

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՐԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈՒՆԴԻՒՄ

Այսինքն Շ. Տ., Ալեխանյան Վ. Վ., Նիկողոսյան Ի. Վ., Կասյան
Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Նազարով Ա. Գ., Սիմոնով Մ. Զ.,
Փինաձյան Վ. Վ. (պատ. խմբագիր տեղակալ)։

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Адонц Г. Т., Алексеевский В. В., Егизаров И. В., Касьян
М. В. (ответ. редактор), Назаров А. Г., Пинаджян В. В.
(зам. отв. редактора), Симонов М. З.

ЭНЕРГЕТИКА

Г. Т. АДОНИ

ВОПРОСЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ЭНЕРГОСИСТЕМ*

1. *„Математизация“* самых различных отраслей знания является одной из характерных черт современной науки и техники. Говоря о математизации, имеют ввиду задачу построения так называемых математических моделей конкретного объекта или системы. Различают два понятия математического моделирования. Первое из таких понятий связывается с описанием при помощи математических уравнений или вероятностных законов процессов, имеющих место в данной системе. На основе таких моделей разрабатываются алгоритмы и соответствующие программы исследования и управления системы с помощью цифровых машин различного класса и назначений. Второе понятие математического моделирования связывается с разработкой и построением машин аналогового действия, на которых воспроизводятся в форме аналогов структура и соответствующие процессы исследуемой системы.

В настоящем докладе, посвященном вопросам математического моделирования энергосистемы, имеются ввиду оба эти понятия.

2. *Энергосистема* относится к категории очень сложных систем, имея ввиду большое число взаимосвязанных ее элементов и весьма сложный характер функциональных зависимостей, при помощи которых должны быть описаны ее режимы. Например, под Закавказской энергосистемой понимается совокупность всех тепловых и гидроэлектростанций, трансформаторных подстанций, электрических нагрузок промышленных предприятий, городов и сел, связанных между собой линиями электропередач самых различных напряжений — вплоть до 330 киловольт, расположенных на всей территории Закавказья.

В составе ряда энергосистем СССР, Европы и Америки появились также атомные электростанции. Согласно американским разработкам** перспективы развития энергетики, в 2000 году половина всей генерируемой в энергосистемах США электроэнергии будет получена за счет атомных электростанций.

* Доклад, прочитанный 16.III.66 г. на общем собрании Академии наук Армянской ССР.

** Эмма Ю. С. Перспективы применения напряжения 1100 кВ в США, „Энергохозяйство за рубежом“, № 1, 1966.

Чтобы иметь весьма упрощенное представление о величинах концентрации энергии в современных энергосистемах условимся принять за единицу величину электроэнергии, генерируемую всеми шестью гидроэлектростанциями Севана-Разданского каскада. При этом условии энергия, которая будет получена в 1970 г. в Закавказской энергосистеме, будет равна порядка 45 единицам.

3. *Под оптимизацией режимов энергосистемы* понимается расчет с целью выбора такого ее режима, при котором достигается минимум стоимости всех издержек, связанных с генерированием, передачей и потреблением энергии, т. е. достигается минимум расхода топлива на всех тепловых станциях, минимум потерь энергии в сетях, рациональное использование вод на гидростанциях и энергии у потребителей. Задача расчета оптимального режима энергосистемы связана также с выбором наиболее выгодных вариантов перспективного развития энергосистем и объединений, в частности, выбором мест и мощности генерирующих, преобразующих, передающих и потребляющих элементов системы. Задача оптимизации и управления режимами энергосистем относится к числу наисложнейших, но в то же время является экономически весьма выгодной. Например, если технико-экономический эффект, который может быть достигнут в результате оптимизации Закавказской энергосистемы, окажется в пределах хотя бы половины процента от ее генерируемой мощности, то величина экономии достигнет одной четверти всей энергии, получаемой на шести гидроэлектростанциях Севано-Разданского каскада (1970 г.).

1. Состав и характер уравнений режимов энергосистем

Число совместно-решаемых различного класса и вида уравнений для определения режима исследуемой энергосистемы составляет несколько сотен. В качестве иллюстрации приведем следующие уравнения.

1. *Уравнения генераторного узла энергосистемы:* а) уравнения магнитно-связанных контуров явиполюсной синхронной машины [1], приведенные к виду, удобному для математического моделирования [2] с помощью аналоговых машин:

$$1. p\dot{\psi}_d + \dot{\psi}_d + r_d U_d + s\dot{\psi}_d = U \sin \theta$$

$$2. p\dot{\psi}_q - \dot{\psi}_d + r_q U_q - s\dot{\psi}_q = U \cos \theta$$

$$3. p\dot{\psi}_r + r_r U_r = r_r e_r$$

$$4. p\dot{\psi}_D + r_D U_D = 0$$

$$5. p\dot{\psi}_Q + r_Q U_Q = 0$$

$$6. \dot{\psi}_d = U_d + U_r + U_D$$

$$7. \dot{\psi}_q = U_q + U_Q$$

$$8. \dot{\psi}_r = r_d U_d + U_r + g_1 U_D$$

$$9. \dot{\psi}_D = r_q U_q + U_D + g_2 U_r$$

$$10. \dot{\psi}_Q = r_q U_q + U_Q.$$

(1a)

Обозначения, принятые в уравнениях, приводятся в конце статьи.

б) Уравнения регулятора возбуждения синхронной машины.

$$11. -\omega_c T_{ep} e_a = e_n + k_1 U$$

$$12. \omega_c T_r p e_r = k_2 e_n - e_r \quad (16)$$

в) Уравнения движения ротора гидрогенераторного агрегата [1, 3]

$$13. Cps = M_m - M_s$$

$$14. M_s = \frac{1}{x_d} \psi_d U_d - \frac{1}{x_q} \psi_q U_q$$

$$15. M_m = \mu + a_1 s + a_2 h \quad (1в)$$

$$16. s = p\delta$$

г) Уравнения регулятора с издромной обратной связью гидрогенераторного агрегата [4]

$$17. \delta \ddot{\tau} + s + \delta \dot{\tau} = 0$$

$$18. \omega_c T_p p \tau = \tau$$

$$19. \omega_c T_1 p \dot{\tau} + \xi - \omega_c T_1 \beta p \tau - k_3 \tau = 0 \quad (1г)$$

д) Уравнения расхода воды и напора трубопровода гидроэлектростанции [5]

$$20. \Phi^2 T_m p^3 q + 3\Phi^2 \omega_c p^2 h + 4\pi^2 T_m \omega_c^2 p q + 4\pi^2 h \omega_c^3 = 0$$

$$21. h = 2(q_1 - \mu). \quad (1д)$$

2. Уравнения нагрузочного узла энергосистемы: а) Уравнения синхронного привода имеют вид (1а) и (1в), общим числом 14, за исключением, выражений M_m , в качестве которых могут быть взяты [6], например:

$$M_m = \sum_{k=0}^n M_{k,c} \cos \Omega k t + \sum_{k=1}^n M_{k,s} \sin k \Omega t,$$

или

$$M_m = M_0 + (M_1 - M_0)(1 - s) \text{ и т. д.} \quad (2а)$$

б) Уравнения асинхронного привода [7]

$$p\dot{\psi}_d + \psi_d + p_d U_d = U \sin \theta$$

$$p\dot{\psi}_q - \psi_q + p_q U_q = -U \cos \theta$$

$$p\dot{\psi}_D - s\dot{\psi}_Q + p_D U_D = 0$$

$$p\dot{\psi}_Q - s\dot{\psi}_D + p_Q U_Q = 0 \quad (2б)$$

а также уравнения: (6), (7), (9), (10) из группы (1а) и (13)–(16) группы (1в).

В качестве M_m могут быть взяты, например, (2а) и др.

3. Уравнения установившегося режима многополюсника, эквивалентного схеме электрических сетей любой структуры и сложности [8]

$$Y_{km} \dot{U}_k = j_m \quad (k, m = 1 + n)$$

$$P_m = U_m \sum_{k=1}^n U_k y_{k,m} \cos(\psi_{km} + \varphi_{km})$$

$$Q_m = U_m \sum_{k=1}^n U_{kykm} \sin(\varphi_{km} + \varphi_{km})$$

$$P_m + jQ_m = U_m I_m \quad \varphi_{km} = \varphi_m - \varphi_k$$

$$\dot{U} = Ue^{j\omega t} \quad Y = ye^{-j\omega t} \quad (3)$$

Таким образом, при числе эквивалентных генераторных узлов энергосистемы равном 20, числе нагрузочных узлов равном 20 и представлении электрических сетей системы $n+1$ — полюсником ($n=40$) число подлежащих совместному решению уравнений вида (1), (2), (3), для определения режима энергосистемы, достигает тысячи, в том числе несколько десятков нелинейных дифференциальных уравнений. Очевидно, решение такой задачи представляет исключительную трудность даже для современных цифровых машин.

II. Некоторые задачи, связанные с оптимизацией режимов энергосистемы

Общая задача оптимизации режимов гидротепловой энергосистемы пока не решена и находится в стадии развития. Существуют решения для ряда частных случаев этой задачи. К этому числу относятся, например, следующие задачи:

1. *Оптимизация режимов тепловой энергосистемы* с обеспечением минимума расхода топлива на станциях и потерь активной мощности в сетях.

Система расчетных уравнений состоит из: а) Уравнений равенства относительных приростов

$$\varepsilon_m = \mu \left(1 - \frac{\partial \pi}{\partial P_m} \right) \quad (m = 1, 2, \dots, r), \quad (4a)$$

где ε_m — функция относительных приростов расхода топлива на m -ой станции;

$\frac{\partial \pi}{\partial P_m}$ — частная производная от функции потерь π активной мощности в сети по активной мощности P_m -ой станции.

б) Уравнений баланса активных мощностей

$$\sum_{m=1}^r (P_m - P_m^0) = P_{\Sigma H} + \pi, \quad (4б)$$

где $\pi = \sum_{k=1}^n \sum_{m=1}^r B_{km} (P_k - P_k^0) (P_m - P_m^0)$;

B_{km} — коэффициенты потерь.

в) Уравнений активной мощности m -ой тепловой станции

$$P_m = b_m + \frac{P_m^{(j)} - P_m^{(j-1)}}{\varepsilon_m^{(j)} - \varepsilon_m^{(j-1)}} \varepsilon_m^{(j)}, \quad (4в)$$

где j — индекс отдельных точек аппроксимируемой функции $P = f(\varepsilon)$

г) Уравнений прироста потерь активной мощности

$$\frac{\partial \pi}{\partial P_m} = 2 \sum_{k=1}^n B_{km} (P_k - P^0) \quad (4г)$$

Порядок расчета по методу последовательных приближений описан в § 25, работы [8].

Имеется программа, реализующая этот алгоритм на цифровой машине.

2. *Минимизация потерь активной мощности в электрических сетях энергосистем.* В Арм.НИИЭ разработаны алгоритмы решения этой задачи для следующих четырех случаев:

а) минимизация (π) в зависимости от комплексных напряжений (U) эквивалентных источников эдс энергосистемы с учетом балансов активных (P) и реактивных (Q) мощностей системы и заданных ограничений по модулям (U) и аргументам (ψ) комплексных напряжений.

$$\begin{aligned} \Pi &= \pi + \lambda_1 P_{\Sigma H} + \lambda_2 Q_{\Sigma H} \\ &= \sum_{k=1}^n \sum_{m=1}^n U_k U_m g_{km} \cos \psi_{km} \quad (k, m = 1 \div n) \\ P_{\Sigma H} &= \sum_{m=1}^r U_m \sum_{k=1}^n U_k y_{km} \cos (\psi_{km} + \varphi_{km}) - \pi \\ Q_{\Sigma H} &= \sum_{m=1}^r U_m \sum_{k=1}^n U_k y_{km} \sin (\psi_{km} + \varphi_{km}) - q \\ U_{k, \min} &\leq U_k^{(j)} \leq U_{k, \max} \quad \psi_{k, \min} \leq \psi_k^{(j)} \leq \psi_{k, \max} \end{aligned} \quad (5)$$

б) минимизация в зависимости от комплексных токов эквивалентных источников тока энергосистемы с учетом балансов активных и реактивных мощностей системы и заданных ограничений по искомым величинам.

в) минимизация в зависимости от активных и реактивных мощностей источников эдс с учетом ограничений по искомым величинам.

г) минимизация в зависимости от активных и реактивных мощностей источников тока с учетом ограничений по искомым величинам.

Перечисленные алгоритмы решения изложены в § 23, работы [8].

3. *Минимизация потерь реактивной мощности в электрических сетях энергосистемы.* Алгоритмы решения этой задачи для четырех случаев, аналогичных изложенным выше, приводятся в § 24, той же работы.

4. *Оптимизация режимов гидротепловой энергосистемы.* В настоящее время в Арм.НИИЭ находится в стадии разработки алгоритм расчета оптимального режима одной конкретной энергосистемы (Волгоградэнерго), содержащей в себе тепловые, гидравлические-электростанции, электрические сети, нагрузки и мощные межсистемные электропередачи Волгоград—Москва и Волгоград—Донбасс..

III. Методы и средства решения задачи оптимизации режимов энергосистемы

Наиболее эффективным для решения задачи оптимизации гидротепловой энергосистемы оказался известный из курса вычислительной математики градиентный метод расчета или т. н. метод наискорейшего спуска.

Алгоритм этого метода для расчета оптимальных режимов энергосистем сложной структуры может быть реализован только на цифровых машинах с объемом оперативной памяти в несколько десятков тысяч чисел и быстроедействие в несколько сот тысяч операций в секунду.

На существующих серийных цифровых машинах могут быть решены частные случаи задачи оптимизации, т. е. реализованы весьма приближенные алгоритмы расчета. В целом ряде случаев приближенные уравнения оптимизации режимов энергосистемы, представляемой схемой до 20 эквивалентных генерирующих и нагрузочных узлов, легко решаются на специализированных аналоговых математических машинах.

В этом случае весьма сложной представляется задача учета на аналоговых машинах потерь в сетях и ее частных производных, необходимых для реализации уравнений оптимизации.

В настоящее время в Арм.НИИЭ разработана специализированная аналоговая машина, предназначенная для приближенного решения уравнений оптимизации энергосистем с числом эквивалентных станций не выше 16, в частности, для оптимизации режимов Волгоградэнерго.

