличным давлением.

Подмеченные нами факты повышенной способности к примерзанию снежных комьев и дневной шуги находят свое весьма простое объяснение. Непереохлажденный снег, сдутый в реку, и дневная шуга, потерявшая первоначальную твердость своих зерен,¹ имеют температуру, близкую к 0°, что при наличии даже небольших скоростей течения способствует режеляции.

Переохлажденные частицы снега и частицы шуги в первые часы своего пребывания в потоке имеют температуру ниже 0° порядка $-0,03^\circ$ — $-0,06^\circ\text{C}$ и потому требуют для смерзания значительных давлений, которые недостижимы даже при скоростях 5—6 м/сек. и которые имеют место в спиральной камере.

Обмерзание лопаток направляющего аппарата может быть представлено в следующем виде. При значительных насыщениях шугой (порядка 30% и выше) потока и при неполном открытии аппарата, скорости обтекания лопаток сравнительно невелики и потому при смерзании частицы льда настолько плотно схватываются с поверхностью лопаток, что их отрыв невозможен.

Как только начальный слой льда достаточно прочно закрепился на лопатке, дальнейшее нарастание слоя происходит более интенсивно, и в скором времени сужение прорезов между лопатками достигает величин, которые сказываются на уменьшении поступающего в турбину расхода.

Регулятор срабатывает, турбина садится и благодаря обмерзанию лопаток, при закрытии может иметь место полное их промерзание. Продолжающие двигаться по инерции массы шуги в трубопроводе, подходя к турбине, полностью закупоривают конечный участок трубопровода. Так, повидимому, могут быть объяснены некоторые наблюдавшиеся аварии по закупорке турбин шугой и снегом.

Для возможности предупреждения подобного рода аварии, необходимо знать те соотношения между скоростями движения в камере турбины и режеляционной способностью льда, поступающего в трубопровод, которые дают невыгодные условия режима.

а. Некоторые расчетные предпосылки к определению обмерзания лопаток направляющего аппарата могут быть получены из следующих простейших соображений, не вникая глубоко в процесс движения потока в рабочих органах турбин, что будет предметом специального рассмотрения.

Поток, с содержанием шуги m и приведенной плотностью $\rho_1(1+am)$ где, $a=\rho_2/\rho_1-1$ при ρ_1 —плотности воды и ρ_2 —плотности

¹ С. Я. Варгазаров—Тр. Энергосектора АН Груз. ССР. 1941 г.

льда, протекая по спиральной камере турбины, будет встречать лопатки направляющего аппарата под некоторым углом между направлением скоростей и осью лопаток.

Величина этого угла определится расходом проходящей через направляющий аппарат и открытием лопаток (черт. 7).

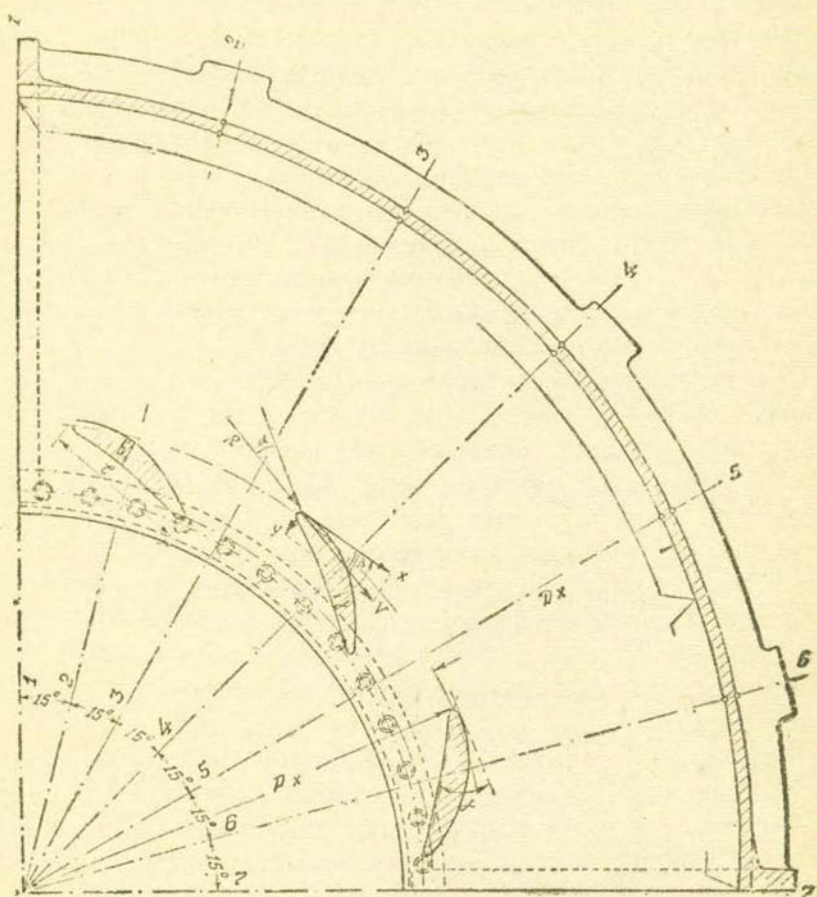


Рис. 7.

Скорость U_x в рассматриваемом сечении определяется из очевидного соотношения

$$U_{cp} \cdot R_{cp} = U_x \cdot R_x, \quad (2)$$

где $U_{cp} = \frac{4Q}{\pi \cdot D_{cp}^2} \left(\frac{2\pi - \varphi}{2\pi} \right)$, в котором φ — угол между входным сечением и сечением X .

Составляющую U_y определим из формулы Камерера

$$U_y = \frac{Q}{\pi \cdot D_l \cdot B_l}, \quad (3)$$

в которой Dl —диаметр наружных ребер направляющих лопаток, а Bl —ширина прохода в направляющий аппарат в этом месте, тогда

$$U = \sqrt{U_x^2 + U_y^2} \text{ и } \operatorname{tg} \beta = \frac{U_y}{U_x}$$

угол атаки потока на лопатку будет $\alpha = \gamma - \beta$, угол γ определяется для разных открытий из конструктивных данных турбины так же, как и остальные элементы.

В расчет целесообразно вводить угол, соответствующий полному открытию направляющего аппарата, поскольку именно при таком режиме осуществляется пропуск шуги через турбины (см. выше).

Давление протока на лопатку может быть определено из общей формулы для сопротивления крыла,¹ которая записывается для нашего случая.

$$R = C \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot b \cdot l \cdot U^2 \cdot \sin \alpha, \quad (4)$$

где R —давление потока

C —коэффициент сопротивления

ρ —плотность смеси

b —ширина лопатки

l —длина лопатки

U —скорость набегающего.

По данным аэродинамических исследований для соотношений $\frac{l}{b} > 4$ (длина лопаток к ширине), что обычно имеет место для большинства направляющих аппаратов и чисел Рейнольдса $Re = \frac{v \cdot b}{\nu} > 1.10^4$ можно принять с достаточной точностью $C = 0.10$.

Принимая $\rho^2 = 0.9$ и содержание шуги в потоке равно 0,3, получим плотность смеси, равную

$$\rho = 0.97$$

Тогда перепишем расчетную формулу в виде

$$R = 0.0425 \cdot b \cdot l \cdot v^2 \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

Рассмотрим теперь процесс обмерзания. Влияние указанного выше понижения температуры плавления будет особенно заметно для высоконапорных турбин. Так, для ГЭС с напором в 100 м понижение температуры плавления достигает 0,075, что означает начало плавления льда, попавшего в турбину и имеющего температуру выше указанной. Следовательно обмерзание рабочих органов турбины может произойти только льдом, имеющим температуру ниже

$$t_{кр} = -0.0075 \cdot \gamma \cdot H \quad (6)$$

где H —напор станции.

¹ Сборник „Основные проблемы сопротивления воды движению судов“. 1939 г.

Процесс обмерзания происходит в силу смерзания наносимого потоком льда под давлением R .

Возможность обмерзания определится из условия, что понижение температуры плавления, вызванное давлением потока, определяемое из соотношения

$$t = -0.0075 \cdot \frac{R}{b \cdot l}, \quad (7)$$

будет ниже температуры льда.

Учитывая сказанное выше о влиянии напора станции на условия плавления льда, получим предельную температуру в виде

$$t_{\text{пред}} = -0.0075 \left(\gamma H + \frac{R}{b \cdot l} \right) \quad (8)$$

или подставляя значение R , получим

$$t_{\text{пред}} = -0.00075 \left[H + \frac{0.0485 \cdot v^2 \sin a}{g} \right], \quad (9)$$

в котором все величины в скобке в M .

В нижеследующей таблице приведены подсчеты для некоторых гидростанций:

	Рион ГЭС	Дзора- ГЭС	Канакир ГЭС	Ер ГЭС 1	Лен ГЭС
Напор ГЭС <i>м</i>	60	110	170	50	105
Диаметр улитки <i>м</i>	2,0	1,17	11	0,9	0,8
Скорость по контуру направляющего аппарата <i>м/с</i> (в начальном отсеке)	15,2	14,1	11,2	9,2	8,9
Средняя скорость по сечению <i>м/с</i>	8,60	9,10	7,60	5,8	5,6
Радиус наружного контура направля- ющ. аппарата <i>м</i>	1,36	1,05	1,29	0,75	0,72
Угол атаки при пол- ном открытии	18	14	15	20	20
α° пред.	-0,048	-0,084	-0,13	-0,038	-0,08
α° динамич. (понижение от дав- ления воды)	-0,003	-0,003	-0,002	-0,002	-0,003

На горных реках температура частиц льда, как то установлено рядом авторов, не превосходит $0^\circ,1$, обычно находясь в пределах $-0^\circ,05$ в силу частой смены потепления и похолодания. Из таблицы следует, что при прочих равных условиях, например—на Канакир ГЭС обмерзание исключено. С уменьшением напора увеличивается опасность обмерзания.¹

¹ В дальнейшем намечено дать характеристики обмерзаемости в зависимости от быстроходности турбин.

б. Для практики эксплуатации гидростанций важно знать, при каких скоростях в трубопроводе какое можно пропускать количество шуги.

Не вдаваясь в точный анализ процессов перемешивания частиц льда в турбулентном потоке, определим необходимые нам соотношения из простейших соображений.

Рассмотрим единичный отсек трубопровода диаметром D наклоненного к горизонту под углом α .