IV. О некоторых исследованиях режимов энергосистем, выполненных в Арм.НИИЭ

Для принятия решения о внедрении в энергосистеме найденного оптимального режима необходима проверка устойчивости (статической и динамической) системы. Это требование является неотъемлемой частью более общей задачи оптимизации режимов энергосистемы, ибо любой режим энергосистемы (оптимальный или неоптимальный, переходный или установившийся и т. д.) должен быть устойчивым.

Расчеты динамической устойчивости энергосистемы представляют не менее сложную задачу по сравнению с расчетами ее оптимальных режимов.

Для расчетов динамической устойчивости режимов различных энергосистем используются аналоговые машины различных конструкций и принципов действия.

Весьма успешными оказались разработки Арм.НИИЭ по созданию оригинальной аналоговой модели энергосистемы, работающей в автоматизированном режиме.

Имеются решения Комитета по делам изобретений и открытий при Совмине СССР о выдаче Арм.НИИЭ авторских свидетельств на разработанные здесь аналоговые машины для оптимизации режимов и математическую модель энергосистем (ММЭС).

В Арм.НИИЭ с помощью ММЭС был выполнен ряд исследований режимов Армянской, Закавказской и Читинской энергосистем, результаты которых были переданы для практического использования в проектных организациях и непосредственно в энергосистемах. К числу такого рода исследований относятся следующие:

1. *Исследование динамической устойчивости Закавказской энергосистемы* в связи с разработкой схем перспективного развития межсистемных линий электропередач. Результаты этих исследований были использованы в „Проекте развития Закавказской энергосистемы“, разработанной Всесоюзным институтом „Энергосетьпроект“.

2. *Исследования различных видов автоматического повторного включения (АПВ) межсистемной электропередачи Акстафа—Атарбекян* для обеспечения бесперебойного электроснабжения нагрузок Армянской энергосистемы. Были выполнены исследования динамической устойчивости различных режимов объединенной Закавказской энергосистемы, связанные с возникновением однофазных и двухфазных коротких замыканий на межсистемной электропередаче Акстафа—Атарбекян.

3. *Исследования пределов мощности межсистемных электропередач Закавказской энергосистемы по условиям статической и динамической устойчивости с учетом различных уровней развития энергосистемы.* Результаты исследований были получены в виде таблиц и кривых, показывающих рекомендуемые величины предельных мощностей электропередач в зависимости от структуры энергосистемы для данного этапа ее развития.

4. *Исследования режимов частотной разгрузки Закавказской энергосистемы с целью разработки мероприятий по системной автоматике и релейной защите, обеспечивающих устойчивость объединенной энергосистемы при возникающих аварийных отключениях отдельных генерирующих мощностей.*

Заметим в связи с этим, что знаменитый случай грубого нарушения устойчивости отдельных секций энергосистемы США, приведший к прекращению электроснабжения ряда штатов, в том числе г. Нью-Йорк, был связан с отсутствием в указанных секциях энергосистем соответствующих устройств системной автоматики, предназначенных для поддержания устойчивости системы при аварийных отключениях отдельных генерирующих источников энергии. И это в то время, когда энергосистемы США располагают более, чем достаточными резервными генерирующими источниками энергии.

Авария в американской энергосистеме, приведшая к колоссальнейшим убыткам, послужила сигналом для исследований и разработ-

ки мероприятий по сохранению устойчивости энергосистем целого ряда стран.

V. Разработка алгоритмов и программ расчетов с помощью цифровых машин различных режимов энергосистем

К числу разработанных в Арм.НИИЭ алгоритмов и программ относятся следующие:

1. *Алгоритм оптимизации режимов гидротепловой энергосистемы*, в котором учитываются характеристики котлов, турбин, генераторов тепловых станций, водный режим и характеристики оборудования гидростанций, параметры трансформаторов, линий электропередач и межсистемные связи, находятся в стадии разработки.

2. *Программа автоматизации записи уравнений установившегося электрического режима энергосистемы*. Разработанная программа обеспечивает запись с помощью ЦМ уравнений контурных токов и узловых напряжений электрического режима энергосистемы любой структуры и сложности.

3. *Программа расчета параметров многополюсника*, эквивалентного сложной схеме системы. Эта программа позволяет сократить число располагаемых уравнений режима электрической системы до числа, соответствующего только тем узлам системы, которые представляют интерес для исследований.

4. *Программа расчета реактивных мощностей* генераторов энергосистемы для обеспечения в заданных ее узлах необходимых уровней напряжения.

5. *Программы расчетов коэффициентов потерь* активной и реактивной мощностей, частных производных от потерь по различным независимым переменным, определяющим электрический режим системы. Всего в Арм.НИИЭ разработано около 30 подобных программ, необходимых для решения как частных задач расчета электрических режимов, так и общей задачи оптимизации режима энергосистем.

Принятые обозначения

$k = d, q, r, D, Q$ — индексы контуров явнополюсной синхронной машины,

ψ_k — потокосцепления контуров k ,

U_k — переменные, пропорциональные токам в контурах k ,

r_k, x_k, g_k, T_k — параметры магнитно-связанных контуров,

$p = \frac{d}{d\omega_c t}$ — знак дифференцирования по синхронному времени $\omega_c t$,

ω_s — синхронная угловая частота машины,

s — скольжение ротора,

U — напряжение на зажимах статора машины,

θ — угол между поперечной осью ротора и вектором, изображающим напряжение U .

e_r, e_θ — эдс на зажимах обмотки ротора (r) и его возбуждателя (θ)

k_1, k_2, T_a, T_r — параметры схемы регулирования возбуждения генератора,

M_m — момент гидротурбины.

a_1, a_2 — параметры выражения момента гидротурбины, согласно [3],

β, k_3, T_i — параметры изодрома

ξ — относительное перемещение рычага обратной связи.

μ — относительное перемещение поршня сервомотора направляющего аппарата,

T_K — постоянная времени серводвигателя,

z — относительное перемещение оси золотника,

$\bar{z}$ — неравномерность маятника,

q — относительное изменение расхода воды на гидроэлектростанции,

h — относительное изменение напора трубопровода

T_m — постоянная времени трубопровода

Φ — фаза гидроудара

$M_p, M_k, r, M_{k,1}$ — величины моментов статических сил сопротивления различных механизмов

P_m, Q_m — активные и реактивные мощности источников эдс

U_k, U_m — комплексные напряжения тех же источников

Y_{km} — параметры многополюсника

Армянский НИИ энергетики

Поступило 16.1.66.

2. Տ. ԱՊՈՆՅ

ԷՆԵՐԳՈՍԻՍՏԵՄՆԵՐԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԱՑՄԱՆ ՀԱՐՅԵՐԸ

Գիտելիքների ամենատարրեր ձյուղերի «մաթեմատիկացումը» հանդիսանում է ժամանակակից գիտության և տեխնիկայի բնորոշ գծերից մեկը: Խոսելով մաթեմատիկացման մասին, նկատի են ունենում կոնկրետ օրյակների կամ սխեմաների աշուղես կոչված մաթեմատիկական մոդելի կառուցման խնդիրը:

Էներգոսխառմանի սեփմաների օպտիմացման տակ հասկացվում է հաշվարկ նրա աշնայտի սեփմաների ընտրման նպատակով, որի ղեպքում ստացվում է բոլոր պահումների արժեքների միևնույնը, որոնք կապված են էներգիայի արտադրման, հաղորդման և սպառման հետ: Հոգվածում բնարկվում են հետևյալ հարցերը՝

ա) էներգոսխառմանների սեփմաների հավաստումների կազմը և բնույթը.
բ) էներգոսխառմանների սեփմաների օպտիմացման հետ կապված որոշ խնդիրներ.

գ) էներգոսխառմանի սեփմաների սպտիմացման խնդրի լուծման սեթոդները և միջոցները:

Հիդրոցերմային էներգոսխառնմի օպտիմացման խնդրի լուծման համար ամենաէֆեկտիվը հանդիսացավ գրադիենտ մեթոդը, կամ այսպես կոչված ամենաարագ իջեցման մեթոդը: Մի շարք դեպքերում էներգոսխառնմի, որը պարունակում է մինչև 20 գններատորային և բեռային հանգույցներ, ուժիմների օպտիմացման մոտավոր հավասարումները հեշտությամբ լուծվում են մասնագիտացված անալոգային մաթեմատիկական մեքենաների վրա: Ներկայումս մշակվում է հատուկ անալոգային մեքենա, որը նախատեսվում է մինչև 16 էլեկտրակենտ կայաններով էներգոսխառնմի օպտիմացման հավասարումների մոտավոր լուծման համար, մասնավորապես Վոլգոգրադէներգոյի ուժիմների օպտիմացման համար: ՀՍՍՀ ԳԱ էներգետիկայի գիտահետազոտական ինստիտուտը ՄՍՀՄ Մինիստրների Սովետին կից Գյուլաարարության և հայտնագործության կոմիտեի որոշումը ստացավ՝ հեղինակային վկայականներ հանձնելու երկու անալոգային մեքենաների մշակման համար: Այդ մեքենաներից մեկի օգնությամբ կատարվեցին Անդրկովկասյան էներգոսխառնմի դինամիկական կայունության հետազոտությունները, կապված միջսխառնմային էլեկտրահաղորդման զոների հեռանկարային դարգացման մշակումների հետ, Աղսթաֆա—Աթարրեկյան միջսխառնմային էլեկտրահաղորդման ավտոմատ կրկնակի միացման տարբեր ձևերի հետազոտությունները, Հայկական էներգոսխառնմի բեռների անխափան էլեկտրամատակարարումը ապահովելու համար, Անդրկովկասյան էներգոսխառնմի միջսխառնմային էլեկտրահաղորդման հզորության սահմանների հետազոտությունները, բոտ ստատիկ և դինամիկ կայունության, հաշվի առնելով էներգոսխառնմաների զարգացման տարբեր մակարդակները, Անդրկովկասյան էներգոսխառնմաների հաճախականային բեռնաթափման ուժիմների հետազոտությունները սխառնմային ավտոմատիկայի և ռեկանական պաշտպանության միջոցառումների մշակման նպատակով, որոնք ապահովում են միացյալ էներգոսխառնմի կայունությունը, երբ առաջանում է աստիճին գններատորային հզորությունների վթարային անջատումներ:

Ինստիտուտում մշակված է մոտ 30 ծրագիր, որոնք անհրաժեշտ են ինչպես էլեկտրական ուժիմների հաշվառման մասնավոր խնդիրների, այնպես էլ էներգոսխառնմի ուժիմների օպտիմացման բնդհանուր խնդրի լուծման համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Горев А. А. Переходные процессы синхронной машины, Госэнергоиздат, 1950.
2. Адоңц Դ. Դ., Митисоян Н. А., Акоюн С. Գ. Выбор структурной схемы моделирования уравнений синхронного генератора на математических машинах непрерывного действия, "Электричество", № 11, 1964.
3. Осеян К. Х. О расчете сбросов и набросов нагрузки при изолированной работе гидроагрегата. Известия АН АрмССР (серия техн. наук), № 2, 1958.
4. Гаркави Ю. Е., Смирнов М. Н. Регулирование гидротурбин, Машгиз, 1954.
5. Акоюн С. Գ. Уравнения неустойчившегося процесса в конце высоконапорного трубопровода ГЭС. Известия АН СССР, "Энергетика и транспорт", № 2, 1966.
6. Адоңц Դ. Դ. Исследования режимов самозапуска и автоматического повторного пуска под нагрузкой асинхронных двигателей, "Электричество", № 5, 1952.
7. Гамбурян К. А. Математическое моделирование асинхронного привода. Отчет Арм.НИИЭ.
8. Адоңц Դ. Դ. Многополюсник (Теория и методы расчета). Издательство АН АрмССР 1965.

Е. А. ПЕРСЕСЯН

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Расчеты городских электрических сетей базируются на данных об электрических нагрузках распределительных трансформаторов. Значительную долю этих нагрузок составляет осветительно-бытовая нагрузка жилых зданий, которая в настоящее время выбирается либо по удельной расчетной нагрузке ватт на кв. метр — на вводе в жилой дом, либо по расчетной нагрузке на вводе в квартиру, с учетом коэффициентов одновременности [1, 2]. Однако при решении вопросов, связанных с электроснабжением города и целом, его отдельных районов или выбора мощностей трансформаторов, питающих жилой квартал, определение электрических нагрузок этими методами становится все более затруднительным, из-за недостаточности исходных данных. К их числу относятся: величина оплачиваемой площади всех существующих и сооружаемых зданий, данные о газификации зданий, данные о коэффициентах одновременности и коэффициентах спроса для жилых и административно-производственных зданий и т. д. Кроме этого, по мере развития городских сетей погрешности таких расчетов возрастают.

Возникает необходимость использования для расчетов электрических нагрузок — статистических и вероятностных методов. Необходимость привлечения этих методов обуславливается и тем, что нагрузки групп независимых электроприемников распределительных трансформаторов существенно изменяются во времени и являются нерегулярными, что зависит от множества случайных и массовых явлений, учет которых в существующих методах расчета представляют большие трудности. Разработка и использование более точных методов расчета нагрузок позволяет повысить экономические показатели сооружаемой или реконструируемой электрической сети. Представляет определенный интерес американский метод расчета [3] бытовой нагрузки, где расчет электрических нагрузок, основывается на принципе учета вероятности включенного состояния приборов, данные о которых берутся из служб эксплуатационной сети. Однако, в этой методике выявление расчетных параметров представляет значительные трудности.

В настоящей статье сделана попытка построить расчет осветительно-бытовой нагрузки, на другом принципе, а именно вероят-

ности участия отдельных приборов в максимуме нагрузки. Учет этого основного показателя пиковой нагрузки дает возможность более точно определить нагрузки распределительных трансформаторов городских сетей, питающихся от энергосистем не имеющих нужного резерва генерируемых мощностей.

Предполагаемая методика основывается на следующих выкладках. Максимальная нагрузка трансформатора, как случайная величина представляется согласно [4—7] выражением:

$$S = \bar{S} + t\sigma, \quad (1)$$

где $\bar{S}$ — среднее значение максимальной мощности;

σ — среднеквадратическое отклонение мощности;

t — нормированное (в долях σ) отклонение от среднего значения нормального закона распределения случайной величины.

Среднее значение максимальной мощности есть вероятное максимальное значение мощности за какой-то интервал времени и в существующих методах [5] определяется путем умножения номинальных мощностей токоприемников на соответствующий им коэффициент спроса. В данной работе среднее значение максимальной мощности принимается равной суммарной получасовой нагрузке среднего числа токоприемников, участвующих в максимуме нагрузки.

Приведенные Академией коммунального хозяйства исследования [6] показали, что распределение максимальных нагрузок подчиняется биномиальному закону. В этом случае, среднее число токоприемников (математическое ожидание), участвующих в максимуме нагрузки равно:

$$\bar{n} = mp,$$

где m — общее количество электроприемников;

p — вероятность участия приборов в максимуме нагрузки.

Дисперсия этого числа будет

$$\sigma^2(\bar{n}) = mpq,$$

где $q = (1 - p)$ — вероятность неучастия приборов в максимуме нагрузки.

Принимая в качестве показателя получасовой нагрузки номинальную мощность токоприемников S_H , среднее значение максимальной мощности однотипных приборов, будет равно

$$\bar{S} = S_H mp.$$

Отклонение от среднего значения максимальной мощности

$$\sigma^2 = S_H^2 mp(1-p).$$

Общее среднее значение максимальной мощности трансформаторов, от i одного до r различных типов токоприемников, присоединенных к сети, определится выражением

$$S = \sum_{i=1}^r S_{H_i} m_i p_i.$$

Соответственно,

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^r S_{H_i}^2 m_i p_i (1 - p_i).$$

Подставляя значения среднего и среднеквадратического отклонения мощности в выражение (1), получим:

$$S = \sum_{i=1}^r S_{H_i} m_i p_i + t \sqrt{\sum_{i=1}^r S_{H_i}^2 m_i p_i (1 - p_i)}. \quad (2)$$

Для проектируемого жилого сектора, где количество приборов можно определить исходя из количества семей, проживающих в этом секторе и их обеспеченностью (охватом) бытовыми приборами ($m = Nk$), расчетную мощность трансформатора можно представить в следующем виде:

$$S = N \sum_{i=1}^r S_{H_i} p_i k_i + t \sqrt{N \sum_{i=1}^r S_{H_i}^2 p_i k_i (1 - p_i)}, \quad (3)$$

где N — количество семей (или квартир — при посемейном заселении в квартиры);

k — обеспеченность семей бытовыми приборами.

При вычислении расчетных параметров S_{H_i} , p , t , k входящих в формулы (2) и (3), в настоящей работе используются данные приведенные в [6, 8].

Для иллюстрации предложенного способа расчета по формуле (2) взят эксплуатируемый жилой дом № 2 по улице Калинина в г. Ереване. Жилой дом газифицирован и имеет общую полезную (оплачиваемую) площадь в размере 1732 м². После обследования отдельных квартир и запроса жильцов, составлена следующая табл. 1.

Таблица 1

Наименование приборов	S_{H_i}	m	p	$S_{H_i} m p$	$S_{H_i}^2 m p (1 - p)$
Лампы накаливания	0,06	420	0,45	11,340	2,806
Утюги	0,40	40	0,084	1,344	0,492
Радиоприемники	0,06	38	0,260	0,593	0,263
Телевизоры	0,14	33	0,500	2,310	0,162
Холодильники	0,14	30	0,210	0,882	0,097
Стиральные машины	0,45	20	0,068	0,612	0,257
Пылесосы и полотеры	0,45	19	0,068	0,581	0,244
		600		17,662	4,321

В табл. 1 значения p взяты из табл. 2 [6]. Согласно [6, 7] значение нормированного отклонения $t = 2 \div 3$. Принимая $t = 2$ (при

числе электроприемников $n \geq 50$ работающих одновременно), расчетная мощность питающего трансформатора, или линий на вводе в жилой дом будет $S_1 = 21,8 \text{ квт}$.

Решая этот же пример с помощью формулы предложенной в [3] получим $S_1 = 42,7 \text{ квт}$.

Интересно сопоставить полученные результаты с данными расчета по существующим методам. Согласно действующим нормативным положениям по проектированию городских электрических сетей [2] расчетная мощность трансформатора, питающего жилой дом, определяется по формуле:

$$P_p = P_{\text{кл}} \cdot n \cdot k + \Sigma P_{\text{пр.}}$$

Удельная нагрузка $P_{\text{кл}}$ дана в табл. 1 [2] для одной квартиры с площадью 30 м^2 . Коэффициент одновременности—в табл. [2]. Расчетная мощность жилого дома, без силовой нагрузки, будет $P_p = 19,6 \text{ квт}$. Исходная величина близка к S_1 т. е. к результату, полученному по формуле (2).

Для иллюстрации расчета по формуле (3) рассмотрим мощность распределительного трансформатора проектируемого жилого квартала города, для заселения 800 семей. Используя данные номинальных мощностей основных электроприемников современной квартиры, вероятностей их участия в максимуме по табл. 2 [6] и процентных насыщений приборов семьями по табл. 1 [8] получим следующие расчетные величины приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Наименование приборов	S_n	p	k	$S_n pk$	$S_n^* pk (1-p)$
Эл. освещение	0,45	0,45	1,0	0,2025	0,05012
Утюги	0,40	0,084	0,6	0,02016	0,00738
Радиоприемники	0,06	0,26	0,8	0,01248	0,00055
Телевизоры	0,14	0,5	0,7	0,049	0,00343
Холодильники	0,14	0,21	0,4	0,01176	0,0013
Стиральные машины	0,45	0,068	0,15	0,00459	0,00192
Пылесосы	0,45	0,068	0,6	0,01836	0,0077
				0,31885	0,07242

В табл. 2 не учтено приготовление пищи, ввиду отсутствия до настоящего времени данных процентного насыщения семей электрическими кухонными плитами. Согласно этим данным для электроснабжения одной газифицированной квартиры, без кухонных электроплит, получим упрощенную формулу расчетных нагрузок.

$$S = N \cdot 0,319 + 2 \sqrt{0,072 \cdot N} = 0,319 N + 0,53 \sqrt{N}. \quad (4)$$

Для 800 квартир получим $S = 270 \text{ квт}$.

Пользуясь перспективными данными обеспеченности семей бытовыми приборами, согласно табл. 1 [8], аналогичным образом можно рекомендовать упрощенную формулу расчетной бытовой нагрузки:

$$S_p = 0,347 N + 0,546 \sqrt{N} \text{ — для 1975 года;} \quad (5)$$

$$S_p = 0,38 N + 0,56 \sqrt{N} \text{ — для перспективного периода.} \quad (6)$$

В ы в о д ы

1. Для определения мощности осветительно-бытовой нагрузки эксплуатируемых домов можно рекомендовать формулу (2). Для выбора расчетной мощности линий или трансформатора, питающего только жилищный сектор, рекомендуется формула (3). При составлении проектного задания электроснабжения города или его отдельных районов для определения их бытовой нагрузки, можно пользоваться приближенными формулами (4), (5) и (6).

2. Определение электрических нагрузок для отдельных квартир по этим формулам не рекомендуется (точность расчета по предлагаемым формулам повышается для случаев больших значений m , N и т. д.). Точность зависит от расчетных параметров, величины которых будут корректироваться по мере накопления эксплуатационных данных.

Необходимо провести дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования электрических нагрузок, для уточнения расчетных параметров и факторов, влияющих на них.

Ариянский НИИ энергетики

Поступило 7.X.1965.

б. а. ԵՐՈՍՅԱՆ

ՔԱՂԱՔԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՑԱՆՅԵՐԻ ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՏՈՐՆԵՐԻ ՀՉՈՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎՈՒՄԸ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

Ա. Մ. Վ. ՈՒՄԻՆ

Տվյալ հոդվածում առաջարկվում է բաղադրային էլեկտրական ցանցերի տրանսֆորմատորների հոսքային հաշվման մեթոդ, որը հիմնված է էլեկտրական կենցաղային ընդունիչների ցանցի մաքսիմում բեռնվածությանը մասնակցելու հավանականության սկզբունքի վրա:

Տրանսֆորմատորի մաքսիմում հոսքայությունը որպես պատահական մեծություն, արտահայտվում է արտանքային տրանսֆորմատորի միջին հոսքայության և նրա միջին-քառակուսային շեղման ցուցանիշով: Որպես միջին հոսքայություն ընդունված է էլեկտրական ընդունիչների այն միջին բանակության (մատնամատիկական սպասում) դոմարային կեսամյա բեռնվածությունը, որը մասնակցում է ցանցի մաքսիմում բեռնվածությանը: Որպես առանձին ընդունիչների կեսամյա բեռնվածության չափանիշ ընդունված է այդ ընդունիչների նոմինալ հոսքայությունը:

Նոր նախագծվող անդամների համար, երբ կենցաղային էլեկտրական ընդունիչների բանակը նախօրոք զգվար է որոշել, հոդվածում առաջարկվում է այդ բանակը փոխարինել բնառների բանակի և այդ բնառների կեն-

դադարակն էլիկտրական ընդունիչների ապահովվածության արտադրյալով: Հող-
վածում գրված է կոնկրետ խնդրի լուծում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Принципы устройства электроустановок, 1964.
2. Указания по проектированию городских электрических сетей (СИ-167-61), Госстроя СССР, 1961.
3. Plrines W. W., Zajle K. V. Power Apparat. and Syst., 1963, № 64.
4. Бессмертный Н. С. Применение вероятностных и статистических методов к проектированию городских электросетей. Доклады к научно-техническому совещанию „Применение вероятностных и статистических методов к анализу режимов энергосистем“, вып. 1, Киев, 1963.
5. Временные руководящие указания по определению электрических нагрузок промышленных предприятий, Госэнергоиздат, 1962.
6. Федосенко Р. Я. Электрические нагрузки жилищной застройки. Научные труды Академии Коммунального хозяйства им Памфилова, вып. XXI, 1963.
7. Федосенко Р. Я. К вопросу о расчете электрических сетей жилищно-общественной застройки, „Электричество“, № 4, 1965.
8. Клебанов Л. Д. Нормы узельного электропотребления на жилищно-бытовые и коммунальные нужды, Тр. Ленинградского инженерно-экономического института, вып. 41, 1962.

В. О. ТОКМАДЖЯН

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР В ТРУБАХ ПРИ ДВИЖЕНИИ ТРЕХФАЗНОЙ ЖИДКОСТИ

1. Рассмотрим трехфазный поток с расходами жидкости $Q_{ж}$, твердой фазы Q_t , газа q_0 (приведенный к нормальным условиям). Для определения повышения давления при прямом гидравлическом ударе исходим из теоремы количества движения.

Пусть в момент t ударная волна достигла до сечения 1 (рис. 1). Тогда за время Δt она охватит отсек, длиною $\Delta x = a \Delta t$.

Изменение количества движения за время Δt будет равно изменению количества движения в отсеке 1-2 и количества движения поступающей массы в этот отсек за время Δt . Однако, последние сравнительно малы [1] и ими можно пренебречь. В рассмотренном случае получим:

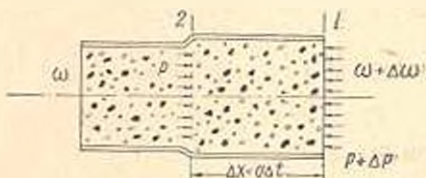


Рис. 1.

$$\{s_t \rho_t v_t + (1 - s_t) [s v_t \rho_t + (1 - s) v_{ж} \rho_{ж}]\} (\omega + \Delta \omega) a \Delta t = (\omega + \Delta \omega) \Delta p \Delta t, \quad (1)$$

где v_t , $v_{ж}$, v — средние скорости газа, жидкости и твердой фазы;

ρ_t , $\rho_{ж}$, ρ — плотности газа, жидкости и твердой фазы;

ω , $\Delta \omega$ — площадь и приращение площади сечения трубы;

Δp — повышение давления гидравлического удара;

a — скорость распространения волны удара трехфазной жидкости;

s_t — объемная концентрация газа в потоке;

s — объемная концентрация твердой фазы в твердо-жидкостной смеси.

Количество движения газа сравнительно с количеством движения твердо-жидкой фазы незначительно и поэтому им можно пренебречь.

Таким образом, получим:

$$a (1 - s_t) [s v_t \rho_t + (1 - s) v_{ж} \rho_{ж}] = \Delta p. \quad (2)$$

Принимая для v_t и $v_{ж}$ выражения

$$v_{ж} = \frac{Q_{ж}}{\omega_{ж}} = \frac{Q_{ж}}{(1-s_r)(1-s)\omega}; \quad (3)$$

$$v_r = \frac{Q_r}{\omega_r} = \frac{Q_r}{(1-s_r)s\omega} \quad (4)$$

и подставляя (3) и (4) в (2) получим:

$$\frac{\Delta p}{\gamma_{ж}} = \frac{a Q_{ж}}{\omega g} \left(\frac{Q_r}{Q_{ж}} \frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} + 1 \right) = \frac{a v_r}{g}. \quad (5)$$

Формула (5) удобна тем, что в ней не участвуют средние скорости жидкости и твердой фазы, определение которых является одной из сложных задач гидравлики двухфазной жидкости. Отметим, что скорость жидкости не должна быть меньше той критической скорости, при которой не исключается оседание твердой фазы, т. е. имеет место полное взвешивание твердой фазы.