Количество шуги равно m , следовательно приведенная плотность потока (по предыдущему) ρ' ($1-am$). На объем шуги в данном отсеке $m \cdot w$ действует подъемная сила $m \cdot w \cdot g (\rho_1 - \rho_2)$. Усилие с которым — это объем давит на стенку трубы будет $P = m \cdot g (\rho_1 - \rho_2) m \cdot \cos \alpha$. Очевидно, что сопротивление трению, задерживающему объем всплывающих ледяных частиц, создается касательным напряжением на стенке.

$$\tau = \rho g l R = \rho_1 (1 + am) g l R n \pi R,$$

где n определится очевидно из выражения $n \frac{\sin n \cdot \pi}{\pi} = 2m$. Условия транспорта шуги по трубе запишется в виде —

$$\tau \geq i \rho,$$

где i коэффициент трения шуговой массы о стенки трубы. Тогда получим

$$n \cdot \pi R (1 + am) \rho g l R = w g (\rho_1 - \rho_2) m \cos \alpha \cdot i$$

подставляя

$$l = \frac{\lambda \cdot \gamma^2}{D \cdot 2g} \text{ и } w = \frac{\pi D^3}{4}$$

получим после несложных преобразований выражение для транспортирующей скорости

$$V_{кр} = \sqrt{2 \cdot D g \frac{(\rho_1 - \rho_2)}{n \rho_1 (1 - am)} \frac{i}{\lambda} \cdot m \cos \alpha}$$

или окончательно

$$V_{кр} = 4,2 \sqrt{D \frac{1}{(1 - am)} \cdot \frac{i}{\lambda} \cdot \frac{m}{n} \cdot \cos \alpha}$$

при $\rho_2 = 0,9$

Например для $D = 2,0$ м; $m = 0,3$; $i = 0,03$ по опытам Вейнберга, $\lambda = 0,02$, $\cos \alpha = 0,9$ и $a = 0,1$ — получим

$$V_{кр} > 2,8 \text{ м/сек.}$$

что увязывается с наблюдаемыми в действительности транспортирующими скоростями в трубопроводах (см. таблицу № 1). При скоростях свыше 2,0 м/сек. забивки трубопровода не происходит и шуга проходит беспрепятственно.

Таблица № 1

Выборка из записей дежурных инженеров на ЛенГЭС

№ пп.	Д а т а	Время		Нагруз расход воды квт/м³/сек.	Скорость в трубопро- воде м/сек	Температу- ра воздуха бассейна	к-во шуги (бальность)	Ориентиров. к-во шуги в м³/сек.	шуги %	Условия работы	Возникшие затруднения
		час.	мин.								
1	1932 10/I	22	—	$\frac{2350}{2,0}$	1,8	-14°	0,4	0,55	20	Работает зимний канал. Шуга проходит в турбину	Пропуск осуществляется беспрепятственно.
2	18/I	15	30	$\frac{3120}{3,8}$	2,5	-10°	0,6	0,95	27	т о ж е	Наблюдается отложение шуги у входа в трубопровод.
3	23/II	17	—	$\frac{2780}{3,0}$	2,02	-16°	0,6	0,95	32	т о ж е	Забило трубопровод и турбину, лед в трубопроводе.
4	1934 20/XII	24	—	$\frac{3010}{3,6}$	2,4	-10°	0,4	0,4	12	т о ж е	К 8 час. забило турбину. Обмерзли лопасти и всасыв. труба.
5	1935 11/III	2	—	$\frac{2600}{2,3}$	1,9	-8°	0,65	1,0	46,5	т о ж е	Часть шуги остается у входа, остальная проходит в трубу. Работа без осложнений.

Ս. Յա. Վարդապետով

ԱՂԻՆԻ ԱՆՑԿԱՑՆԵԼԸ ՀԻԴՐՈԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ՏՈՒՐԲԻՆԱՆԵՐԻ
ԵՎ ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԲԵՐԻ ՄԻՋՈՎ

Հոդվածում քննարկվում է սառցային դժվարություններից հիդրոէլեկտրակայանների պաշտպանման նոր մեթոդ:

Լենինականի, Զեմոավճալայի և Զուռնարադի հիդրոէլեկտրակայանների փորձի հիման վրա հաստատվում է, որ խողովակաշարքերի և տուրբինների միջով սղինի անցկացման ուժիմը մեծ մասամբ կարելի է լայնորեն օգտագործել կառուցվածքներից մեծ քանակությամբ սղինի հեռացման հետևանքով ջրի կորուստի պակասեցման համար: Հանձնարարվում է սղինի սահմանային այն քանակը, որը կարելի էլինի անցկացնել, նաև խորհուրդ է տրվում ջրաբեր կառուցվածքների հիդրավիլիկական ուժիմի մասին:

Տրվում է խողովակաշարքերում այն փաստական արագությունների հաշվման բանաձևը, որոնք կարող են անցկացնել սղինի առաջադրված քանակն առանց խողովակաշարքի խցանման:

Բ. Պ. Վեյնբերգի կողմից տրված սառույցի ուժեղացիայի հասկացողությունն օգտագործելով տրված է բանաձև, որը ցույց է տալիս սարքավորման ճնշման և սղիբլաձև կամերայում արագության ճնշման ազդեցությունն անցնող սղինի սառեցման ինտենսիվության վրա:

Համեմատական աղյուսակը ցույց է տալիս, որ սառեցման միջոցով խցանման ամենամեծ վտանգ գոյություն ունի ցածր ճնշման հիդրոէլեկտրակայանների համար:

S. I. Vartasarov

To the question of transportation of frazil-ice through
penstocks and turbines of hydroelectric stations

A new method of removing frazil-ice difficulties in hydropower plants is developed in this article.

Analysing some experience of Leninakan, Zemo-Avtchaly and Zournabad hydroelectric stations, it is stated, that the transportation of frazil through penstocks and hydraulic turbines can be broadly used in most conditions to reduce the loss of water when discharging large quantities of frazil from power canals.

Recommendations are made as to the quantity of frazil which can be undisturbedly passed through penstocks; hydraulic conditions in power canals and surge chambers are analysed.

A formula is derived for computing the minimal velocity in penstocks which allows the transportation of a given quantity of frazil, without jamming.

Г. И. Атабеков

Устанавливающийся процесс на входе электрического фильтра¹

Аннотация

В статье приведены расчетные формулы, определяющие процесс нарастания амплитуды тока на входе фильтра в зависимости от частотной характеристики $a(\omega)$ активной составляющей входной проводимости фильтра, без наложения нереальных ограничений на реактивную составляющую $b(\omega)$.

В литературе, посвященной общетеоретическим вопросам связи [1] и специальным вопросам подтонального и многократного телеграфирования несущими токами [2—5], рассматриваются переходные процессы, возникающие при прохождении телеграфных токов через фильтры низкой частоты и полосовые фильтры.

В целях возможного упрощения математических вычислений, процесс „раскачивания“ амплитуды тока на входе фильтра исследуется, в ряде случаев, применительно к идеализированному фильтру, имеющему в полосе пропускания активное входное сопротивление R , а для всех остальных частот—чисто мнимое, бесконечно большое входное сопротивление.

На основании проведенных исследований ряд авторов приходит к следующим выводам:

1. При подтональном телеграфировании минимальная полоса пропускания фильтра, необходимая для практического установления тока на входе фильтра при длительности кратчайшего сигнала (точки) равной t составляет [2—стр. 127; 3—стр. 190] $\omega_c = \frac{3,33}{t}$ (1)

Это условие получается в результате применения формулы:

$$i(t) = \frac{E}{R} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \int_0^{\omega_c} \frac{\sin \omega t}{\omega} d\omega \right] \quad (2)$$

¹ Настоящая работа выполнена автором в Ленинградском институте инженеров связи в 1943 году.

Г. И. Атабеков

Устанавливающийся процесс на входе электрического фильтра¹

Аннотация

В статье приведены расчетные формулы, определяющие процесс нарастания амплитуды тока на входе фильтра в зависимости от частотной характеристики $a(\omega)$ активной составляющей входной проводимости фильтра, без наложения нереальных ограничений на реактивную составляющую $b(\omega)$.

В литературе, посвященной общетеоретическим вопросам связи [1] и специальным вопросам подтонального и многократного телеграфирования несущими токами [2—5], рассматриваются переходные процессы, возникающие при прохождении телеграфных токов через фильтры низкой частоты и полосовые фильтры.

В целях возможного упрощения математических вычислений, процесс „раскачивания“ амплитуды тока на входе фильтра исследуется, в ряде случаев, применительно к идеализированному фильтру, имеющему в полосе пропускания активное входное сопротивление R , а для всех остальных частот—чисто мнимое, бесконечно большое входное сопротивление.

На основании проведенных исследований ряд авторов приходят к следующим выводам:

1. При подтональном телеграфировании минимальная полоса пропускания фильтра, необходимая для практического установления тока на входе фильтра при длительности кратчайшего сигнала (точки) равной t составляет [2—стр. 127; 3—стр. 190] $\omega_0 = \frac{3,33}{t}$ (1)

Это условие получается в результате применения формулы:

$$i(t) = \frac{E}{R} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \int_0^{\omega_0} \frac{\sin \omega t}{\omega} d\omega \right] \quad (2)$$

¹ Настоящая работа выполнена автором в Ленинградском институте инженеров связи в 1943 году.

2. При частотном телеграфировании несущими токами минимально допускаемая ширина полосы пропускания фильтра, необходимая с точки зрения установления тока замыкания на входе фильтра, равна:

$$\omega_2 - \omega_1 = \frac{\xi}{t} \quad (3)$$

Исходя из выражения

$$i(t) = \frac{2E}{\pi R} \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \cos \omega t \, d\omega, \quad (4)$$

Н. Н. Крылов [5—стр. 70—73] и П. К. Акульшин [1—стр. 361—365] выводят расчетное выражение

$$i(t) = \frac{2E}{\pi R} \operatorname{Si} \frac{\omega_2 - \omega_1}{2} t \sin \bar{\omega}_0 t, \quad (5)$$

на основе чего приходят к заключению, что $\xi = 3,4$.

Г. В. Добровольский [2—стр. 165—171; 3—стр. 271—275], пользуясь исходным выражением

$$i(t) = \frac{E}{2R} \sin \omega_0 t + \frac{E}{\pi R} \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \cos \omega t \, d\omega, \quad (6)$$

получает в качестве расчетного выражения

$$i(t) = \frac{E}{2R} \left[1 + \frac{2}{\pi} \operatorname{Si} \frac{\omega_2 - \omega_1}{2} (t - t_0) \right] \sin \omega_0 (t - t_0), \quad (7)$$

откуда следует, что $\xi = 6,66$.

Расхождения, получающиеся в данном вопросе между выводами отдельных авторов, обойдены в литературе молчанием.

3. При $t < 0$ ток замыкания на входе фильтра получается в ряде работ отличным от нуля, что противоречит условию задачи (включение в момент $t = 0$).

Поэтому авторы корректируют данное обстоятельство искусственным переносом начала координат (оси времени) в точку, где ток на входе обращается в нуль [2—стр. 122, 168; 3—стр. 185, 273]. При этом, в отношении подтонального телеграфирования используется выражение (2), а применительно к частотному телеграфированию расчет ведется на основе выражения (6).

Поскольку при выводе выражений (2) и (6) никакие ограничения в отношении знака t не накладывались, то они фактически должны были бы давать ответ $i(t) = 0$ при $t < 0$. Если они не дают правильного ответа, то это указывает на порочность самих выражений (2) и (6).