2. В [1] для определения скорости распространения удара в двухфазной смеси (жидкость, твердая фаза) получено следующее выражение:

$$a_{гж} = \frac{\sqrt{\frac{E_{ж} g}{\gamma_{ж}}}}{\sqrt{1 + \frac{D}{\delta} \frac{E_{ж}}{E_m} + s \left[\frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} \frac{E_{ж}}{E_r} - 1 + \frac{D}{\delta} \frac{E_{ж}}{E_m} \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} - 1 \right) \right]}}. \quad (6)$$

При деформации трубы, несжимаемой жидкости выражение (6) примет вид:

$$a_{гж} = \frac{\sqrt{\frac{g}{\gamma_{ж}}}}{\sqrt{\frac{D}{\delta} \frac{1}{E_m} + s \left[\frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} \frac{1}{E_r} - 1 + \frac{D}{\delta} \frac{1}{E_m} \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} - 1 \right) \right]}}. \quad (7)$$

В [2] было получено выражение скорости распространения звука в газо-жидкостной среде, с учетом сжимаемости газа и жидкости в следующем виде:

$$a_{гжг} = \frac{\sqrt{\frac{E_{ж} g}{\gamma_{ж}}}}{\sqrt{1 + \frac{E_{ж}}{k p} \frac{q_0}{Q_{ж}} \frac{v_{ж}}{v_r} \left(\frac{p_{ат}}{p} \right)^{1/k}} + \frac{\left[1 + \frac{q_0}{Q_{ж}} \frac{v_{ж}}{v_r} \left(\frac{p_{ат}}{p} \right)^{1/k} \right]^2}}. \quad (8)$$

Пользуясь выражениями (7) и (8) и известной формулой Кортвега

$$a = \frac{a_{гжг}}{\sqrt{1 + \left(\frac{a_{гжг}}{a_{гж}} \right)^2}} \quad (9)$$

получим следующее выражение для скорости распространения удара трехфазной жидкости в трубах:

$$\alpha = \frac{\sqrt{\frac{E_{ж} g}{\gamma_{ж}}}}{\sqrt{A + \frac{D}{\delta} \frac{E_{ж}}{E_m} + s \left[\frac{\gamma_{т}}{\gamma_{ж}} \frac{E_{ж}}{E_t} - 1 + \frac{D}{\delta} \frac{E_{ж}}{E_m} \left(\frac{\gamma_{т}}{\gamma_{ж}} - 1 \right) \right]}} \quad (10)$$

где

$$A = \frac{1 + \frac{1}{k} \frac{E_{ж}}{p} \frac{q_0}{Q_{ж}} \frac{v_{ж}}{v_t} \left(\frac{p_{ат}}{p} \right)^{1/k}}{\left[1 + \frac{q_0}{Q_{ж}} \frac{v_{ж}}{v_t} \left(\frac{p_{ат}}{p} \right)^{1/k} \right]^k};$$

$E_{ж}$, E_m , E_t — модули упругости, материала трубы и твердых частиц;

$\gamma_{ж}$, γ_t — объемные веса жидкости и твердых частиц;

D , δ — диаметр и толщина стенки трубы;

k — коэффициент адиабаты;

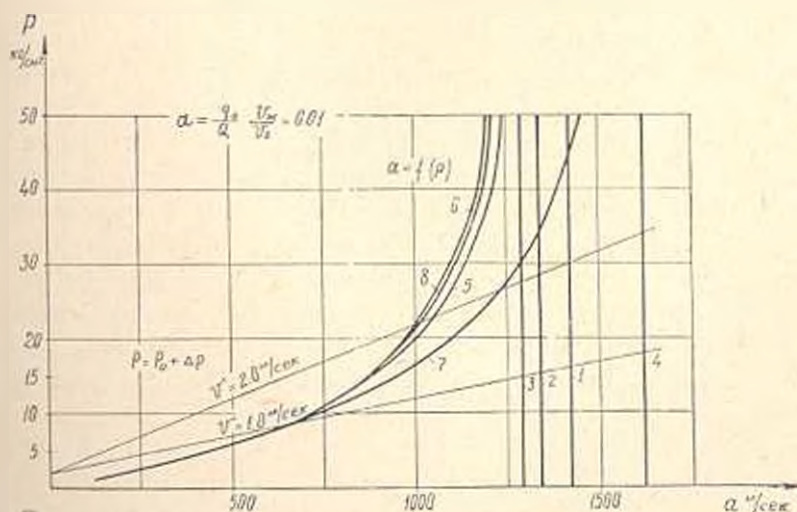
p , $p_{ат}$ — абсолютное давление удара и атмосферное давление.

Метод совместного решения уравнений (5) и (10) тот же, что в [2].

Пример. Определить численные значения α и Δp при исходных данных представленные в табл. 1 и следующих расчетных параметрах.

Таблица 1

Наименование второй фазы	γ_t кг/м ³	E_t кг/м ²	s
Кварцовый песок	2650	$4 \cdot 10^9$	0,151
Стальные стружки	7850	$2,1 \cdot 10^{10}$	0,051
Сосновые стружки	800	$1 \cdot 10^9$	0,5



1. вода 2. вода-бурый песок 3. вода-стальные стружки 4. вода-сосновые стружки
5. вода-вода-бурый песок 6. вода-вода-стальные стружки 7. вода-вода-сосновые
стружки 8. вода-вода

Рис. 2.

$$\text{Коэффициент аэрации } \alpha = \frac{q_0}{Q} \frac{v_0}{v_r} = 0,01;$$

$$\rho_0 = 2,0 \text{ кг/см}^3$$

$$a_{ж0} = 1,125 \text{ м/сек}$$

$$E_{ж} = 2,07 \cdot 10^8 \text{ кг/м}^2$$

$$E_m = 2,1 \cdot 10^{10} \text{ кг/м}^2$$

$$\frac{D}{\delta} \frac{E_{ж}}{E_m} = 0,21$$

Во всех трех случаях весовая концентрация второй фазы принята равной 0,4.

Пользуясь методом, изложенным в [2] построены кривые $a = f(p)$ для восьми указанных на рис. 2 случаев и кривые $p = p_0 + \Delta p$ для значений приведенной скорости $v' = \frac{Q_0}{Q_{ж}} \left(\frac{Q_0}{Q_{ж}} \frac{v_0}{v_{ж}} + 1 \right) - 1 \text{ м/сек}$ и $v' = 2 \text{ м/сек}$.

Точки пересечения этих кривых дают значения a и Δp , которые для приведенных данных собраны в табл. 2.

Таблица 2

Наименование второй фазы	$a_{тж}$	$v' = 1 \text{ м/сек}$			$v' = 2 \text{ м/сек}$		
		$\Delta p_{тж}$ кг/см ²	a м/сек	$\Delta p_{тж}$ кг/см ²	Δp кг/см ²	a м/сек	Δp кг/см ²
Кварцовый песок . . .	1340	13,0	630	6,0	26,5	1050	20,5
Стальные стружки . . .	1285	12,5	630	6,0	25,0	990	19,5
Сосновые стружки . . .	1620	16,0	640	6,0	32,0	1230	24,0
Без второй фазы . . .	1296	14,0	630	6,0	28,0	1010	20,0

На рис. 2 наглядно видно влияние приведенной скорости v' , давления p_0 , газосодержания α и наличия второй фазы на значение a и p .

В заключение следует отметить, что даже незначительное газосодержание в потоке (как в нашем примере) сильно смягчает гидравлический удар. С увеличением приведенной скорости смягчение гидравлического удара уменьшается. Увеличение приведенной скорости увеличивает Δp не только в прямой зависимости (5), но и через значение a , которое при этом увеличивается. При малых давлениях наличие твердой фазы (даже при больших концентрациях) незначительно влияет на параметры гидравлического удара, при этом основное влияние оказывает газосодержание, так что при заметных газосодержаниях и при не очень больших давлениях вместо гидравлического удара трехфазной жидкости, можно рассматривать гидравлический удар в газо-жидкостной среде. При расчете гидравлического удара трехфазной жидкости Δp и a получаются больше для той двухфазной смеси, которая имеет большее значение $a_{тж}$.

Վ. Հ. ՓՈՔՄԱԶՅԱՆ

ՋԻՊՐԱՎԼԻՎԱԿԱՆ ՀԱՐՎԱԾԸ ԽՈՂՈՎԱԿՆԵՐՈՒՄ ԵՌԱՅԱԶ ՀԵՂՈՒԿԻ
ՇԱՐՃՄԱՆ ԴԵՊՐՈՒՄ

11. մ փ ո փ ու մ

Օգտվելով շարժման քանակների և ուժի իմպուլսի թեորեմից և կատարելով թույլատրելի բնդունելություններ, ստացվում է հիդրավիկական հարվածի ճնշման բարձրացման համար չափադանց պարզ բանաձև (6) եռաֆազ (հեղուկ, պինդ, գազ) հեղուկի շարժման դեպքում:

Այս բանաձևը հարմար է նրանով, որ այնտեղ չեն մասնակցում առանձին խառնուրդների միջին արագությունները, այլ մասնակցում են միայն նրանց ելքերը:

Օգտվելով մեր նախորդ ուսումնասիրություններից [1], [2] որոշված է այլիքի տարածման արագությունը (11) խողովակներում եռաֆազ հեղուկների շարժման դեպքում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Тоқмаджян В. О. Гидравлический удар в трубах при движении двухфазной жидкости. Изв. АН АрмССР, серия ТН, т. XIII, № 2, 1960.
2. Тоқмаджян В. О. Гидравлический удар в трубах при движении газо-жидкостной смеси. Тр. Ереванского политехнического института (строительная серия), 1966.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

А. О. ЕПОЯН

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАЦИИ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА
ВУЛКАНИЧЕСКИХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ ПРИ МНОГОКРАТНО
ПОВТОРНОЙ НАГРУЗКЕ*

(С о о б щ е н и е 2)

1. В предыдущем сообщении [1] были изложены результаты экспериментального исследования прочности и деформаций легких бетонов при статическом сжатии с кубиковой прочностью 200—500 кг/см^2 на литоидной пемзе и невспученном перлите. В настоящем сообщении приводятся результаты экспериментального исследования усталостной прочности легких бетонов. Характеристика материалов, составы бетонов и методика измерения деформаций приведены в [1]. Бетонные призмы испытывались под многократно повторной нагрузкой на 50-тонном и 100-тонном гидрпрессах типа ГРМ с пульсаторами.

Опыты проводились над призмами $10 \times 10 \times 40$ см из литоидно-пемзобетона с прочностью 220 кг/см^2 и перлитобетона с прочностью заполнителя 420 кг/см^2 . Одновременно испытывались образцы из тяжелого бетона на базальтовом щебне. Характеристика испытанных образцов приводится в табл. 1. Характеристика цикла повторной нагрузки (отношение минимального напряжения цикла к максимальному) была принята в пределах от $r=0,13$ до $r=0,95$. Призмная прочность бетона испытанных групп образцов колебалась в пределах $R_{пр} = 200 \div 450$ кг/см^2 . База испытаний была принята равной 2 млн. циклам повторений нагрузки. Частота приложения повторной нагрузки в опытах составляла 400—670 циклов в минуту. Результаты испытаний приведены на рисунках 1—3 и в табл. 1.

Данные по выносливости испытанных образцов из тяжелого бетона оказались близкими с результатами обстоятельных экспериментально-теоретических исследований О. Я. Берга [2, 3]. В легких бетонах также, как и в тяжелых при $r = \text{const}$, наблюдалось уменьшение усталостной прочности с увеличением числа циклов повторной нагрузки. Уменьшение усталостной прочности наблюдалось даже при 8—10 млн. циклов нагружения, т. е. далеко за пределом принятой базы испытаний.

* Научный руководитель проф. В. В. Пинаджян.

Таблица 1

Наименование бетона	Серия образцов	Призменная прочность $R_{пр}$ кг/см ²	Возраст в сутках в период испытания		Характеристика цикла ρ	Коэффициенты к формуле (1)		Предел выносливости при $N=2 \cdot 10^6$		Относительный предел выносливости при ρ		
			начало	конец		A_1	B_1	$R'_{пр}$ кг/см ²	$R_{уорх}$	0	0,1	0,2
Тяжелый бетон	Б-2-2	220	176	226	0,4	220	11,9	145	0,66	0,53	0,56	0,6
	Б-2-1	216	605	625	0,2	216	14,0	128	0,53	0,53	0,56	0,59
Легкий бетон на литондной пем-зе	Л-4,5-1	453	201	236	0,2	453	29,5	267	0,59	0,56	0,56	0,59
	Л-4-1	394	200	243	0,2	394	27,3	222	0,56	0,49	0,53	0,56
	Л-3-2	338	247	318	0,2	328	23,8	188	0,55	0,48	0,52	0,55
	Л-3-1	323	932	950	0,2	323	23,2	177	0,55	0,47	0,51	0,55
	Л-2,5-3	302	155	217	0,4	302	18,4	186	0,62	0,46	0,50	0,54
	Л-2,5-1	297	160	230	0,2	297	22,3	157	0,53	0,45	0,49	0,53
	Л-2,5-4	245	250	320	0,95	245	6,2	205	0,84			
	Л-2,5-4	242	250	320	0,6	242	10,2	178	0,74	0,56	0,59	0,62
	Л-2-3	200	52	88	0,2	200	18,0	86,5	0,43	0,33	0,38	0,43
	Л-2-3	205	52	88	0,6	205	11,7	131	0,64			
	Л-2-2	200	657	697	0,2	200	16,0	99	0,49	0,41	0,45	0,49
Легкий бетон на невулчненном перлите	П-5-2	449	472	547	0,17	449	27,3	278	0,62			
	П-5-4	445	390	485	0,38	445	22,1	305	0,69	0,58	0,61	0,63
	П-5-4	443	390	485	0,6	443	17,1	336	0,76			
	П-2-1	253	301	336	0,6	253	12,3	176	0,69	0,45	0,49	0,53
	П-2-1	251	301	336	0,4	251	14,2	162	0,64			
	П-2-3	199	480	524	0,32	199	13,9	111	0,56			
	П-2-3	199	480	524	0,45	199	12,2	111	0,61	0,41	0,46	0,50
	П-2-3	198	480	524	0,13	198	16,7	92,2	0,47			

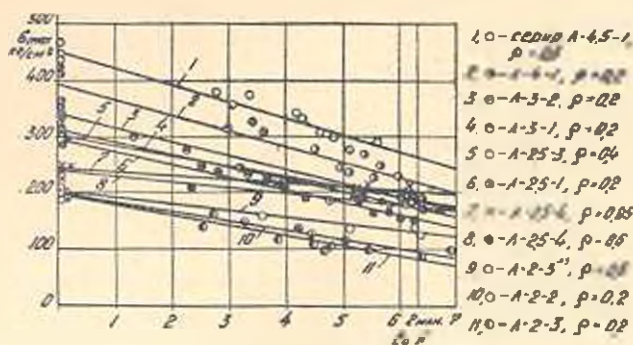


Рис. 1. Диаграмма выносливости легкого бетона на литонд-ной пемзе.