Что касается исходного выражения (4), то в процессе его вывода допущены математические погрешности, а именно:

а) в формуле двойного интеграла Фурье пропущен множитель $\frac{1}{2}$;

б) метод двойного интеграла Фурье безоговорочно распространен на функции, не удовлетворяющие условию абсолютной интегрируемости в бесконечных пределах;

в) известная из курса анализа формула

$$\int_0^{\infty} e^{-ax} \sin bx dx = \frac{b}{a^2 + b^2},$$

специально выведенная для случая, когда a — вещественно [6], безоговорочно применена для случая $a = j\omega$.

Настоящая работа преследует цель рассмотрения процесса нарастания токов на входе фильтров под действием электродвижущихся сил

$$e(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ E & (t > 0) \end{cases} \quad (8)$$

и

$$e(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ E \sin \omega_0 t & (t > 0) \end{cases} \quad (9)$$

Пусть входная проводимость фильтра в функции от частоты равна

$$\frac{1}{Z(\omega)} = a(\omega) + jb(\omega) \quad (10)$$

Применительно к подтональному телеграфированию будем исходить из условия (8).

Пользуясь интегральной формулой единичной функции

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\sin \omega t}{\omega} d\omega = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ 1 & (t > 0) \end{cases} \quad (11)$$

и получающимися с помощью нее выражениями [7]

$$i(t) = \frac{Ea(0)}{2} + \frac{E}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{a(\omega)}{\omega} \sin \omega t d\omega + \frac{E}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{b(\omega)}{\omega} \cos \omega t d\omega \quad (12)$$

$$i(-t) = \frac{Ea(0)}{2} - \frac{E}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{a(\omega)}{\omega} \sin \omega t d\omega + \frac{E}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{b(\omega)}{\omega} \cos \omega t d\omega \quad (13)$$

($t > 0$)

можно с учетом $i(-t)=0$ получить:

$$i(t) = i(t) - i(-t) = \frac{2E}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{a(\omega)}{\omega} \sin \omega t d\omega \quad (t > 0) \quad (14)$$

$$i(t) = i(t) + i(-t) = Ea(0) + \frac{2E}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{b(\omega)}{\omega} \cos \omega t d\omega \quad (t > 0) \quad (15)$$

Формула (14), не требующая во всем спектре частот наложения ограничений в отношении $b(\omega)$, является расчетной формулой.

С учетом того, что

$$\left. \begin{aligned} a(\omega) &= \frac{1}{R} & \text{при} & \quad 0 \leq \omega \leq \omega_0 \\ a(\omega) &= 0 & \text{при} & \quad \omega > \omega_0 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

выражение (14) принимает вид:

$$i(t) = \frac{2E}{\pi R} \int_0^{\omega_0} \frac{\sin \omega t}{\omega} d\omega = \frac{2E}{\pi R} \text{Si} \omega_0 t \quad (t > 0) \quad (17)$$

По такому закону изменяется ток на входе идеализированного условиями (16) фильтра (вне зависимости от $b(\omega)$).

Полагая, что процесс можно считать законченным при значении t , соответствующей току $i(t) = 0,9 \frac{E}{R}$, находим:

$$\frac{2}{\pi} \text{Si} \omega_0 t = 0,9, \text{ откуда } \omega_0 = \frac{1,67}{t} \quad (18)$$

т. е. отлично от (1).

Встречающееся в литературе противоречие с действительностью (неравенство нулю тока при $t < 0$) есть следствие того, что был взят нереальный случай в отношении значений входных сопротивлений фильтра. При этом, не переносом начала координат в новую точку следовало корректировать задачу, а устранением ограничений, накладываемых на реактивную проводимость фильтра, тем более таких нереальных, как $b(\omega) = 0$ (для всего спектра частот).

В случае частотного телеграфирования несущими токами, также, как и при подтональном телеграфировании, базируясь на интегральной формуле единичной функции (11), можно получить применительно к условию (9) [8]

$$e(t) = \frac{E}{2} \sin \omega_0 t + \frac{E}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \cos \omega t d\omega = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ E \sin \omega_0 t & (t > 0) \end{cases} \quad (19)$$

По аналогии с (12) и (13)

$$i(t) = \frac{E}{2} a(\omega_0) \sin \omega_0 t + \frac{E}{2} b(\omega_0) \cos \omega_0 t + \frac{E}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} a(\omega) \cos \omega t d\omega - \\ - \frac{E}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} b(\omega) \sin \omega t d\omega \quad (20)$$

$$i(-t) = -\frac{E}{2} a(\omega_0) \sin \omega_0 t + \frac{E}{2} b(\omega_0) \cos \omega_0 t + \frac{E}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} a(\omega) \cos \omega t d\omega + \\ + \frac{E}{2} \int_0^{\infty} \frac{\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} b(\omega) \sin \omega t d\omega \quad (t > 0) \quad (21)$$

с учетом того, что $i(-t) = 0$, имеем

$$i(t) = E a(\omega_0) \sin \omega_0 t - \frac{2E}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} b(\omega) \sin \omega t d\omega \quad (t > 0) \quad (22)$$

или

$$i(t) = E b(\omega_0) \cos \omega_0 t + \frac{2E}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} a(\omega) \cos \omega t d\omega \quad (t > 0) \quad (23)$$

Формула (23), не требующая во всем спектре частот (кроме ω_0) наложения ограничений в отношении $b(\omega)$, является расчетной формулой.

Полагая

$$\left. \begin{aligned} a(\omega) &= \frac{1}{R} && \text{при } \omega_1 \leq \omega \leq \omega_2 \\ a(\omega) &= 0 && \text{при } \omega_1 > \omega \text{ или } \omega_2 < \omega \\ b(\omega_0) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

переписываем (23) в следующем виде:

$$i(t) = \frac{2E}{\pi} \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} \cos \omega t d\omega = \frac{E}{\pi R} \int_{\omega_1}^{\omega_2} \left[\frac{\cos \omega t}{\omega + \omega_0} + \frac{\cos \omega t}{\omega - \omega_0} \right] d\omega$$

откуда

$$i(t) = \frac{E}{\pi R} \left\{ \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\cos(\omega + \omega_0)t \cos \omega_0 t}{\omega + \omega_0} d\omega + \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\sin(\omega + \omega_0)t \sin \omega_0 t}{\omega + \omega_0} d\omega - \right.$$

$$\begin{aligned}
& - \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\cos(\omega - \omega_0)t \cos \omega_0 t}{\omega - \omega_0} d\omega + \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\sin(\omega - \omega_0)t \sin \omega_0 t}{\omega - \omega_0} d\omega \Big\} = \\
& = \frac{E}{\pi R} \left\{ \cos \omega_0 t \int_{(\omega_1 + \omega_0)t}^{(\omega_2 + \omega_0)t} \frac{\cos x}{x} dx + \sin \omega_0 t \int_{(\omega_1 + \omega_0)t}^{(\omega_2 + \omega_0)t} \frac{\sin x}{x} dx - \right. \\
& \quad \left. - \cos \omega_0 t \int_{(\omega_1 - \omega_0)t}^{(\omega_2 - \omega_0)t} \frac{\cos x}{x} dx + \sin \omega_0 t \int_{(\omega_1 - \omega_0)t}^{(\omega_2 - \omega_0)t} \frac{\sin x}{x} dx \right\}
\end{aligned}$$

Итак,

$$\begin{aligned}
i(t) = \frac{E}{\pi R} \Big\{ \cos \omega_0 t [Ci(\omega_2 + \omega_0)t - Ci(\omega_1 + \omega_0)t] + \sin \omega_0 t [Si(\omega_2 + \omega_0)t - \\
- Si(\omega_1 + \omega_0)t] - \cos \omega_0 t [Ci(\omega_2 - \omega_0)t - Ci(\omega_1 - \omega_0)t] + \\
+ \sin \omega_0 t [Si(\omega_2 - \omega_0)t - Si(\omega_1 - \omega_0)t] \Big\}
\end{aligned}$$

Имея в виду, что $Ci(\omega_1 - \omega_0)t = Ci(\omega_0 - \omega_1)t$, а $Si(\omega_1 - \omega_0)t = -Si(\omega_0 - \omega_1)t$, и полагая, как обычно, $\omega_2 - \omega_0 = \omega_0 - \omega_1 = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2}$,

$\omega_2 + \omega_0 \cong \omega_1 + \omega_0$ получаем выражение, совпадающее с (5).

Таким образом, не допуская в процессе вывода всех тех погрешностей, о которых шла речь выше, приходим к заключению, что минимальная ширина прозрачности идеализированного, условиями (24), фильтра, необходимая для того, чтобы в случае синусоидальных ЭДС тока на входе фильтра, при длительности сигнала t , достигал 90% своего установившегося значения, определяется из условия:

$$\omega_2 - \omega_1 = \frac{3,33}{t} \quad (25)$$

При этом, рассматривая прохождение через фильтр телеграфных токов как при подтональном, так и при частотном телеграфировании, приходим к выводу, что процесс раскачивания амплитуды тока определяется частотной характеристикой активной составляющей входной проводимости фильтра.

Объяснение данного явления следует искать в принципиальной зависимости друг от друга частотных характеристик активной и реактивной сопротивлений электрических цепей [9,10].

Между тем, задаваясь условиями (16) и (24), некоторые авторы совершенно произвольно выбирают характеристики $a(\omega)$ и $b(\omega)$, не производя проверки в отношении их совместимости.

В соответствии с вышесказанным, приводимые в учебной литературе рекомендации в отношении учета во всем спектре частот, наряду с характеристикой $a(\omega)$, также характеристикой $b(\omega)$ [2—стр. 123, 3—стр. 186], подлежат пересмотру.

Как уже отмечалось выше, расчетные выражения (18) и (25) получены для фильтров, удовлетворяющих условиям (16) и (24) без наложения на $b(\omega)$ неосуществимых ограничений.

Однако, ввиду отклонений реальных характеристик входных проводимостей от прямоугольных и необходимости учета дополнительных факторов (например $b(\omega_0)$), теоретические изыскания в данной области, приводимые применительно к идеализированным фильтрам, следует рассматривать в качестве ориентировочных.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. К. Акульшин, И. А. Коцеев, К. Е. Кульбацкий—Теория связи по проводам. Связьиздат, 1940 г.
2. Г. В. Добровольский—Многократные телеграфно-телефонные связи, ч. II. Связьрадиониздат, 1933 г.
3. Н. А. Баев, Г. В. Добровольский, Б. В. Халезов—Дальняя связь. Связьиздат, 1940 г.
4. П. Н. Куксенко—Автоматическая радиотелеграфия. Связьиздат, 1939 г.
5. Н. Н. Крылов—Анализ нестационарных явлений помощью двойного интеграла Фурье, Научно-Технический сборник № 2—3, 1929 г.
6. К. Поссе—Курс интегрального исчисления, ГОНТИ, 1938 г., стр. 81—82.
7. Д. Р. Карсон—Электрические нестационарные явления и операционное исчисление, ОНТИ, 1934 г., стр. 199—200.
8. Т. Е. Ши.—Четырехполюсники и электрические фильтры. Связьтехиздат, 1934, стр. 342.
9. M. Bayard—Relations entre les parties réelles et imaginaires des impédances et détermination des impédances en fonction de l'une des parties. Revue generale de l'Electricite, № 21, 25 mai, 1935.
10. E. Guillemin—Communication Networks, v. II, 1935, p. 502—503.

Գ. Բ. Արարիկով

ԿԱՅՈՒՆԱՑՎՈՂ ՊՐՈՑԵՍԸ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՖԻԼՏՐԻ ՄՈՒՏՔՈՒՄ

Ա. Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում բերված են ֆիլտրի մուտքում հոսանքի ամպլիտուդի աճման պրոցեսը որոշող հաշվարկային բանաձևերը, ըստ որում այդ պրոցեսը կախում ունի ֆիլտրի մուտքի հաջորդականությունից և ակտիվ բաղադրիչի հաճախականության բնութագրից $a(\omega)$, երբ ռեակտիվ բաղադրիչի $b(\omega)$ վրա ոչ իրական սահմանափակումներ չենք վերադրում:

G. I. Atabekov

Sustaining process on the electric filter entrance

S u m m a r y

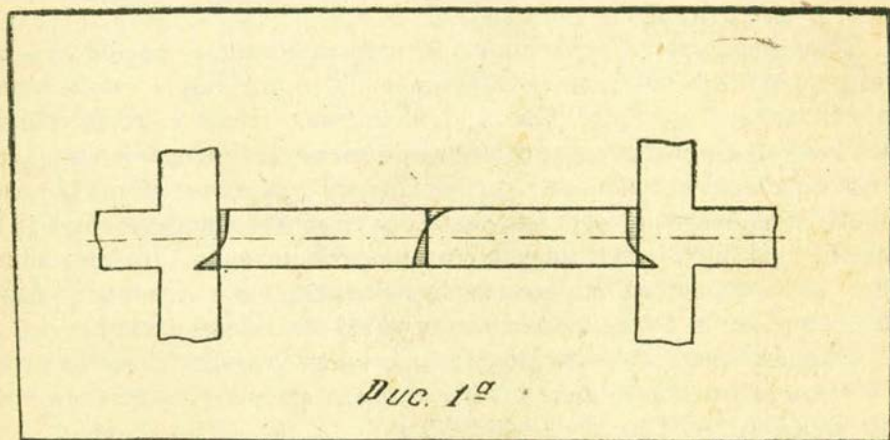
The paper gives calculating formulae to determine the process of current amplitude increasing on the filter entrance in dependance from frequency characteristics $a(\omega)$ of active component of filter entrance conductivity without imposition of nonreal limitations on the reactive component $b(\omega)$.

ТЕОРИЯ СООРУЖЕНИЙ

Г. С. Григорян

**Распор в изгибаемых элементах
железобетонных статически-неопределимых систем**

§ 1. *Обоснование появления распора в изгибаемых железобетонных элементах по Гвоздеву.* Рассмотрим изгибаемый железобетонный элемент (рис. 1 а), являющийся частью некоторой монолитной железобетонной конструкции. Эпюры распределения усилий в пролетном и опорных сечениях при изгибе в так называемой стадии „IIа“ даны на рис. 1 а. Как видно из этих эпюр, у геометрической оси элемента, по всей длине его, имеется растяжение, откуда следует, что в нагруженном состоянии длина элемента, измеренная по его геометрической оси, должна быть больше той первоначальной длины, которую имел элемент в ненагруженном состоянии. Таким



образом, мы пришли к новой особенности железобетона—к стремлению изгибаемого железобетонного элемента удлиниться. Если конструкции, окружающие рассматриваемый элемент, будут препятствовать его удлинению, то очевидно, что в нем возникнет распор—нормальная сила.

В стадии, когда уже образованы трещины, распорность железобетонных статически-неопределимых систем становится более очевидной. Пусть где-то в пролете свободно опертой железобетон-

ной балки появляется трещина.¹ Балка разбивается на два диска — 1 и 2 (рис. 1 б); раскрытие трещины, при этом, означает взаимный поворот дисков вокруг мгновенного центра вращения, находящегося в сжатой зоне бетона.

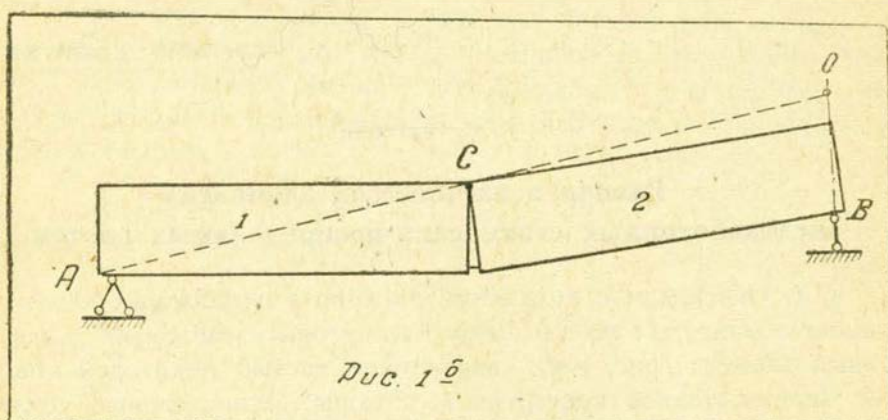


Рис. 1 б

Таким образом имеем кинематическую цепь, состоящую из трех звеньев: двух половинок балки (звенья 1 и 2) и неподвижного звена 3—земли.

Мгновенный центр абсолютного вращения звена 2 (вращения относительно неподвижного звена цепи) должен находиться на прямой соединяющей мгновенные центры взаимного вращения звеньев 1,3 и 1,2, т. е. на прямой AC.

Учитывая также, что точка В, принадлежащая звену 2, может иметь лишь горизонтальные перемещения, приходим к заключению, что мгновенный центр абсолютного вращения звена 2 есть точка О (рис. 1 б). Элементарное перемещение звена 2 при вращении вокруг О, как мгновенного центра, при раскрытии трещины, есть горизонтальное перемещение его вправо. Если рассматриваемая балка монолитно связана с другими элементами сооружения, то последние будут препятствовать горизонтальным смещениям звеньев балки. Следовательно, в балке возникнет нормальная сила—распор.

Впервые аналогичное доказательство распорности, применительно к кольцевым железобетонным плитам в стадии разрушения, было дано проф. А. А. Гвоздевым в 1935 г.

Ниже приведен ряд экспериментальных исследований работы железобетонных конструкций, в которых, как нам кажется, наличие распорности было несомненным фактом.

§ 2. *Опыты Гелера и Амоса.* В 1929—1932 г. г. Гелером и Амосом (1) были проведены обширные экспериментальные исследования железобетонных плит.

¹ Укажем, что доказательство верно как для случая вертикальных, так и косых трещин.

Среди других были испытаны:

а) плиты № 699 и № 700 серии 2 а, квадратные, опертые по периметру (с закреплением углов препятствующим их отставанию от опор).

б) Плиты № 701 и № 702 серии 5, квадратные, окаймленные рандбалками и опертые по углам в четырех точках.

в) Плиты № 705 и № 706 серии 7, квадратные, окаймленные более мощными рандбалками, заделанными в раму.

Плиты нагружались равномерно распределенной нагрузкой. Расчетные (допускаемые) нагрузки, приведенные в таблице № 1, были получены расчетом по Маркусу.

Сравнивая нагрузки, при которых указанные плиты можно было считать разрушенными, с теми нагрузками, на которые они были рассчитаны (см. табл. 1), мы видим, что для квадратных плит влияние окаймления балками оказывается очень сильно.

Таблица № 1

Тип плит	№ № плит	Расчетная нагрузка Q $кг/м^2$	Разрушающая нагрузка $Q_{раз}$ $кг/м^2$		$K = \frac{Q_{раз}}{Q}$	В %
			для каждой плиты	средняя		
Плиты, свободно оперты	699	900	(3940)	4140	4,18	100
	700		4140			
Плиты, окаймленные рандбалками	701	990	6580	6665	6,73	161
	702		6750			
Плиты, окаймленные мощными рандбалками	705	1500	10210	10120	6,75	161,5
	706		10030			

Приводя эти данные, авторы указывают на то, что разрушение рандбалок произошло от кручения. Однако, при внимательном рассмотрении приведенных авторами фотографий плит в стадии разрушения, легко заметить, что при этом рандбалки не столько скручивались, сколько подвергались действию распора.¹ Следует отметить, что значительное превышение разрушающей нагрузки над расчетной, определяемой расчетом упругой системы (намного больше, чем двухкратное), наблюдается также и в простых, не окаймленных рандбалками, плитах. Проф. А. А. Гвоздев (2) в 1935 г. объяснил это следующим образом. Уже при нагрузке, при которой арматура плиты начинает течь, плита сильно провисает; в дальнейшем ее средняя часть оказывается растянутой на всю толщину, а сжатая зона остается лишь в части плиты, примыкающей к контуру. При этом хотя вся арматура уже течет, но, поскольку плечо внутренней пары растет по мере увеличения провеса плиты, становится возможным дальнейшее увеличение нагрузки. Здесь имеет место своеобраз-

¹ По техническим причинам мы не приводим эти фотоснимки.

ное упрочнение, являющееся следствием изменения схемы работы конструкции. Из простой плоской системы плита превращается в пространственную систему. В дальнейшем опыты, проведенные в ЦНИПС-е, доказали полностью приведенные выше рассуждения проф. Гвоздева.

В плитах, окаймленных рандбалками, указанному явлению предшествует, как нам кажется, влияние распора.

Приведенный пример можно считать только косвенным доказательством влияния распора на увеличение несущей способности ж.-б. плит и, пожалуй, недостаточно убедительным.

Следующие примеры более наглядно показывают наличие распора, и его влияние на несущую способность ж.-б. изгибаемых элементов.

§ 3. *Опыты ЦНИПС-а 1937—1938 г. г.* В 1937—1938 г. г. в лаборатории железобетонных конструкций ЦНИПС-а ст. научными сотрудниками А. С. Шепотьевым и В. С. Булгаковым были проведены большие опытные исследования железобетонных круглых (13 шт.), кольцевых (14 шт.) и квадратных (4 штуки) плит. Работа была проведена с целью экспериментальной проверки основных положений теории проф. А. А. Гвоздева об определении разрушающей нагрузки в применении к плитам. В числе других были испытаны две одинаковые плиты № 24 и № 25 (рис. 2), каждая из которых была окаймлена жестким металлическим обручем, поставленным у верхней поверхности плиты по окружности большего диаметра.