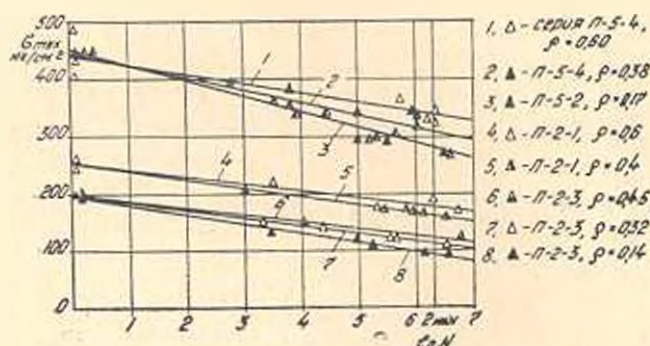


Рис. 2. Диаграмма выносливости легкого бетона на перлите.

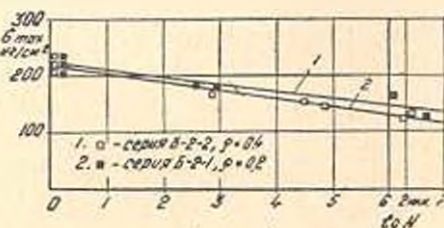


Рис. 3. Диаграмма выносливости тяжелого бетона.

Для установления экспериментальной зависимости между максимальным напряжением цикла и числом повторений нагрузки проведены корреляционные прямые. Как видно из рисунков 1 и 2, эти зависимости выражаются уравнением:

$$\sigma_{\max} = A_1 - B_1 \lg N, \quad (1)$$

где A_1 и B_1 — постоянные (при $R_{np} = \text{const}$; $\rho = \text{const}$), значения которых приведены в табл. 1. Величина $\sigma_{\max}$ в выражении (1) в дальнейшем принимается за ограниченный предел усталости, соответствующий 2 м.лн. циклам нагружения. Анализ результатов испытаний показал, что при одинаковой призмочной прочности тяжелого и легкого бетонов и одинаковой характеристике циклов повторной нагрузки имеет место более интенсивное уменьшение прочности легких бето-

нов с увеличением числа циклов нагружений. Опыты показали, что амплитуда изменения циклической нагрузки сильнее отражается на предел выносливости легкого бетона по сравнению с тяжелым.

Зависимость между относительным пределом выносливости $\sigma_{\max}/R_{\text{пр}}$ и характеристикой цикла может быть представлена линейно и выражена уравнением:

$$\sigma_{\max}/R_{\text{пр}} = k_y = A_2 + B_2 p, \quad (2)$$

где A_2 и B_2 — постоянные, значения которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Вид бетона	Серия образцов	Средняя призматическая прочность кг/см^2	Постоянные формулы (2)		Относительный предел выносливости при $p=0$	
			A_2	B_2	по формуле (2)	по [2] для тяжелого бетона
Легкий	П-5-2	446	0,58	0,28	0,58	0,60
	П-5-4					
	П-2-1	252	0,46	0,39	0,46	0,53
	П-2-3	198	0,41	0,44	0,41	0,51
	Л-2-3*	203	0,33	0,52	0,33	0,51
Тяжелый	Л-2,5-4	243	0,56	0,29	0,56	0,53
	Б-2-2	216	0,53	0,32	0,53	0,52
	Б-2-1					

* Образцы испытаны в трехмесячном возрасте бетона.

В табл. 2 относительные пределы выносливости при $p=0$ вычислены по формуле (2) и сопоставлены с данными, определенными по формуле О. Я. Берга [2]. Из табл. 2 видно, что относительный предел выносливости легких бетонов при одинаковых $R_{\text{пр}}$ и p несколько меньше, чем для тяжелого бетона. Кроме того, уменьшение характеристики цикла повторной нагрузки в легком низкопрочном бетоне приводит к более резкому, по сравнению с тяжелым бетоном, снижению величины $\sigma_{\max}/R_{\text{пр}}$. Зависимость относительного предела выносливости от характеристики цикла повторной нагрузки представлена на рис. 4.

В экспериментальных исследованиях выносливости бетона имеются противоречивые результаты в отношении влияния абсолютной величины статической кратковременной прочности бетона на его относительный предел выносливости. По данным О. Я. Берга при повышении призматической прочности тяжелого бетона от 200 до 450 кг/см^2 при $p=0$ относительный предел выносливости повышается примерно в 1,2 раза. Это обстоятельство является следствием повышения уровня напряжений микротрещинообразования с увеличением прочности бетона [2, 3]. Другие исследователи приходят к выводу, что относительный предел выносливости не зависит от прочности бетона [4].

На рис. 5 приведены экспериментальные данные О. Я. Берга и автора. Зависимость, отвечающая опытам автора, может быть представлена линейно, уравнением:

$$k_y (p=\text{const}) = A_3 R_{\text{пр}} + B_3, \quad (200 \leq R_{\text{пр}} \leq 450). \quad (3)$$

Здесь, при $\rho = 0$ для литондиопемзобетона $A_3 = 45 \times 10^{-5}$, $B_3 = 0,32$; для перлитобетона $A_3 = -64 \times 10^{-5}$, $B_3 = 0,29$.

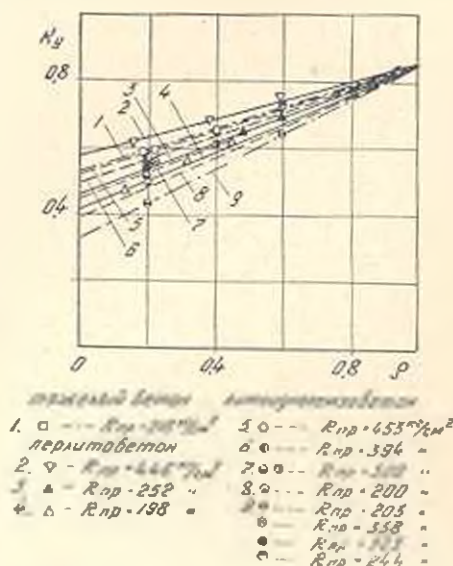


Рис. 4. Зависимость относительного предела выносливости бетона от характеристики цикла повторной нагрузки ρ .

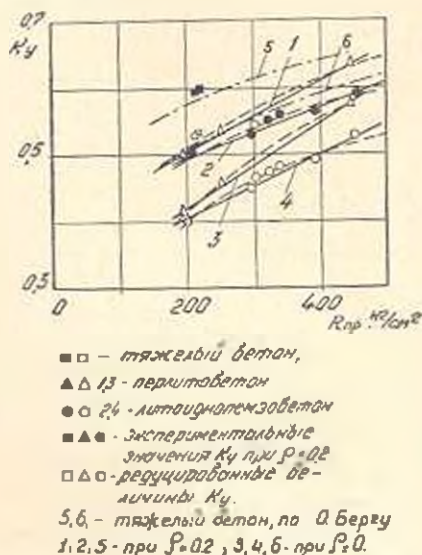


Рис. 5. Зависимость относительного предела выносливости бетона от призмочной прочности при характеристике цикла $\rho = 0,2$ (кривые 1 и 2) и $\rho = 0$ (кривые 3 и 4).

В силу (2) и (3) и, имея в виду, что $k_y = m_{л.л} = 0,85$ при $\rho = 1$ и $k_y = k_{y(\rho=0)}$ при $\rho = 0$ связь между относительным пределом выносливости, призмочной прочностью бетона и характеристикой цикла можно выразить уравнением:

$$k_{y\rho} = m_{л.л} \cdot \rho + k_{y(\rho=0)} \cdot (1 - \rho). \quad (4)$$

где $k_{y(\rho=0)}$ определяется из (3) при $\rho = 0$.

Анализ формулы (4) и экспериментальных данных, приведенных в табл. 1, показывает, что при повышении прочности легкого бетона на литондиопемзе от 200 до 500 кг/см^2 относительный предел выносливости k_y при $\rho = 0$ повышается в 1,33 раза, а для перлитобетона — в 1,46 раза. При этом, для обоих видов легкого бетона при прочности 200 кг/см^2 величина k_y почти одинакова, а при прочности 500 кг/см^2 величина k_y для перлитобетона на 10% выше, чем для литондиопемзобетона и одинакова с тяжелым бетоном.

На рис. 6 представлены кривые относительных пределов выносливости при $\rho = 0$, микротрещинообразования и их соотношения в зависимости от прочности литондиопемзобетона и перлитобетона при их трехмесячном и двухгодичном возрасте. Связь между относительным пределом выносливости и напряжениями микротрещинообразования можно выразить формулой:

$$k_{y(\rho=0)} = \frac{x_1 R_{пр}^2 + x_2 R_{пр} + x_3}{R_{пр}^2} (\text{alg} R_{пр} \dots b \pm c). \quad (5)$$

Здесь $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — опытные коэффициенты, величины которых приведены в табл. 3; a, b, c — опытные величины, значения которых приведены в [1].

А. А. Гвоздев [5] и Р. Джонс [6] возникновение продольных трещин в бетоне при его сжатии объясняют неодинаковыми упруго-пластическими свойствами компонентов бетона и появлением на границах между ними значительных напряжений, приводящих к сдвигу. В тяжелых бетонах, в которых прочность заполнителя больше, чем прочность бетона ($R_3 > R_6$), более податливым обычно является цементный камень и выносливость этих бетонов предопределяется свойствами цементного камня.

В подавляющем большинстве случаев в легком бетоне $R_3 < R_6$ и заполнитель при повторных нагрузках в основном работает за пределом микротрещинообразования и выходит из строя раньше, чем бетон в целом.

Разрушение высокопрочных легких бетонов происходило внезапно, при трещинах, незаметных невооруженным глазом.

Результаты экспериментальных исследований легких бетонов на усталость сопоставлены в таблицах 4 и 5 с аналогичными данными для тяжелого бетона, полученными в ЦНИИС [2, 7]. Как известно, последние были использованы при составлении действующих ныне нормативных положений. Сопоставление сделано при одинаковых кубиковой (табл. 4) и призменной (табл. 5) прочностях, учитывая, что отношения $R_{пр}/R_{куб}$ для легких и тяжелых бетонов неодинаковы. Характеристика цикла повторной нагрузки принята разной $\rho = 0,1$. Из табл. 4 видно, что при одинаковой призменной прочности относительный предел выносливости легких бетонов на естественных заполнителях ниже, чем у тяжелого бетона. При одинаковой же кубиковой прочности бетонов (табл. 5) призменный предел выносливости ($R_{пр}$) легких бетонов больше, чем у тяжелого на 38%, при кубиковой прочности 200 кг/см² и на 6–14% при кубиковой прочности 500 кг/см². Это обстоятельство

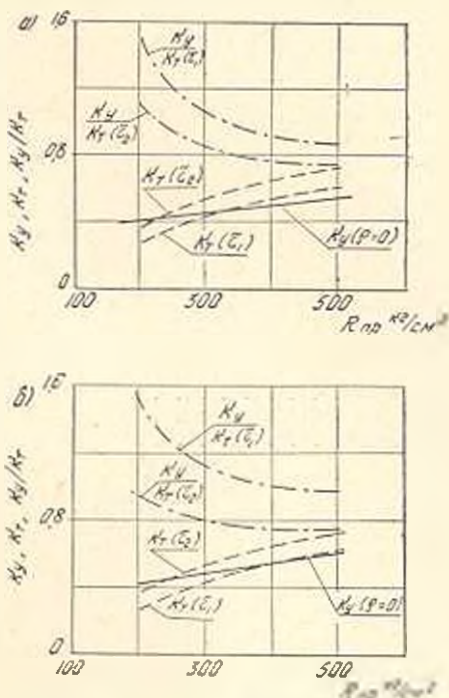


Рис. 6. Зависимость относительного предела выносливости $k_f (p=0,1)$ и относительного предела микротрещинообразования k от призменной прочности бетонов, а — диатомопемзобетон; б — перлитобетон; k_f (—) — относительный предел микротрещинообразования в возрасте бетона $t \approx 3$ месяца; k_f (---) — то же, при $t \approx 2$ года.

Таблица 3

Бетон	Возраст бетона при определении	Коэффициенты формулы (5)		
		α_1	α_2	α_3
Литондиопемзобетон	3 месяца	0,842	— 63,0	38500
	2 года	0,717	— 32,2	21300
Перлитобетон	3 месяца	1,049	— 123,6	43500
	2 года	0,810	— 66,1	18300

Таблица 4

Вид бетона	Относительный предел выносливости k_y при призмочной прочности					
	200	250	300	350	400	450
Тяжелый	0,54	0,57	0,58	0,60	0,62	0,63
На литондиопемзе	0,45	0,47	0,49	0,51	0,53	0,56
На перлите	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,60

Таблица 5

Вид бетона	Характеристики	Кубиковая прочность (разм. $10 \times 10 \times 10$ см) в кг/см ²						
		200	250	300	350	400	450	500
Тяжелый	$R_{пр}$	124	162	200	238	277	315	353
	k_y	0,49	0,52	0,54	0,56	0,58	0,59	0,60
	$R_{пр}$	61	84	108	134	160	186	213
На литондиопемзе	$R_{пр}$	187	226	264	302	340	378	417
	k_y	0,45	0,46	0,48	0,49	0,51	0,53	0,54
	$R_{пр}$	84	105	127	149	174	199	226
На перлите	$R_{пр}$	187	226	264	302	340	378	417
	k_y	0,45	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,59
	$R_{пр}$	85	108	131	157	184	213	244

является следствием того, что отношение призмочной прочности к кубиковой для легких бетонов выше, чем для тяжелых.

По результатам проведенных экспериментальных работ и полученных закономерностей определялись призмочный предел выносливости легких бетонов с учетом роста их прочности во времени при $\rho = 0,1$, на базе 2 млн. циклов нагружений. Результаты подсчетов представлены в табл. 6. Согласно табл. 6 рекомендуется относительный предел выносливости при характеристике цикла $\rho = 0,1$ принимать для литондиопемзобетона $k_{y,6} = 0,80$, для перлитобетона $k_{y,6} = 0,85$.

Таблица 6

Марка бетона		200	250	300	350	400	500
Призменная прочность $R_{пр} = 0,81 R_{д.34}$ в кг/см ²		196	236	277	318	358	439
Коэффициент нарастания прочности во времени k_t		1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,30
Призменная прочность с учетом времени $R_{пр(1)} = k_t \times R_{пр}$		314	364	415	461	502	570
Относительный предел выносливости $k_{y(1)}$	Литондиопемзобетон	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60
	Перлитобетон	0,53	0,56	0,58	0,61	0,64	0,68
Призменный предел выносливости $R'_{пр} = k_{y(1)} \times R_{пр(1)}$	Литондиопемзобетон	157	189	224	258	291	342
	Перлитобетон	163	204	240	281	321	388
$k_{сб} = \frac{R'_{пр(1)}}{R_{пр}}$	Литондиопемзобетон	0,80	0,80	0,81	0,81	0,81	0,78
	Перлитобетон	0,83	0,86	0,87	0,88	0,90	0,88

В связи с этим коэффициенты снижения прочности $k_{сб}$ легких бетонов при других значениях ρ на базе 2 млн. повторений нагрузки с учетом роста прочности бетона рекомендуется принимать по табл. 7. В этой же таблице приведены величины $k_{сб}$ для тяжелого бетона, принятые в действующих нормативных положениях.

Таблица 7

Вид бетона	Значение $k_{сб}$ при ρ равном					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
На литондной пемзе	0,80	0,85	0,89	0,94	0,98	1
На перлите	0,85	0,89	0,93	0,97	1	—
Тяжелый (по СНиП II—В.1-62, табл. 3)	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1

Ա. Ն. ԵՓՈՅԱՆ

ՀՐԱՐԵԱՅԻՆ ԼՑԻՉՆԵՐՈՎ ԹԵԹԵՎ ԲԵՏՈՆՆԵՐԻ ԱՄՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ
ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՆԵՐԸ ԲԱԶՄԱԿԻ ԿՐԿՆՎՈՂ ԲԵՌՆՎԱՆՔԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Առաջին հաղորդման [1] մեջ շարադրված էին Ա. Ն. Եփոյանի կողմից կատարված աստտիկորեն աղյուղ կարճատև սեղմման ժամանակ 200—500 կգ/սմ² խորանարդային ամրությամբ թեթև բետոնների ամրության և զեֆորմացիաների փորձարարական հետազոտումների արդյունքները:

Այս հաղորդման մեջ բերվում են թեթև բետոնների հոդնաձային ամրության փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները: Այդ բետոններում օգտագործված են Հայկական հանրապետության լցիչներ՝ լիթոիդային պեմզա 220 կգ/սմ² ամրությամբ և պերլիտ բնական վիճակում, 442 կգ/սմ² ամրությամբ: Փորձարկումների բազան ընդունված է բնոնաձուրման 2 միլիոն ցիկլ կրկնություն, Կրկնվող բեռների հաճախականությունը եղել է 400—670 ցիկլ մեկ րոպեում: Հոգնաձայնության փորձարկման են ենթարկվել 187 բետոնն պրիզմա:

Փորձարարական հետազոտումների հիման վրա թեթև բետոնների ամրության իյնցման գործակցի՝ k_1 , արժեքները կրկնվող բեռների ցիկլի բնութագրի ? տարբեր չափերի ժամանակ բերված են աղյուսակ 7-ում: Այդ զորժակիցների միջոցով կարելի է որոշել թեթև բետոնների հոգնաձայնի ամրության սահմանները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Епоян А. О. Прочность и деформации легких бетонов на вулканических заполнителях при многократной повторной нагрузке. Сообщение I. Известия АН АрмССР, серия ТII, т. XVII, № 5, 1964.
2. Бург О. Я., Писанко Г. Н., Хромец Ю. И. Предложения по величинам расчетных сопротивлений на выносливость бетонов высоких марок. Н.-г. отчет, ЦНИИС 1961.
3. Бург О. Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона, Трансжелдориздат, 1961.
4. Скрамтаев Б. Г., Шубенкин П. Ф., Баженов Ю. М. Исследование выносливости бетонов. Журн. "Бетон и железобетон", № 12, 1964.
5. Гвоздев А. А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. Стройиздат, 1949.
6. Jones R. Mechanical properties of non-metallic brittle materials, London, 1958.
7. Бург О. Я. Исследование прочности железобетонных конструкций при воздействии на них многократной повторной нагрузки. Тр. ЦНИИС, вып. 19, Трансжелдориздат, 1956.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Ю. С. МАНУКЯН

К РАСЧЕТУ ИНДУКЦИОННОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ С АВТОГЕНЕРАТОРОМ ДЛЯ
ГАЛЬВАНОМЕТРИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЕЙ

В индукционных системах преобразователей гальванометрических усилителей [1—2] привлекают внимание системы, в которых преобразователь взаимной индуктивности (ПМ) включен в цепь положительной обратной связи электронного автогенератора. Основные вопросы анализа таких систем освещены в [3]. Вариант конструктивного исполнения ПМ гальванометрического усилителя представлен на рис. 1, принципиальная схема системы — на рис. 2. Эта преобразовательная система сочетает в себе

ряд положительных свойств (небольшой момент инерции подвижной части гальванометра; малое влияние небольших поступательных перемещений подвижной части; хорошая магнитная связь обмоток; возможность свести к минимуму дополнительный индукционный момент; небольшое влияние паразитных индукций и связей; компактность схемы).

Задачей данной работы является установление связей между параметрами исследуемой схемы и входными, выходными величинами, режимом работы преобразовательной системы, а также выяснение их оптимальных значений при разном характере постановки общей задачи. С этой целью по [3] необходимо определить выражения коэффициента положительной обратной связи K автогенератора и нагрузки лампы по первой гармонике анодного тока R_{a1} .

Исследование автора базируется на следующих предположениях:

- 1) сопротивление конденсатора C не учитывается, так как $R_c \gg (\omega C_c)^{-1}$ (рис. 2);
- 2) влияние сеточной цепи на обмотку возбуждения ПМ не учитывается, так как колебательная мощность в сеточной цепи значительно меньше мощности в обмотке возбуждения;

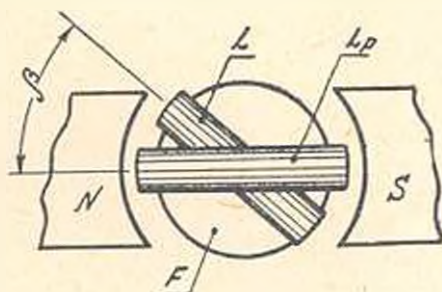


Рис. 1. Преобразователь взаимной индуктивности. L — неподвижная обмотка возбуждения; L_p — подвижная рамка гальванометра; F — сердечник.

Полное сопротивление обмотки возбуждения Z эквивалентно параллельному соединению активного R и индуктивного $X = \omega L$ сопротивлений. Из условия (3) получаем:

$$R = m_R W^2, X = m_X W^2, \quad (5)$$

где

$$m_R = m_z \sqrt{1 + Q^2}, m_X = m_z \sqrt{1 + Q^{-2}}. \quad (6)$$

Воспользовавшись теорией четырех полюсников, определяем параметры цепи положительной обратной связи автогенератора. Окончательно получаем:

$$K = \frac{U_{c-}}{U_{a-}} = \frac{W_{pc}}{W_c}; R_{03} = m_{03} W_{pc}^2, \quad (7)$$

где U_{c-} , U_{a-} — амплитуды напряжения сетки и анода соответственно;

$W_{pc} = W n_1$ — приведенное число витков обмотки возбуждения; (8)

$n_1 = \frac{W_1}{W_2}$ — коэффициент трансформации трансформатора; (8a)

W_1 , W_2 — число витков первичной и вторичной обмоток;

$W_{pc} = x_1 K_r W_p = K_c W_c$ — индукционно связанное число витков рамки; (9)

$m_{03} = x_2 m_R$ — постоянная нагрузки лампы; (10)

$$x_1 = (1 + \gamma^{-2})^{-\frac{1}{2}}, \quad x_2 = \frac{P_{R-}}{P_{a-}} = x_2 \left(1 + \frac{Q}{Q_{2,cc}}\right)^{-1}; \quad (11)$$

P_{a-} — колебательная мощность лампы;

P_{R-} — мощность рассеяния обмотки возбуждения ПМ;

$Q_{2,cc}$ — добротность четырехполюсника, охватывающего конденсатор C и трансформатор $L_1 L_2$ (рис. 2), со стороны вторичной обмотки при холостом ходе.

Общий анализ работы автогенератора в качестве преобразователя показывает, что цепь положительной обратной связи генератора удобно представляется обобщенным параметром

$$R_n = K^2 R_{03} = m_{Rn} W_{pc}^2. \quad (12)$$

Его можно представить условным сопротивлением, приведенным к напряжению сетки U_{c-} и развивающим колебательную мощность лампы P_{a-} . Большие значения R_n обеспечивают большой коэффициент преобразования системы и облегчают режим работы лампы. На основе этого строится расчет элементов схемы. Из (9), (10) находим:

$$R_n = x_2 R_r, \quad (12a)$$

где

$$R_r = m_R (K_r W_p)^2 = K_r^2 R — обобщенный параметр ПМ. \quad (13)$$

Из (12а) следует, что для оптимальной работы системы x_2 должна стремиться к единице. Это условие определяет из (11) значение $Q_{2\text{opt}}$ по величине Q . Величину Q получаем экспериментально.

Для угловой частоты автоколебаний из (1) находим:

$$\omega^2 = \frac{1}{CL} \left(\frac{L}{L_2} + 1 \right). \quad (14)$$

Исследования показывают, что для надежной работы автогенератора желательно чтобы

$$\frac{L_2}{L} = 5 : 7. \quad (15)$$

Это означает, что в обмотке возбуждения ПМ разбивается основная часть реактивной энергии контура, что способствует автоколебательному режиму системы. Следовательно, по (14), (15) можно определить значения L , L_2 и C , которые обеспечивают необходимую величину угловой частоты. Входное возмущение перемещает подвижную систему гальванометра и изменяет коэффициент связи между рамкой и обмоткой возбуждения. В результате изменяется коэффициент положительной обратной связи автогенератора.

Относительное изменение коэффициента обратной связи автогенератора

$$\varepsilon = \frac{dK}{K} = \frac{dK_c}{K_c}. \quad (16)$$

Эти величины определяются экспериментально по выбранным β и приращению $\Delta\beta$ (рис. 1).

При постоянной составляющей анодного напряжения лампы $E_{a0} = \text{const}$ из [3] можно с достаточной точностью получить выражение приращения сеточного смещения

$$de_{cs} = - \frac{S}{S_1} \cdot \frac{dK}{K-D}; \quad (17)$$

приращение постоянной составляющей анодного тока

$$di_{a0s} = - \frac{S^2}{S_1} \cdot \frac{dK}{K-D}, \quad (18)$$

где S — крутизна в рабочей точке лампы, равная статической;

D — проницаемость лампы;

$$S_1 = \left(\frac{\partial S}{\partial e_c} \right)_{e_a} = S^2 R_{cs} \left(\frac{\partial D}{\partial e_c} \right)_{e_a}. \quad (19)$$

После преобразований получим:

$$de_{cs} = - \frac{S^2}{2S_1 D} R_{cs} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{S_{\text{max}}}{S}} \right), \quad (20)$$

$$di_{a0s} = - \frac{S^2}{2S_1 D} R_{cs} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{S_{\text{max}}}{S}} \right), \quad (21)$$

где

$$S_{\min} = \frac{4D}{R_n} \text{ — минимально возможная крутизна лампы для } \quad (22)$$

возбужденного автогенератора.

Обозначим

$$\rho_{i0} = \frac{dI_{i00}}{I}, \quad \rho_s = \frac{S^2}{S_1}. \quad (23)$$

Из (21) находим требуемую крутизну в рабочей точке лампы

$$S^3 + 2\rho_{i0} S^2 + 0.25 (\rho_{i0} S_1)^2 S_{\min} = 0. \quad (23)$$

Для выбранного режима работы лампы получаем

$$W_n = \frac{W_{pc}}{2D} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{S_{\min}}{S}} \right). \quad (25)$$

Откуда при облегченном режиме ($S = S_{\min}$)

$$n_1 = \frac{K_1}{2D}. \quad (26)$$

Условие баланса амплитуд автогенератора выполняется при $W_{n1} < W_n < W_{n2}$, где величины W_{n1} и W_{n2} соответствуют меньшему и большему значениям (25).

Решение относительно R_n определяет

$$R_n = \frac{D}{S} \left(\frac{\rho_{i0}}{\rho_s} \right)^2 \left(\frac{\rho_{i0}}{\rho_s} - 1 \right)^{-1}. \quad (27)$$

Его минимально возможное значение для выбранного режима работы лампы

$$R_{n \min} = \frac{4D}{S}. \quad (28)$$

при этом

$$R_{n1} = R_1, \quad K = 2D, \quad \rho_{i0} = 2\rho_s. \quad (29)$$

Представленные выше соотношения параметров преобразовательной системы позволяют получить их оптимальные значения. Частота колебаний должна соответствовать наибольшей величине R_n (12а), пропорциональной m_R (6). Эта зависимость определяется экспериментально, и для механизма М24 представлена в табл. 1.

Таблица 1

f [кГц]	5	10	20	30	40	50	60	70	80
$m_R \cdot 10^{-3}$ [ом·мм ⁻²]	37	61	108	146	180	220	255	283	315

Однако, собственная емкость обмоток трансформатора и влияние паразитных связей в цепи ограничивают диапазон частот автогенератора. Поэтому величина R_n при относительно большем числе витков

первичной обмотки оказывается заниженной относительно варианта с меньшим числом витков этой обмотки. Исследования показывают, что результирующее значение приращений анодного тока (21) и сеточного смещения (20) для механизма М24 достигают большей величины при исполнении с большим числом витков. Отмеченное противоречие между числом витков первичной обмотки трансформатора и частотой автоколебаний решается правильным выбором числа витков обмотки возбуждения ПМ с помощью соотношений (14), (15), (25). Величина собственной емкости трансформатора требует экспериментального уточнения.

Определим оптимальное расположение рамки гальванометра относительно обмотки возбуждения. Согласно (21) для наибольшего приращения тока необходимо, чтобы выражение

$$R_{\text{н}} = K_{\text{с}} \cdot \Delta K_{\text{с}} \quad (30)$$

достигло максимума. При выбранной частоте колебаний оптимальность величины определяется экспериментально. В табл. 2 приведены результаты испытания макета ПМ (рис. 1) на базе механизма М24. Частота питания $f = 20 \text{ кГц}$.