Для сравнения приводим данные также и по другим двум плитам (№ 22 и № 23), у которых не было обручей, но была дополнительная арматура близ той же окружности большего диаметра и по двум плитам (№ 16 и № 17), армированным согласно расчета *по теории упругости*, по эпюрам радиальных моментов M_1 и кольцевым M_2 (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что M_2 , имея отрицательное значение при $r=a$, с увеличением r меняет свой знак. Таким образом на участке близкой к внешнему периметру плиты в упругой стадии верхняя часть плиты в радиальном направлении должна быть сжата. Между тем кольцевая арматура (в плитах № 22 и № 23) и обручи (в плитах № 25 и № 26), установленные у верхней поверхности по наружному периметру, оказывались в стадии разрушения, растянутыми, и намного увеличивали несущую способность плит. С точки зрения упругой работы плит этого никак нельзя объяснить.

Указанные исследования полностью подтвердили схему разрушения кольцевых плит, доказанную проф. Гвоздевым (3) чисто кинематическим путем.

Проф. Гвоздев показал, что кинематическая схема разрушения кольцевой плиты представляет собой последовательные вращения кольцевой плиты вокруг окружности А—А и ее наружной части (от кольцевой трещины до наружного края плиты), вокруг окружно-

сти С—С, как мгновенных центров, при этом возникают радиальные и кольцевые трещины (рис. 3). Радиальные трещины от кольцевой трещины до наружного края плиты должны быть сквозными по всей толщине плиты.

Автор (3) при этом писал: „Заслуживает внимания то обстоятельство, что от кольцевой трещины до наружного края должна течь и верхняя и нижняя кольцевая арматура“.

Таким образом, наружная часть плиты работает в кольцевом направлении на растяжение. Следовательно, к моменту разрушения внутренняя часть плиты работает как распорная конструкция (см. рис. 3).

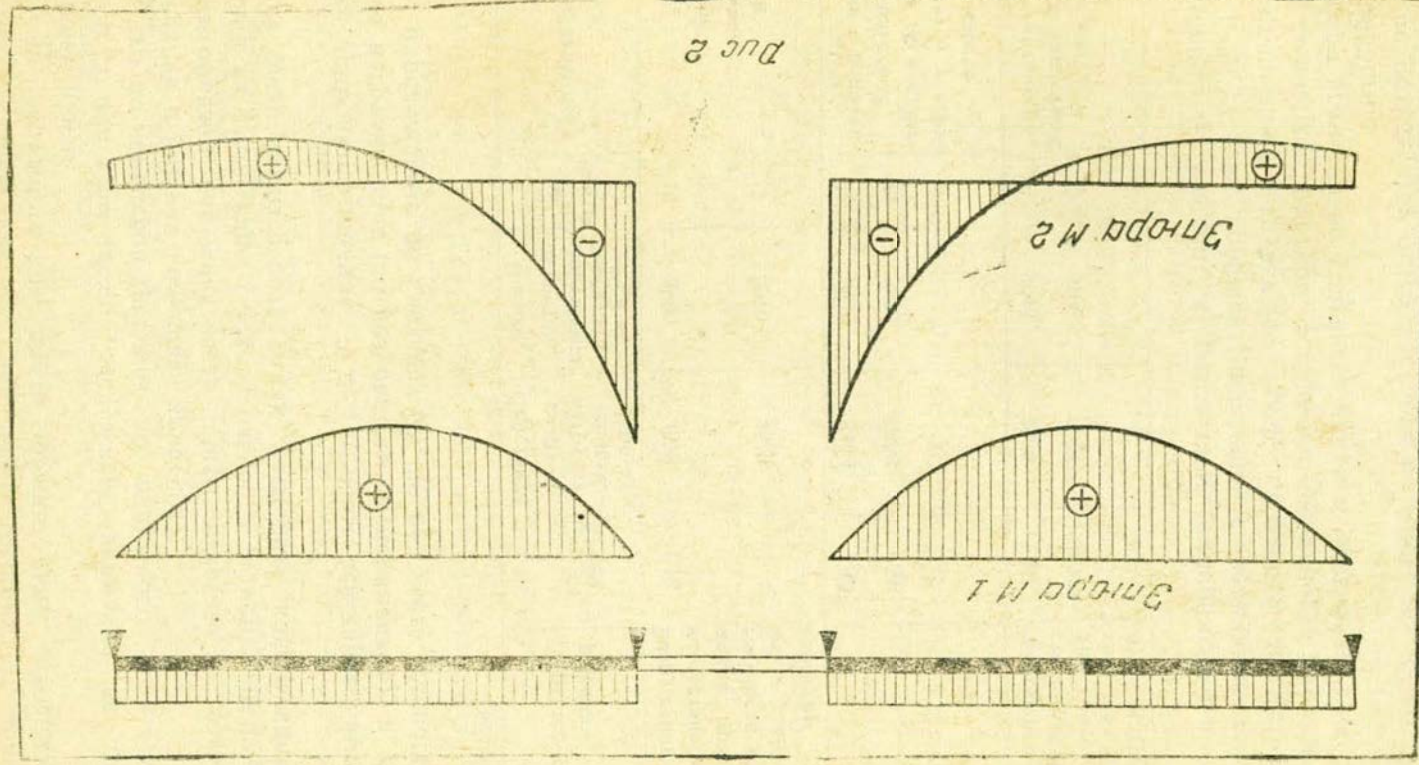
Ниже приводится таблица № 2, где даны действительные разрушающие нагрузки плит (по результатам экспериментов) и теоретические, определенные по Гвоздеву (2), но без учета распорности.

Таблица № 2

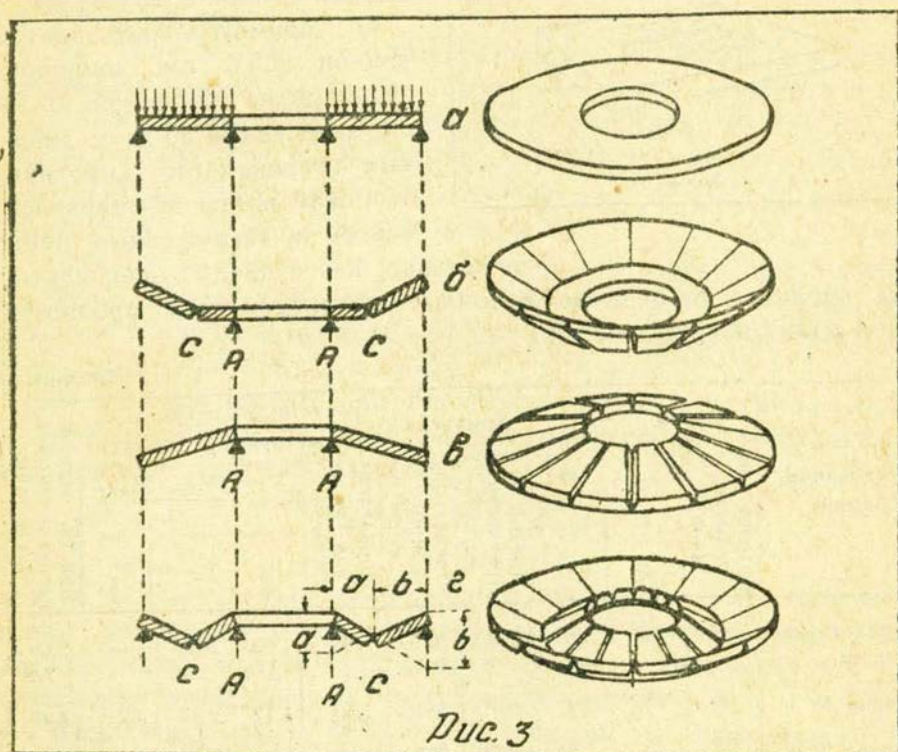
Тип плит	№ плиты	Полная теоретич. разрушающ. нагрузка R_T в кг	Действит. разруш. нагрузка действ. R_d в кг	$K = \frac{R_d}{R_T}$	Характер разрушения
Кольцевые с кольцевой и радиальной арматурой	16	3860	4573	1,18	Разрушение вследствие достижения предела текучести кольцевой и радиальной арматуры
	17	3970	4510		
Кольцевые с дополнительной кольцевой арматурой по внешнему периметру у верхней поверхности	22	3850	5528	1,40	—
	23	3870	5858	1,51	—
Кольцевые с кольцевой и радиальной арматурой обхваченные метал. обручем	24	3040	7288	2,40	Разрушение вследствие раздробления сжатого бетона по кольцевому сечению
	25	3100	7188	2,35	

Из таблицы № 2 видно: а) результаты экспериментов по плитам № 16 и № 17 дают хорошее совпадение с величиной теоретической разрушающей нагрузки (по проф. Гвоздеву); б) установка обручей и кольцевой арматуры, у верхней поверхности по наружному периметру значительно усиливает плиты и увеличивает их несущую способность.

Если по результатам опытов Гелера и Амоса не было четко видно возникновение распора, то в данном случае, как нам кажется, наличие распора не может вызвать сомнений. Если о рандбалках



можно сказать, что они усиливают плиту тем, что работают на изгиб и на кручение, то об обручах плит № 25 и № 26 ЦНИПС-а этого никак нельзя сказать.



Обручи могли увеличивать несущую способность плиты только работая на растяжение, т. е. сопротивляясь радиально направленному внутреннему распору, возникающему в плите. То же самое следует сказать и о дополнительной кольцевой арматуре плит № 22 и № 23.

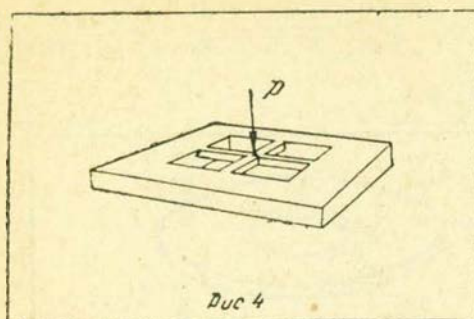
§ 4. *Опыты Томаса (1939 г.)*. В 1939 г. Ф. Г. Томасом (4) были опубликованы результаты очень интересных экспериментальных исследований.

Были испытаны:

1) 1 балка с заделанными концами, пролетом в свету в 182,8 см, толщиной (высотой) 10,16 см. и шириной 22,86 см, нагруженная сосредоточенной силой в центре пролета.

2) 2 крестовины (рис. 4), состоящие из монолитно между собой связанных балочек с размерами предыдущего образца, заделанные в мощную бетонную раму, нагруженные центрально. Рамы, в которые были заделаны крестовины, имели размеры поперечного сечения 25,4×75,2 см.

3) 2 квадратные плиты с размерами сторон 182,8 см. и толщиной 10,16 см, заделанные по всему контуру в мощную квадратную бетонную раму. Плиты нагружались сосредоточенной силой, прикла-



дываемой в их центре к металлической квадратной рас-
пределительной плитке с раз-
мерами сторон в 23×23 см.

4) 2 прямоугольные плиты
длиной 365,6 см, шириной
182,8 см и толщиной 10,16
см, заделанные по двум длин-
ным сторонам (по коротким
сторонам плиты не опирались
вовсе) и нагруженные цент-
рально, как и предыдущие плиты.

В таблице № 3 даны основные характеристики прочности
опытной балки и крестовин.

Таблица 3

Наименование образцов	Бетон			Ø	Арматура		Расчетные разрушающие нагрузки (в тоннах)				Действ. разруш. нагрузка (по опыту) в тон.
	Возраст при испытан. (дни)	R _и кг/см ²	Предел текучести кг/см ²		Предельное сопротив. кг/см ²	Определен. нам То. масом	$P_p = 4 \frac{(M_{пр} + M_{оп})}{L}$				
							P _p	P _p '	P _p "		
Балка, заделанная по концам	36	243	3/8*	2940	3910	1,66	1,80	2,35	—	2,60	
Крестовина № 1 ¹	36	252	3/8*	3010	3840	1,50	1,17	2,17	4,24	4,40	
Крестовина № 2	28	254	3/8*	2870	3950	1,45	1,66		4,21	4,25	

При определении разрушающих нагрузок по ф-ле

$$P_{раз} = \frac{4 (M_{пр} + M_{оп})}{L}$$

предельные пролетный и опорный моменты $M_{пр}$ и $M_{оп}$ определены по ОСТ 90003-38.

P_p и P_p' получены без учета распорности конструкции, приче P_p получен с учетом предела текучести в арматуре, а P_p' — с учетом временного сопротивления арматуры на разрыв; P_p'' получен с учетом распорности конструкции; при этом напряжение в арматуре принято равным пределу текучести.

Из таблицы № 3 видно, что действительные разрушающие нагрузки были значительно больше расчетных, определенных Томасом. Обратив на это внимание, Томас пишет (см. (4), стр. 19): „Теоретические величины (разрушающих нагрузок. Г. Григорян) определены из условия достижения предела текучести в опорной арматуре, увеличенная нагрузка в случае заделанной по концам балки

¹ В крестовинах нагрузка разделена пополам, для возможности сравнения с данными по заделанной по концам балке.

обычна и является результатом перераспределения моментов приведшего к достижению предела несущей способности в пролете. *Более значительное расхождение между действительными и расчетными величинами для крестовин, однако, непонятно* (курсив наш. Г. Григорян).

Из таблицы № 3 видно, что разрушающие нагрузки крестовин были намного выше даже (P_p') теоретически определенных в предположении разрыва всех растянутых стержней. Между тем, при испытании двух крестовин ни один стержень не был разорван. При учете же распорности (P_p'') получается отличное совпадение данных расчета с результатами опытов.

Поэтому значительное превышение прочности крестовин по сравнению с заделанной балкой следует объяснить тем, что здесь распорность проявляется более эффективно благодаря заделке крестовин в мощную бетонную раму.

Балка была заделана по концам в бетонные массивы, не связанные монолитно между собой. Здесь превышение действительной разрушающей нагрузки над расчетной на

$$\frac{2,60 - 1,80}{1,80} \times 100 = 44,5\%$$

следует объяснить также распорностью, но возникающей вследствие трения по поверхностям опирания балки, т. к. концы балки были плотно прижаты болтами к опорам. Заметим, что и в балке действительная разрушающая нагрузка превышает P_p' .

В указанной работе (4) имеется таблица, где приведены нагрузки, при которых были отмечены первые трещины. Из этой таблицы видно, что отставание в росте напряжений арматуры крестовин начинается с появлением первых трещин.

Ниже приводятся аналогичные данные по испытанным Томасом плитам.

Таблица № 4

Наименование образцов	Бетон		А р м а т у р а			Разрушающая нагрузка в тоннах			
	Возраст при испыт. (дни)	R призм	Ø	Предел текучести кг/см ²	Предел прочности кг/см ²	Расчетная, определен. Томасом	Действит. по данным опыта	Расчетная без учета распорности	
								P_p	P_p'
Квадратная плита № 1	36	258	3/8"	3120	4150	11,5	25,5	15,2	20,0
Квадратная плита №	36	254	3/8"	3090	4100	11,5	22,0	15,1	19,8
Прямоугольн. плита № 1	58	223	3/8"	3100	4030	10,8	18,4	13,9	17,9
Прямоугольн. плита № 2	49	248	3/8"	3100	3980	10,9	18,9	13,9	17,7

В таблице № 4 разрушающие нагрузки P_p и P_p' для квадратных плит определены кинематическим методом проф. А. А. Гвоздева—изложенным им в (2), при этом учтена текучесть растянутой арматуры (или разрыв) по наружному контуру плиты. Для прямоугольных плит P_p и P_p' означают то же, что и в таблице № 3. Для плит разрушающие нагрузки P_p'' —с учетом распорности, не приводятся, поскольку для прямоугольных плит (так же, как и для заделанной по концам балки, о которой шла речь выше) это не имеет смысла ввиду возможности смещения опор, квадратные же плиты разрушались не от изгиба, а от скалывания. Из таблицы № 4 видно, что и в плитах действительная разрушающая нагрузка превышает расчетную определенную без учета распорности, даже если учесть разрыв всех растянутых стержней, чего при испытании плит не было отмечено.

Т. о. приведенные экспериментальные исследования дают основание предполагать, что в изгибаемых элементах железобетонных статически неопределимых систем, появляется нормальная сила—распор, не учитываемый обычными методами строительной механики упругой системы. Хорошее совпадение разрушающих нагрузок опытных образцов, определенных в предположении появления продольной силы в них, с действительными разрушающими нагрузками, является косвенным доказательством появления продольной силы.

РЕЗЮМЕ

Проф. Гвоздевым А. А. дано теоретическое обоснование появления продольной силы (распора) в изгибаемых элементах железобетонных статически-неопределимых систем. Продольная сила (распор) появляется вследствие несовпадения нейтрального слоя изгибаемого элемента с геометрической осью, еще до появления трещин в растянутой зоне бетона, и вследствие несовпадения центров пластических шарниров с геометрической осью, в стадии разрушения. Обычные методы строительной механики упругой системы не учитывают этот распор, сильно изменяющий распределение усилий в системе. В ряде экспериментальных исследований наблюдалось весьма значительное несоответствие между действительными разрушающими нагрузками опытных образцов и расчетными разрушающими нагрузками, определенными без учета влияния распора на распределение разрушения. Разрушающие нагрузки опытных образцов, определенные автором в предположении появления продольной силы в них, достаточно хорошо совпадают с действительными разрушающими нагрузками, что является косвенным доказательством появления продольной силы. В другой статье, подготовляемой к печати, будут приведены результаты экспериментального исследования проведенного автором специально с целью выявления и непосредственного измерения этого распора в различных стадиях работы системы под нагрузкой и анализ его влияния на несущую способность конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

Gehler W. und Amos unter Mitwirkung von M. Bergsasser. Versuch mit Kreuzweise bewehrten Platten. Deutscher Ausschuss für Eisenbeton, Heft 70. Berlin. 1932.

2. Гвоздев А. А. Обоснование § 33 норм проектирования железобетонных конструкций. „Строительная Промышленность“, 1939 г., № 3.

3. Его же. Определение величины разрушающей нагрузки для статически неопределимых систем, претерпевающих пластические деформации. (Труды конференции по пластическим деформациям, 1938 г.)

4. Thomas. The Strength and Deformation of Some Reinforced Concrete Slabs Subjected to Concentrated Loading. Studies in Reinforced Concrete. VIII, London, 1939.

Դ. Ս. Կրիգորյան

ԸՆԴԵՐԿԱՅՆԱԿԱՆ ՈՒԺՆ ՍՏԱՏԻԿՈՐԵՆ-ԱՆՈՐՈՇ ԵՐԿԱԹԲԵՏՈՆՅԱՍԻՍԵՄՆԵՐԻ ԾՌՎՈՂ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐԻ ՄԵԶ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Պրոֆ. Ա. Ա. Գվոզդեվը տվել է երկաթբետոնյա ստատիկորեն-անորոշ սիստեմների ծովող էլեմենտների մեջ ընդերկայնական ուժի առաջացման տեսական հիմնավորումը: Ընդերկայնական ուժն առաջանում է ղեռնածովող էլեմենտի ձգվող մասում ճաքեր առաջանալուց առաջ, չեղոք շերտի էլեմենտի երկրաչափական առանցքի հետ չհամընկնելու հետևանքով, իսկ քանդման փուլում՝ պլաստիկ շարնիրների կենտրոնները էլեմենտի երկրաչափական առանցքի հետ չհամընկնելու հետևանքով: Շինարարական մեխանիկայի սովորական մեթոդները հաշվի չեն առնում այդ ընդերկայնական ուժը, որը, սակայն, խիստ մեծ ազդեցություն կարող է ունենալ սիստեմի ներքին ուժերի բաշխման վրա: Մի շարք փորձնական հետազոտություններում նկատվում էր զգալի տարբերություն իրական քանդող բեռնվածությունների և հաշվային քանդող բեռնվածությունների միջև, որոնք ստացվում էին առանց հաշվի առնելու ընդերկայնական ուժի ազդեցությունն ուժերի բաշխման վրա՝ քանդման փուլում:

Այդ աշխատություններում հետազոտված փորձնական նմուշների հաշվային քանդող բեռնվածությունները, որոնք հաշվի են առնում ընդերկայնական ուժի առկայությունը, հաջող կերպով համընկնում են իրական քանդող բեռնվածությունների հետ: Այդ հանդիսանում է ընդերկայնական ուժի առաջացման կողմնակի ապացույց: Մի այլ աշխատությունում, որը պատրաստվում է տպագրության, կտրվեն հեղինակի կողմից հատկապես ընդերկայնական ուժի հայտաբերման և նրա անմիջական չափման համար կատարված փորձնական հետազոտության արդյունքները:

G. S. Grigorian

Thrust in Reinforced Concrete Members Inbending of
Statically Indeterminate Systems

S u m m a r y

Prof. Gvosdev A. A. has stated a theoretical basis for the occurrence of a longitudinal force (thrust) in reinforced concrete members in bending of statically indeterminate systems. The longitudinal force (thrust) appears in consequence of non-coincidence of the members neutral layer in bending with the geometrical axis still before the appearance of the cracks in the concrete tension zone and in consequence of non-coincidence of the plastic hinge centers with the geometrical axis in the failure stage. The commonly used structural mechanics methods for elastic systems do not take into account this forces, which in a high degree changes the stress distribution. In a series of experimental investigations a considerable disagreement has been stated between the failure load of test samples and the design failure loads definite without taking into consideration the effect of thrust on the stress distribution in the failure stage. The failure loads of test samples defined by the author supposing the appearance of a longitudinal force in them agree well enough with the actual failure loads, what is an indirect proof for the longitudinal force appearance. In an other article to be published the results of experimental investigations carried out by the author with the special purpose to discover and measure this longitudinal force at different working stages of the system under load and to analyse its effect on the structure load carrying capacity will be given.