Таблица 2

$\beta \text{ [град]}$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$K_{\text{с}} \cdot 10^{-3}$	611	504	516	480	440	399	357	313	279	243
$\Delta K_{\text{с}} \text{ [град]} \cdot 10^{-3}$	1,3	2,7	4,9	6,6	7,9	8,4	8,3	7,8	7,4	7,1
$K_{\text{с}} \cdot \Delta K_{\text{с}} \cdot 10^{-3}$	0,8	1,6	2,5	3,2	3,5	3,35	3	2,45	2,15	1,7

Откуда можно принять оптимальное значение $\beta = 15 \div 25^\circ$. Задача дальнейшего расчета заключается в поиске оптимальных параметров системы, обеспечивающих максимум преобразования по анодному напряжению лампы. Рассматриваем случай, когда нагрузочное сопротивление в диагонали моста постоянного тока достаточно большое.

Согласно [3] приращение постоянной составляющей анодного напряжения

$$\Delta E_{\text{ан}} = - \frac{dI_{\text{ан}}}{g_1 + g_{10}}, \quad (31)$$

где g_{10} — динамическая проводимость лампы по постоянному току; $g_1 = R_1^{-1}$ — омическая нагрузка лампы. Эта величина определяется условием работы цепи постоянного тока лампы (ограничением мощности рассеивания, напряжения источника питания $E_{\text{ан}}$ и др.).

Зависимость выходной величины $\Delta E_{\text{ан}}$ (31) от рабочих точек определяет оптимальный режим лампы.

Вариант с исполнением трансформатора большим числом витков несколько труднее поддается предварительному расчету из-за больших собственной емкости первичной обмотки и активных потерь

в ней. Это приводит к снижению величины R_s (12а) за счет уменьшения (11) до $x_s=0,3$. Результаты расчета и экспериментальные данные такого варианта представлены в табл. 3. Основные параметры: триод 6Н12П; $f=10$ кГц;

$$W_p = 230 \text{ вит}; \Delta\beta = 2^\circ; R_s = 19 \text{ ом}; E_{ист} = 220 \text{ в.}$$

Таблица 3

E_{ao} [в]	80	100	120	150	180	200
S [ma в]	2,1	2,6	3,0	3,6	4,6	5,2
n_1 расч.	21,6	31	33,4	37	37,7	38,3
n_1 эксп.	20	30	34	37,5	40	40,7
$di_{ном}$ [ma] расч.	0,075	0,186	0,294	0,480	0,804	0,990
$di_{ном}$ [ma] эксп.	0,070	0,200	0,310	0,545	0,900	1,290
$g_1 \cdot 10^{-3}$ [ma в]	8,15	14,5	24,4	52,6	133	320
ΔE_{ao} [в]	4,2	8,5	10,4	9,5	7	4

Для варианта с меньшим числом витков находим при $E_{ao}=150$ в, $n_1=2$, $f=27$ кГц, $di_{ном}=0,35$ ma. В случае расхождение между экспериментальными и расчетными данными значительно меньше.

Таким образом приведенные автором соотношения позволяют выбрать оптимальные параметры преобразовательной системы (режим работы лампы, данные преобразователя взаимной индуктивности и его цепи, угол поворота подвижной части, входные величины и др.) для различных вариантов постановки задач. Предложенное решение облегчает выбор оптимальных параметров.

Харьковский политехнический институт
им. В. И. Ленина

Поступило 9.VII.1965.

Յու. Ս. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

ԳԱՆՎԱՆՈՒՄԵՏՐԻԿ ՈՒՃԵՂԱՑՈՒՑԻԶՆԵՐ ՈՒՆԵՑՈՂ ԱՎՏՈԳԵՆԵՐԱՏՈՐԻ
ԽՆԴՈՒԿՅՈՒՆ ՎԵՐԱՓՈԽԻՉ ՍԵՍՏԵՄԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Ա. մ փ ո փ ու մ

Հոլովածում տևադրանքով և կալվածման տարիկ ուժեղացուցիչներ ունեցող ալտոգեններատորի ինդուկցիոն վերափոխիչ սխեմայի հաշվարկի հարցերը: Որոշված են վերափոխիչ սխեմայի էլեմենտների պարամետրերի, մուտքի և ելքի մեծությունների և աշխատանքի ուժի մեծության միջև եղած փոխադարձ կապերը: Բացահայտված են ամփոփված հարաբերակցություններ և պարամետրեր, որոնք մատչելի կերպով ներկայացնում են վերափոխիչ սխեմայի աշխատանքը: Պարզարանված են լամպի աշխատանքի ուժի մի, ալտոտատանումների հաճախականության, ինդուկցիոն վերափոխիչի փաթույթների փոխադարձ դասավորության, շարժական սխեմայի տեղադրման օպտիմալ որոշման հարցերը:

Ներկայացված հարաբերությունները թույլ են տալիս ընտրել վերափո-

խիշ սխառմի օպտիմալ պարամետրերը, ընդհանուր խնդրի դրվածքի տարրերը բնույթների համար: Հաշվային և փորձնական տվյալները համընկնում են րազարար չափով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Куликовский Л. Ф., Мелик-Шахназаров А. М., Рабинович С. Г., Селибер Б. А. Гальванометрические компенсаторы. Изд. Энергия, М. - Л., 1964.
2. Фремке А. В., Киселёва Е. А. Гальванометрический усилитель с преобразователем взаимной индуктивности. «Известия ВУЗ», серия «Приборостроение», № 2, 1962.
3. Минуккин К. С. Анализ работы электронного генератора с преобразователем гальванометрического усилителя. «Известия АН Армянской ССР» (серия ТН), № 2, 1965.
4. Туричин А. М. Электрические измерения неэлектрических величин. Госэнергоиздат, 1959.

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Д. А. САРКИСЯН

КОРРЕЛЯЦИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
 МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ, НАКЛЕПАННОЙ ВНЕДРЕНИЕМ
 РАВНОСТОРОННЕГО КЛИНА

В статье описывается случай деформации стали, имеющий место при внедрении жесткого призматического тела (равностороннего клина) в цилиндрический образец из мягкой стали, с соблюдением строгой перпендикулярности лезвия клина к оси образца.

Выбор описанной схемы деформации связан с возникшей необходимостью получить сведения об изменившихся в процессе формирования свойствах поверхностных слоев граней клиновидного паза, в том числе характере распределения: микротвердости, внутренних напряжений, локальных деформации и прочности. Указанные сведения проливают свет на изменения (нарушения) тонкой структуры стали и используются для решения двух, различных по характеру, задач: разработки корректирующих условий — с целью уточнения расчетных формул Аттингера [1], используемых для определения твердости цилиндрических изделий; а также для оценки возможности применения холодно штампованных клиновых пазов в механизмах, в которых они являются областью взаимодействия деталей.

На рис. 1. показана схема деформации. Индентором служил жесткий клин с углом при вершине $2\alpha = 100^\circ$ аналогично клину Аттингера, изготовленный из стали ШХ-15, с твердостью $HV = 850 \text{ кг/мм}^2$, значительно превышающей твердость испытуемых образцов и отполированный до 14 класса чистоты. Исследуемым материалом являлась прокатная малоуглеродистая сталь, содержащая $C \sim 0,1\%$, $Mn \sim 0,3\%$, P и $S \sim 0,03\%$ и др. Твердость стали $HV \sim 95 \text{ кг/мм}^2$.

Из одинаково расположенных участков исходных заготовок подготавливались 2 партии образцов: прямоугольные — с размерами $10 \times 20 \times 55 \text{ мм}$ и цилиндрические диаметром 14 мм длиной 80 мм, причем размеры 55 мм и 80 мм всегда соответствовали направлению прокатки. Указанные размеры образцы приобретали после травления, при

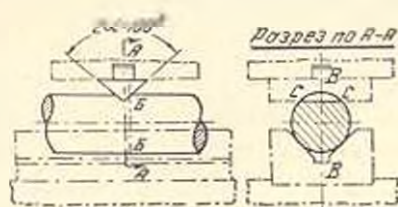


Рис. 1. Схема вдавливания равно-
 стороннего клина в цилиндрический
 образец.

котором удалялся наклепанный механической обработкой слой металла, толщиной более 0,25 мм. На приборе ПМТ—3 после полировки прямоугольных образцов, производились измерения микротвердости (40—50 отпечатков индентора на грань при нагрузке 100 Г). На основании этих данных строились кривые Гаусса и рассчитывались модельные значения микротвердости каждой заготовки. После измерения исходных габаритных размеров прямоугольные образцы подвергались деформации с различной степенью обжатия в специальном щелевом штампе [2]. Конструкция штампа позволяла производить деформирование образцов на определенные степени обжатия и обеспечивала удлинение их вдоль оси в направлении исходной прокатки. Таким образом, сочетание схем главных деформаций, начиная от прокатки и кончая обжатием, для всех прямоугольных образцов было одинаковым—этим обеспечивалась сравнимость результатов измерений физико-механических характеристик. После полировки определялась микротвердость (H_n) различно деформированных образцов по методике, аналогичной измерению и расчетам H_n тех же образцов до их деформации. Далее рассчитывались фактические степени деформации образцов по формуле $\varepsilon = \Delta F/F_0 \times 100\%$, где F_0 — площадь поперечного сечения образца в исходном состоянии, в мм², а ΔF — изменение площади поперечного сечения образца в результате деформации, в мм².

По полученным данным строилась корреляционная кривая: "степень деформации—микротвердость". Рентгенографические характеристики определялись следующим образом: из одинаково расположенных участков деформированных прямоугольных образцов* вырезались кубики со стороной 10 мм. Заданные размеры кубики приобретали после удаления электротравлением наклепанного при резке слоя металла. Измерение остаточных напряжений II рода ($\Delta a/a$) производилось на ионизационной рентгеновской установке УРС—50Н. Для каждого образца с кристаллографических плоскостей (110) и (220) снималось по несколько рентгенограмм в $FeK\alpha$ -излучении. Расчеты $\Delta a/a$ и остаточных напряжений II рода (σ_{II}) производились по методике описанной в [3, 4]. В качестве эталона были приняты результаты рентгенографирования образца исследуемой стали, деформированного на 35% и подвергнутого полному отжигу в вакууме.

Механические испытания исследуемой стали производились на микромашине М-34 системы Шевенар, снабженной фотографическим регистрирующим устройством. Испытывались на микрорастяжение, стандартные по размерам и чистоте поверхности, цилиндрические образцы с диаметром рабочего сечения в 1,5 мм. Причем после токарной обработки также следовала операция травления. При испытаниях

* Исходная сталь, выделенная для изготовления этой партии образцов была медленно охлаждена после горячей прокатки и не подвергалась дополнительному отжигу.

использовались динамометрические пружины оттарированные на 300 кг. По фотографиям диаграмм растяжения производился расчет предела прочности (σ_B). По средним значениям σ_B от 5--6 образцов, имеющих одинаковую степень деформации, составлялись кривые " σ_B — ε ". Операция по внедрению клинового индентора в основные цилиндрические образцы ($d=14$ мм) производилась по схеме рис. 1 под прессом Бринеля при стандартных условиях испытаний. С этой целью образцы устанавливались в призма с 90° пазом, а хвостовик индентора вводился и укреплялся в соответствующем гнезде поднижней детали прессы. Таким образом в результате пластической деформации металла на образцах появились клиновидные отпечатки индентора. Далее одни образцы разрезались поперек—другие вдоль оси. После удаления травлением с полученных поверхностей наклепанного при механической резке слоя металла толщиной $\sim 0,25$ мм, они полировались. Указанные операции производились с таким расчетом, что, в конечном итоге, в распоряжении экспериментатора оставались образцы либо с экспериментальными плоскостями совпадающими с сечениями AA (рис. 1), перпендикулярным оси образца и проходящим через ребро CC отпечатка, либо—с осевым сечением BB перпендикулярным ребру отпечатка CC. Рассмотренные плоскости использовались для оценки характера изменений физико-механических свойств образцов. Определение характера распределения микротвердости производилось на приборе ПМТ—3, при нагрузке 100 г и выдержке 15 сек. Измерения проводились по горизонтальным, вертикальным и перпендикулярным образующей отпечаток рядам, отстоящим друг от друга на расстояние от 350 до 500 мк, в зависимости от расположения локального участка. Для более детальной оценки изменений свойств поверхностного слоя первый—горизонтальный ряд измерений производился на расстоянии 200 мк от образующей отпечатка. Интервал между единичными отпечатками соблюдался в 350 мк.

Как показал анализ полученных результатов характер упрочнения образцов мало чем отличался друг от друга. Указанное определение явилось результатом строгого соблюдения условий испытаний для всех образцов и единичных измерений и подтвердило правильность принятой методики работы.

На рис. 2 представлена увеличенная копия (типовая) экспериментального участка (правая от оси сторона) образца из малоуглеродистой стали, отожженного при 930°C . В образец был внедрен индентор при нагрузке 750 кг и выдержке 30 сек. На рисунке кружочками указаны пункты внедрения индентора и возле каждого из них—полученные значения микротвердости. Рис. 2 наглядно свидетельствует об измененном месте, в результате внедрения индентора, значительном наклепе металла. Так, микротвердость наиболее наклепанного слоя металла, расположенного весьма близко к поверхности паза (~ 200 мк), составляет в среднем около 190 (см. значения B, по "ла"). Чем далее удаляемся от очага деформации, тем значения H_v уменьшаются.

ся. Это удобно проследить по направляющим, перпендикулярным оси паза: I, II, IV и др. Так, например, микротвердость образца при удалении от паза по прямой IV уменьшается от 193 до ~ 140 единиц. Из рис. 2 видно, что при удалении от паза примерно на расстояние 2000 мк (до BB') микротвердость значительно уменьшается и прибли-

жается к значениям H_2 недеформированного состояния образца.

На рис. 3 представлена кривая

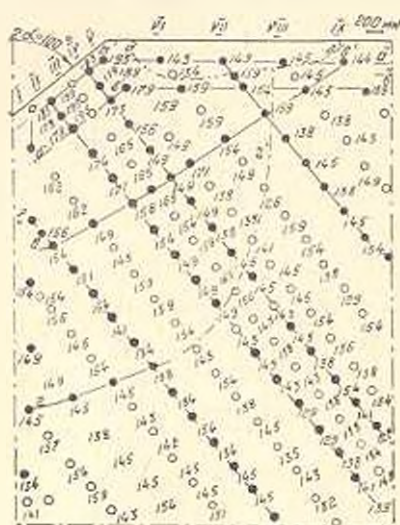


Рис. 2. Картина распределения микротвердости по осевому сечению цилиндрического образца, в районе отпечатка клиновидного индентора.