ТЕХНОЛОГИЯ

Х. О. Геворкян

О поведении цементного камня при нагревании

Некоторые строительные сооружения во время их эксплуатации находятся под действием высоких температур; так, например, фундаменты промышленных печей, заводские дымовые трубы, газоходы для горячих газов и т. п. Для возведения подобных сооружений необходимо знание поведения затвердевшего цемента при нагревании, т. к. этим решается возможность применения обычного п.-цементного бетона, в зависимости от температурных условий, в которых будет находиться сооружение.

По этой причине в строительном деле уже в течение нескольких десятилетий этот вопрос является предметом исследований.

Для керамической технологии вопрос изменений цементного камня при нагревании является сравнительно новым вопросом, который приобретает значительный интерес в связи с расширением областей применения гидравлически твердеющих огнеупорных материалов.

Нижеописываемые опыты, проведенные в данной работе, были поставлены в связи с получением некоторых керамических материалов на цементной связке. Учитывая, что последний, в условиях эксплуатации, будет подвергаться высоко-температурному нагреву, нам прежде всего необходимо было опытным путем установить физико-механические изменения цементного камня при нагревании. Цементный камень, представляющий продукт твердения цементного теста, образуется в результате весьма глубоких физических и химических изменений п.-цемента. Более полувека длится научная полемика о процессах твердения портланд-цемента; за этот период времени большое число научных исследований, посвященных этому вопросу, значительно обогатили наши представления о тех сложнейших процессах разрушения, возникновения и превращения минералов портланд-цемента, в результате которых образуется цементный камень. Одновременно следует отметить, что все еще нет вполне общепринятых представлений по этому вопросу.

В данной работе не будут рассмотрены спорные вопросы химии цемента, безусловно представляющие большой научный и прак-

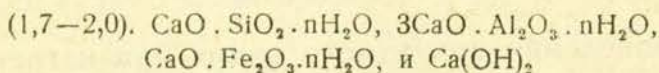
тический интерес. Здесь необходимо лишь только привести из этой области некоторые общие выводы, связанные с рассматриваемым вопросом (не считая эти выводы окончательными и бесспорными).

Эти выводы сводятся к следующему:

1. В первый период твердение портланд-цемента обусловливается главным образом возникновением коллоидных веществ, позже преобладают процессы кристаллизации.

2. В структуре затвердевшего портланд-цементного теста имеются как коллоидные образования, так и кристаллы.

3. Силикаты и алюминаты, образующие портланд-цемент, в результате процессов гидратации и гидролиза образуют следующие водные соединения:



Во время нагревания цементного камня вышеперечисленные водные соединения подвергаются дегидратации, что в сильной степени отражается на физико-механических свойствах цементного камня.

К. Эндель (1) изучал изменения затвердевшего цемента при нагревании до различных температур.

Определением потери веса при нагревании до 100°, 200°, 300°, 500°, 700° и 1000° им была построена кривая обезвоживания, причем выяснилось, что даже при 700° полного обезвоживания не происходит.

Кроме того *К. Эндель*, с целью установления температурной области интенсивного обезвоживания, получил температурные кривые нагревания, которые показали:

а) наличие теплового эффекта при 100°, показывающего выделение связанной воды;

б) второй тепловой эффект при 530°, соответствующий дегидратации гидроокиси кальция.

В этой же работе приведены результаты измерений объемных изменений цементного камня, причем было установлено, что уже при 200° цементный камень дает усадку, в то время как кварцосодержащие заполнители в бетоне показывают расширение при 575°, вследствие превращения α -кварца в β форму.

В другой работе *Будников П. П. и Ильин Д. З.* (2) приводят результаты подробных исследований изменений свойств некоторых цементов после нагревания при температурах 100°, 200°, 300°, 400° и 500°, на основании которых они сделали следующие выводы:

1. Нагревание цементных образцов до 500° неодинаково влияет на временное сопротивление раздавливанию и растяжению.

2. Временное сопротивление раздавливанию портланд-цемента, шлако-портланд-цемента и бесклинкерского цемента, хотя и начинает снижаться после 200°—300°, все же при 500° эти цементы имеют

еще прочность больше начальной, почему и они могут применяться в сооружениях, прогреваемых до 500° и работающих на сжатие.

3. Временное сопротивление растяжению цементов при нагревании до 500° теряет значительную часть начальной величины.

4. Глиноземистые цементы снижают свою прочность и на сжатие и на растяжение больше, чем другие виды исследованных цементов.

5. Цементы при нагревании расширяются до $100-200^{\circ}$, а затем уменьшаются в объеме и дают усадку. Наибольшую усадку дают глиноземистые цементы, наименьшую — бесклнкерные цементы.

По мнению *Будникова П. П.* и *Ильина Д. З.* более повышенная прочность портланд-цемента, после нагрева до 500° объясняется тем, что наряду с усадкой цемента происходит увеличение объема песка, что способствует уплотнению бетона, а следовательно и повышению прочности на сжатие. Правильность такого объяснения вызывает сомнение, т. к. данные многих исследований показывают повышение прочности, так же и в случае нагревания затвердевшего цементного теста (без заполнителей). Если по *Будникову* причиной повышения прочности является расширение и уплотнение заполнителя, то как же объяснить тогда повышение прочности, в случае отсутствия заполнителя.

Нам кажется, что главной причиной изменения прочности камня являются не объемные изменения, а физико-химические изменения тех соединений, которые составляют цементный камень и обуславливают его механическую прочность.

Что нагревание затвердевшего цемента в области сравнительно невысоких температур не вызывает падения прочности, это мнение высказано многими исследователями.

Так проф. *Философов П. С.* (3) считает, что лишь выше 500° происходит значительное падение прочности.

По *И. Е. Гурвичу* (4) (5) до 500° прочность портланд-цемента превышает первоначальную, при 600° на $20-30\%$ меньше, при $800-900^{\circ}$ она составляет $20-30\%$ первоначальной прочности, а выше 1000° снова наблюдается повышение прочности. Далее *И. Е. Гурвич* установил, что образцы, оставленные после обжига на воздухе, показывают резкое падение прочности.

В отличие от вышеописанных работ *Грюн* (6) наблюдал падение прочности портланд-цемента уже при 300° , а при 500° прочность падает на 35% .

В работе *К. Д. Некрасова* (7), опубликованной в 1943 году, подвергались испытаниям бетоны на портланд-цементе с шамотным заполнителем (состав бетона 1:1:2). После обжига до 800° и дальнейшего хранения на воздухе в течение 7 суток прочность такого бетона по сравнению с первоначальной составляет 44% .

Вышеприведенные и некоторые другие исследования влияния нагрева на цементный камень дают неодинаковые, а иногда даже

противоречивые выводы. Это объясняется прежде всего неоднородностью условий опытов в работах разных авторов.

Учитывая эти расхождения, имеющиеся в некоторых исследованиях, в данной работе были поставлены нижеописываемые опыты для выяснения некоторых вопросов поведения цементного камня при нагревании.

Следует отметить, что поставленные нами опыты не имели целью выяснение всех сложных вопросов, связанных с нагреванием затвердевшего цементного теста. В данной работе рассматриваются лишь только те вопросы, которые переплетаются с проблемой получения огнеупорных изделий на портланд-цементной связке, оставляя в стороне некоторые весьма интересные явления, не имеющие непосредственной связи с главной целью данной работы.

Для выполнения опытов применяли п.-цемент, полученный из Давалинского цементного завода.

Предварительно были определены приведенные в таблице 1 характеристики цемента.

Таблица 1

Удельный вес	3,13
Нормальная густота	27%
Начало схватывания	1 ч. 55 м.
Конец схватывания	5 ч. 10 м.
Временное сопротивление сжатию (ускоренным испытанием)	195 кг/кв. см

В таблице 2 приведены результаты химического анализа цемента.

Таблица 2

Наименование окислов	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₂	Fe ₂ O ₃	п. п. п.	Влага при 105°
% содержания	21,4	0,12	8,7	56,92	2,98	1,90	2,98	2,56	1,08

Из теста нормальной густоты были изготовлены кубики размером 3×3×3 см, которые в нормальных условиях хранились в воде, для окончания процессов твердения в течение 28 дней. После окончания водного твердения образцы подвергались обжигу до разных температур в лабораторной электропечи. Скорость нагрева 3° в минуту, и выдержка при максимальной температуре в течение четырех часов. Температура измерялась при помощи платино-родиевой термопары с точностью $\pm 10^\circ$.

После обжига для всех образцов определяли объемные веса, удельные веса и пористость (см. табл. 3).

Таблица 3

Температура обжига	Объемный вес (гр/кб. см)	Удельный вес	Истинная пористость в %
Необожжен.	1,82	—	—
105°	1,69	2,515	32,80
200°	1,66	2,536	34,54
2·0°	1,62	2,535	36,11
300°	1,58	—	38,09
450°	1,51	2,760	45,29
550°	1,54	2,815	45,28
600°	1,53	2,894	47,14
700°	1,58	3,144	49,75
750°	1,57	3,175	50,55
800°	1,58	3,207	52,29
850°	—	3,154	—
950°	1,58	3,187	51,99
1000°	1,51	3,121	51,65
1050°	1,49	3,136	52,48
1150°	1,53	3,125	51,04

Приведенные в таблице 3 данные представляют средние значения из трех параллельных измерений.

Все измерения выполнялись в соответствии с методами, принятыми в керамических испытаниях. При определении удельного веса в качестве жидкости для пикнометра применяли ксилол.

Далее для обожженных образцов были определены временное сопротивление на сжатие и потери при прокаливании (см. табл. 4).

Таблица 4

Температура обжига	Потери при прокаливании в %	Временное сопротивл. сжатию (кг/кв. см)
Необожжен.	26,60	302,0
105°	13,96	354,6
200°	9,05	367,5
250°	9,38	332,4
300°	8,24	296,3
450°	5,02	299,0
550°	3,56	307,4
600°	2,50	275,7
650°	2,68	231,8
700°	1,02	167,1
750°	1,14	77,2
800°	0,14	36,2
850°	0,36	40,3
950°	—	46,5
1000°	—	59,9
1050°	—	59,0
1150°	—	111,4

Из данных таблицы 4 следует, что значительная часть воды удаляется уже при нагревании в области 105° . Далее некоторая небольшая часть воды удаляется постепенно по мере повышения температуры обжига, затем процесс обезвоживания ускоряется при 550° , что соответствует дегидратации гидроокиси кальция, и наконец некоторая небольшая часть воды прочно удерживается выше 650° и окончательное обезвоживание происходит при 1000° .

Из данных таблицы 3 следует, что в соответствии с процессом обезвоживания происходит повышение пористости, причем процесс повышения пористости по существу заканчивается при 750° . Начиная от 750° до 1150° пористость практически остается без изменения, это указывает на следующее:

а) Незначительное обезвоживание выше 750° не отражается на величину пористости.

б) Процесс спекания связан с уплотнением массы, а т. к. в исследуемой температурной области по мере нагревания уплотнения не происходит (объемный вес не повышается), то можно сделать заключение, что при нагреве до 1050 — 1150° спекания еще не происходит. Таким образом наблюдаемое при этом изменение удельного веса может быть объяснено лишь только возникновением новых кристаллических образований в результате реакций в твердом состоянии.

в) Нарастание механической прочности, начиная от 850° , так же может быть объяснено двумя явлениями, или процессом спекания или же реакциями в твердом состоянии. Т. к. возможность спекания в этой температурной области исключается, то единственным возможным объяснением нарастания механической прочности является наличие реакций в твердом состоянии, при нагревании обезвоженного цементного камня.

Для данной работы представляет значительный интерес выяснение наличия реакций в твердом состоянии при нагревании цементного камня, т. к. это дает возможность объяснить некоторые явления, наблюдаемые при нагревании керамической массы, содержащей п.-цемент.

Из данных таблицы 3 следует, что также и объемный вес изменяется лишь до температуры 750° . Изменение удельного веса, как можно видеть из данных таблицы 4, протекает в соответствии с процессом обезвоживания. В результате выделения воды снова образуются безводные силикаты и алюминаты, в соответствии с чем имеет место повышение удельного веса.

Значительное понижение механической прочности (см. табл. 4) начинается с 600° и резкое падение прочности после 750° . Наименьшая прочность получается при 800° , после чего дальнейшее повышение температуры снова вызывает нарастание прочности, причем это нарастание прочности, как выше было отмечено, повидимому есть результат реакций в твердом состоянии.

Помимо последнего обстоятельства, в данной работе, для при-

менения цемента в качестве компонента керамической массы, имеет весьма существенное значение также и следующее обстоятельство: как следует из данных таблицы 4, при нагревании цементного камня хотя и происходит значительное понижение прочности, однако всегда цементный камень сохраняет некоторую часть своей механической прочности, вероятно достаточной для невысоких сжимающих усилий, которые действуют на огнеупорный кирпич в кладке, во время эксплуатации.

Вышеприведенные выводы связываются с применением цемента в огнеупорных массах.

Наряду с этим, по вопросу о поведении цементного камня при нагревании, в настоящей работе были сделаны и некоторые общие выводы, которые представляют интерес не только для керамической технологии, но и для строительного дела.

Эти выводы сводятся к следующему:

1. Нагревание при сравнительно низких температурах—100—200° вызывает удаление значительной части химически связанной воды.

2. Удаление воды из гидроксиды кальция происходит при 530—550°.

3. До температуры 200—300° происходит повышение прочности цементного камня. Это может быть объяснено как уплотнением последнего, так и интенсивной кристаллизацией его составных частей, в частности гидроксиды кальция.

4. При нагревании затвердевших цементов до 200° происходит их тепловое расширение, а при дальнейшем нагревании уменьшение объема (усадка).

5. При температурах около 550° наблюдается некоторое повышение прочности цементного камня против первоначальной величины.

6. Нагрев выше 550° вызывает значительное понижение прочности цементного камня, причем резкое падение прочности происходит при 750°.

7. В области 850—900° цементный камень имеет наименьшую прочность.

8. Нагрев выше 900° вызывает нарастание прочности в результате реакций в твердом состоянии, которые имеют место составными частями обезвоженного цементного камня.

9. Во всем температурном интервале нагревания до 1150° всегда цементный камень сохраняет некоторую, хотя и небольшую часть своей первоначальной прочности.

10. До 1150° в цементном камне еще не начинаются процессы спекания.

Р е з ю м е

1. В данной работе выполнены опыты по исследованию поведения цементного камня при нагревании.

2. Определены температурные границы обезвоживания цементного камня.

3. Определены температурные области резких изменений механической прочности цементного камня при нагревании.

4. Установлено повышение механической прочности в некоторой температурной области, в результате реакций в твердом состоянии.

5. Сделаны общие выводы о физико-механических изменениях цементного камня при нагревании.

Институт Строительных материалов и
Сооружений Академии Наук Арм ССР

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. K. Endell—„Ueber die Einwirkung hoher Temperaturen auf erhärteten Zement, Zuschlagstoffe und Beton“. Zement, 1926, 15 Jahrgang, № 11.

2. П. П. Будников и Д. З. Ильин—„Влияние нагревания гидравлических цементов на их механические свойства“. Цемент, 1937, № 7.

3. П. С. Философов—Строительные материалы, изд. 1931, стр. 154.

4. И. Е. Гуревич—„О влиянии нагревания гидравлических цементов на их механические свойства“ Цемент, № 12, 1938.

5. И. Е. Гуревич—„Об огнестойких бетонах“. Строительная промышленность, № 7, 1935 г.

6. R. Grun und Hugo Beckmann—„Verhalten von Beton bei hohen Temperaturen und Besonderer Berücksichtigung von hochofenschlackenhaltigen Beton“. Stahl und Eisen, 1930, № 24.

7. К. Д. Некрасов—„Жаростойкие бетоны как заменители огнеупоров“, Центральный Н.-И. Институт промышленных сооружений; Сообщение 46. 1943.

Խ. Օ. Գեվորգյան

ՑԵՄԵՆՏԱՅԻՆ ՔԱՐԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ՏԱՔԱՑՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Որոշ շինարարական կառուցվածքներ շահագործման ընթացքում ենթարկվում են տաքացման: Այդ կապակցությամբ անհրաժեշտ է իմանալ, թե ինչպես է փոխվում ցեմենտային քարը տաքացման ժամանակ: Ցեմենտային քարի ֆիզիկո-քիմիական փոփոխությունները բարձր ջերմաստիճանի պայմաններում հետաքրքրություն են ներկայացնում նաև այն կապակցությամբ, որ այժմ ցեմենտային քարը հաճախ հանդիսանում է հիդրավիկ ամրացող հրակայուն նյութերի բաղադրիչ մասը:

Ելնելով վերոհիշյալից, կատարված է ներկա աշխատանքը, որի նպա-

տակն է փորձնականորեն ուսումնասիրել ցեմենտային քարի փոփոխությունները տաքացման ժամանակ.

1. Որոշված են ցեմենտային քարի դեֆորմացիայի ջերմաստիճանի սահմանները:

2. Որոշված է ջերմաստիճանի այն շրջանը, որում տաքացման ժամանակ կատարվում են ցեմենտային քարի մեխանիկական ամրությունում լինող փոփոխություններ:

3. Տեսլիք է տրվում, որ ջերմությունն որոշ սահմաններում (900° -ից բարձր) ցեմենտային քարի մեխանիկական ամրությունն աճում է այն ռեակցիաների հետևանքով, որոնք տեղի են ունենում պինդ վիճակում:

4. Արվում են ընդհանուր եզրակացություններ այն ֆիզիկո-մեխանիկական փոփոխությունների մասին, որոնք տեղի են ունենում ցեմենտային քարի տաքացման ժամանակ:

Ch. O. Gevorkian

The Behaviour of Cement-Stone at heating

Summary

1. Experiments to investigate the behaviour of cement-stone have been carried out.

2. The temperature-limits of cement-stone have been determined.

3. The temperature zones of rough mechanical strength changes of cement-stone at heating have been stated.

4. A mechanical strength increase has been stated within a certain temperature zone as reaction result in a solid state.

5. General conclusions have been made concerning physical-mechanical changes of cement-stone at heating.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

	Մաթեմատիկա	Էջ
Ա. Գ. Նազարով—Ն. Մ. Գերսեհանովի ֆունկցիոնալ ընդհատիչները և իմպուլսիվ ֆունկցիաները		3
	Հիդրոլոգիա	
Ե. Ջ. Սաֆարյան—Ջրային մակերևույթից գոլորշիացման որոշման նոր մեթոդ		7
	Հիդրոսեյսմոլոգիա	
Ս. Յա. Վարդապետով—Աղիների անցկացնելը հիդրոկայարանների տուրբինների և խողովակաշարերի միջով		31
	Էլեկտրոսեյսմոլոգիա	
Գ. Ի. Աթաբեկով—Կայունացվող պրոցեսը էլեկտրական ֆիլտրի մուտքում		49
	Կառուցումների ռեսուրսներ	
Դ. Ս. Գրիգորյան—Ընդերկայանական ուժը ստատիկորեն-անորոշ երկաթ-բետոնյա սիսեմների ծավալ էլեմենտների մեջ		57
	Ցեխնոլոգիա	
Խ. Հ. Գեվորգյան—Ցեմենտային բարի փոփոխելիականները տաքացման ժամանակ		69

С о д е р ж а н и е

	Математика	Стр.
А. Г. Назаров—Функциональные прерыватели Н. М. Герсевича и импульсивные функции		3
	Гидрология	
Е. Д. Сафарян—Новый метод определения величины испарения с водной поверхности		7
	Гидротехника	
С. Я. Вартазаров—К вопросу пропуска шуги через турбины и трубопроводы гидроэлектростанций		31
	Электротехника	
Г. И. Атабеков—Устанавливающийся процесс на входе электрического фильтра		49
	Теория сооружений	
Г. С. Григорян—Распор в изгибаемых элементах железобетонных статически-неопределимых систем		57
	Технология	
Х. О. Геворкян—О поведении цементного камня при нагревании		69

CONTENTS

Mathematics

- A. G. Nazarov—The N. M. Gersevanov's Functional Interruptors and the Impulsive Functions 3

Hydrologie

- E. G. Safarian—New Method of calculation of Evaporation from water Surface. 7

Hydrotechnik

- S. I. Vartazarov—To the Question of Transportation of Frazil-ice through Penstocks and Turbines of Hydroelectric Stations 31

Elektrotechnik

- G. L. Athabekov—Sustaining process on the Electric Filter Entranse. 49

Theory of constructions

- G. S. Grigorian—Thrust in Reinforced Concrete Members Inbending of Statically Indeterminate Systems. 57

Technology

- Ch. O. Gevorkian—The Behaviour of Cement-Stone at heating 69

ԽՈՐՀԱՆԳՐԱԿԱՆ ԿՈՒԵՂԻՒՄ

Վ. Դ. Ազատյան (պատ. խմբագրի տեղակալ), Ա. Գ. Արարատյան, ՀՍՍՌ ԳԱ իսկական անդամ Ի. Վ. Եղիազարով, ՀՍՍՌ ԳԱ իսկական անդամ Մ. Գ. Թումանյան (պատ. խմբագիր), ՀՍՍՌ ԳԱ իսկական անդամ Կ. Ն. Պաֆենգոլց:

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В. Д. Азатян (зам. ответ. редактора), А. Г. Араратян, действительный член АН Арм. ССР И. В. Егиазаров, действительный член АН Арм. ССР К. Н. Паффенгольц, действительный член АН Арм. ССР М. Г. Туманян (ответ. редактор).

Պրակի պատ. խմբագիր՝ Վ. Դ. ԱԶԱՏՅԱՆ

Ответ. редактор выпуска В. Д. АЗАТЯН