Рис. 3. Характер изменения свойств малоуглеродистой стали, обусловленного внедрением клиновидного индентора, с углом при вершине $2\alpha = 100^\circ$.

характеризующая распределение физико-механических параметров в экспериментальном участке, образованном сечением AA (рис. 1), т. е. в плоскости перпендикулярной рассмотренной экспериментальной плоскости (рис. 2.) Кривая составлена на основании статистической обработки результатов измерений по 9 рядам, перпендикулярным ребру CC (рис. 1). Из рис. 3 видно, что изменение H_2 происходит по нисходящей кривой, а наклепанная зона распространена вглубь образца вплоть до ~ 2500 мк. Существенных изменений H_2 не наблюдается. В начале статьи была описана методика определения H_2 , $\Delta\sigma/\sigma$, ϵ_H и ϵ_B в зависимости от степени деформации исследуемой стали. Эти данные использованы при составлении рис. 3. Вначале, используя корреляционную зависимость " $H_2 - \epsilon$ ", были определены значения ϵ относительно точек кривой, характеризующих абсциссами 200, 800, 1600, 3200, 4000. Далее соответственно полученным значениям ϵ были вычислены величины $\Delta\sigma/\sigma$ и ϵ_B , при этом использовались корреляционные зависимости " $\epsilon - \epsilon_H$ " и " $\epsilon - \Delta\sigma/\sigma$ " ($\epsilon = -\epsilon_H$). Все эти данные представлены на рис. 3. Таким образом, создана возможность наблюдения за ходом изменений всех представленных физико-механических характеристик, по мере приближения ко дну паза (CC). Как видно из рис. 3 в результате внедрения индентора, в максимально деформированных участках исследованной стали ϵ_B превы-

сил более чем в два раза исходное значение. Δa достигло $0,7 \times 10^{-3}$ (т. е. до 14 кг/мм^2), а микротвердость — $\sim 190 \text{ кг/мм}^2$, т. е. более чем на 45° выше исходного значения H_a ($\sim 130 \text{ кг/мм}^2$). В то же время степень деформации образца, даже в максимально упрочненных участках, оказалась сравнительно не высокой. Как видно из рис. 3, $\varepsilon_{\text{макс.}} = 10^0$. Таким образом, при испытаниях на твердость методом вдавливания клинового индентора, физико-механические характеристики испытываемой стали ферритного класса претерпевают, в очаге деформации, существенные изменения. С полученными результатами полностью согласуются сведения, выявленные ранее [2, 5], при применении сферических, конических и пирамидальных инденторов.

Из изложенного следует, что для повышения точности измерений в расчетные формулы по определению твердости металлов методом вдавливания должны вводиться коэффициенты, учитывающие степень и характер наклеиваемости испытываемых материалов. Приведенные характеристики очагов деформации должны учитываться при проектировании новых видов инденторов, режимов испытаний и расчетах возможной (достижимой) точности оценки твердости. При этом необходимо иметь в виду, что чем меньше степень деформации (в среднем) в очаге, чем меньше ее распространяемость и чем более однородно распределены в нем физико-механические характеристики стали (ε , H_a , Δa и др.), тем выше достижимая точность получаемых чисел твердости.

ЦИИФТИ

АН Армянской ССР

Поступило 14.1.1965.

Г. А. САРАХИАН

ՀԱՎԱՍԱՐԱՆՈՂՈՒ ՍԵՓԻ ՆԵՐՈՐՄԱՆ ՀԵՏԵՎԱՆՔՈՎ ՄԱՍԿՈՓՎԱՅ ՍԱՀԱՎԱՅԻԱԾՆԱՅԻՆ ՊՈՂՊԱՏԻ ՖԻԶԻԿԱ-ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ԿՈՐՐԵԼԱՅԻԱՆ

Ս. Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Սույն աշխատանքում բերված են ստեղծագործական ազդեցություն ($C \approx 0,1\%$) տարրեր ֆիզիկա-մեխանիկական բնութագրերի փոփոխության բնույթի հետազոտման արդյունքները, երբ այն պնդացված է կոշտ պրիզմայաձև մարմնի (Հավասարակողմ սեղ) ներդրման հետևանքով: Բերված են տվյալներ՝ զեֆորմացիայի օջախում ընկալվող առարկայի բնութագրերի, միկրոկարծրության առկային (լույս) զեֆորմացիայի փոխարկում, ինչպես նաև կորկացիոն կախվածություններ, որոնք լույս են ափսոսում նույն կառուցվածքի փոփոխությունների (խախտումների) վրա և վերջին տալիս լուծել որոշակի դործնական խնդիրներ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Attlinger M. C.* Hardness testing method for small cylindrical workpieces. *Ind. Diamond Rev.* 7, s. 264, 1947.
2. *Саркисян Д. А.* Исследование характера упрочнения малоуглеродистой стали методом ступенек наклепываемости. Изв. ВУЗ (черная металлургия), Металлургиздат, 2, 103, 1962.
3. *Курдюмов Г. В., Лысак Л. И.* О природе размытости интерференционных линий на рентгенограммах отпущенного мартенсита, Журн. технической физики, т. XVII, вып. 9, 993, 1947.
4. *Саркисян Д. А.* О связи трещин в холоднодеформированной малоуглеродистой стали с микротвердостью и остаточными напряжениями II рода. Изв. АН АрмССР, т. XII, серия ТН, № 6, 1959.
5. *Саркисян Д. А.* Твердость металлов и вопросы точности ее оценки. „Промышленность Армении“, № 5, 1965.

ГИДРОЛОГИЯ

Р. Г. ЗАДОРЖНАЯ

ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ НОРМЫ МИНИМАЛЬНОГО СТОКА
ПРИТОКОВ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. АРАКС

В настоящей работе автором в качестве основной характеристики минимального стока приняты наименьшие среднемесячные расходы (модули) летне-осенней (VII—XI) и зимней межени (XII—III) отдельно. Однако, в расчетах пользовались средними минимальными расходами, подсчитанными за многолетие. Исследования проводились на примере непересыхающих рек.

Точность расчета характеристик минимального стока определяется качеством исходных материалов, основным недостатком которых является слабая освещенность нижней части кривой зависимости $Q = f(H)$ — измеренными расходами. Это обстоятельство часто вынуждает при расчетах минимальных расходов прибегать к экстраполяции, что в свою очередь вносит погрешность, которая не поддается точному учету. Невысокая точность экстраполяции наглядно обнаруживается при построении графиков связи двух смежных постов. Нередки случаи, когда минимальный расход вышележащего поста значительно отличается от такового для нижележащего поста. Поэтому в целях контроля приходилось увязывать минимальные расходы не только смежных постов, но и вообще по длине реки.

Вода рек и речек, в пределах рассматриваемой территории, используется для целей водоснабжения и ирригации не только в предгорных районах или при выходе на равнину, как это практикуется в Средней Азии, но нередко непосредственно у места образования сосредоточенного водотока. Поэтому о естественной величине расхода можно судить только при наличии достаточно точных сведений о величине отъемов, независимо от их значения. В данной работе естественные расходы получены на основании сведений по стоку, помещенных в гидрологических ежегодниках, сведений по отборам для ирригационных целей, а также для нужд водоснабжения.

При определении естественных минимальных расходов реки Севджура, формирующей меженные расходы, в основном, за счет артезианских вод Араратской котловины, артезианская составляющая была вычтена.

Расчетный период был принят с 1935 по 1962 годы. Однако из 32 расчетных створов насчитывается всего 15 створов с таким перио-

дом наблюдений или близким к нему, поэтому период наблюдений оставшихся 17 створов путем удлинения был приведен к расчетному.

Для удлинения ряда прежде всего использовались графики связи

$$Q_N = f(Q_n), \quad (1)$$

где Q_N — норма минимальных расходов поста-аналога; Q_n — норма минимальных расходов исследуемого поста.

Кроме того, приведение короткого ряда к длинному осуществлялось еще по формуле С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля [1]

$$Q_N = Q_n + r \frac{\sigma_{Q_N}}{\sigma_{Q_n}} (Q'_N - Q'_n). \quad (2)$$

Здесь Q_N и Q_n — средние наименьшие расходы по рассматриваемому посту; Q'_N и Q'_n — средние наименьшие расходы по посту-аналогу; σ_{Q_N} и σ_{Q_n} — средние квадратичные отклонения по рассматриваемому посту; r — коэффициент корреляции между Q и Q' .

Методика исследования для приближенного расчета нормы минимального расхода (модуля) строилась на основе зависимости (1) с учетом модульного коэффициента (K). Однако исследования осуществлялись еще и в направлении выяснения зависимостей $q_{ml} = f(H)$ и $q_{ml} = f(H_{вр})$. Здесь H — средне-взвешенная высота бассейна до замыкающего створа; $H_{вр}$ — глубина ирезания русла, величина которой определялась как разность между средней высотой бассейна и отметкой нуля графика поста.

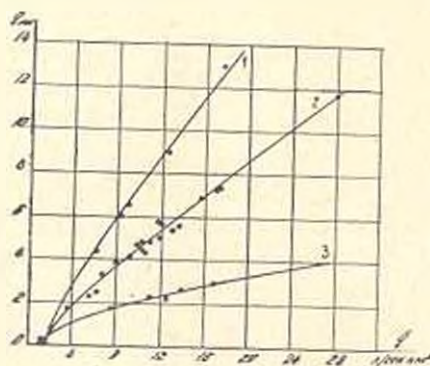


Рис. 1. Зависимость модуля минимального стока летней межени ($q_{1,2}$) от модуля среднего-годового стока (q). 1 — бассейны с сильно, 2 — средне, 3 — слабо-регулируемым стоком.

Прежде всего исследования были направлены на выяснение связи модуля минимального летнего стока (q_{ml}) от нормы годового стока (q) т. е.

$$q_{ml} = f(q). \quad (3)$$

Построив такую зависимость, легко заметить, что точки исследуемой территории располагаются на семействе прямых, расположенных неперообразно под различными углами по отношению к оси абсцисс в логарифмической шкале. Эти зависимости вместе с экспериментальными точками представлены на рис. 1 в обычной шкале. Анализ показывает, что расположение точек, в основном, регулируется геологией территории. В качестве такого показателя, которым можно было бы объяснить расположение точек, принят модульный коэффициент

($K = Q_{\text{стл}}/Q$) или $q_{\text{стл}}/q$), которым, в частности, воспользовался в своих исследованиях А. Н. Важнов [2].

Несколько иной подход был применен в работах [3, 4], авторы которых исследовали степень зарегулированности бассейнов рек территории Армянской ССР. Было установлено, что коэффициент естественной зарегулированности изменяется в пределах от 0,15 до 0,75. Следует также отметить, что в основу этих исследований авторы положили материалы фактических наблюдений, поэтому в настоящей работе использовать их результаты не представлялось возможным.

В результате анализа оказалось, что в пределах исследуемой территории можно выделить три основных вида бассейнов:

1. Бассейны рек с высоким модульным коэффициентом $K_{\text{ср}} = 0,73$. Предельные значения его $0,91 > K > 0,61$. В данном случае меженный сток незначительно отличается от нормы полного среднегодового стока. К числу таких относятся реки, бассейны которых образованы четвертичными андезито-базальтовыми лавами и известняками. Как один, так и другой комплекс пород обладает большой трещиноватостью, с благоприятными условиями для инфильтрации атмосферных осадков вглубь, где они собираются и выходят на дневную поверхность в эрозионных оврагах и балках в виде родников, а в районе озера Севан — непосредственно в озеро.

2. Бассейны рек со средними модульными коэффициентами, где $K_{\text{ср}} = 0,48$ (значение модульного коэффициента находится в пределах $0,60 > K > 0,31$).

3. Бассейны рек с низким модульным коэффициентом $K_{\text{ср}} = 0,21$, (предельные значения его $0,10 \leq K \leq 0,30$), которые дают существенную разницу между меженным и полным годовым стоком. Сюда относятся бассейны, сложенные слабопроницаемыми вулканогенными породами (бассейны рек: Мармарик, Далар, Гомур), а также бассейны, сложенные сильно трещиноватыми породами или аллювиальными отложениями, которые, наоборот, заметно поглощают, и воды, фильтруясь, уходят либо в более глубокие водоносные горизонты, либо выклиниваются на дневную поверхность в другом бассейне (Карангу, Гарновит, Дзыкнагет).

Область распространения бассейнов с высоким коэффициентом представлена в верховье левобережья реки Ахурия (р. Гукасян — п. Красар, Ахурия — п. Амасия); в бассейне озера Севан — северо-восточный берег (р. Джил — п. Джил), юго-восточная часть озера — приустьевая часть бассейна (р. Масрик — п. Цовак). Интересно отметить, что р. Масрик еще в средней своей части (п. Мазра) относится к типу рек с низким модульным коэффициентом ($K = 0,12$), а в нижней части — с высоким ($K = 0,73$). Это явление объясняется довольно высоким меженным стоком, который река формирует из артезианских вод Мазринской равнины. Высоким коэффициентом отличаются как восточные склоны Гегимского хребта (рр. Ганарагет — п. Норадуз, Бахтак —

п. Цаккар, Личк—п. Личк), так и западные (р. Азат—п. Гарни, Зовашен).

Что касается распространения бассейнов с низким коэффициентом ($K_{ср} = 0,21$), здесь нужно отметить область, которая охватывает верхнюю правобережной части р. Ахуран (бассейны рр. Кармраван, Чивилин, Элларгет) и северо-западный склон г. Аргаци (рр. Гарновит, Карангу). Следующая наибольшая область охватывает верхнюю правобережной части р. Раздан, смыкаясь с северо-западной частью бассейна озера Севан и простирается до водораздела р. Арданиш (рр. Мармарик, Далар, Гомур, Дзыкнагет, Тохлуджа), а также отдельными небольшими пятнами на западном склоне Севанского (рр. Гюней, Шамнырт) и юго-западном склоне Варденисского хребтов (рр. Алучалу, Астхадзор). Отмечается небольшая территория с низким модульным коэффициентом в среднем течении реки Арпы (рр. Даракюрт, Зиракиджур, Терп). Такое распространение бассейнов с различными коэффициентами можно объяснить сложностью геологической обстановки исследуемой территории.

Таблица 1
Классификация рек по модульному коэффициенту

Типы рек	Река — пункт	$q_{пл}$	q_2	$H_{м}$	$H_{пр.м}$	$k = \frac{q_{пл}}{q}$
		л/сек	км ³			
1. Бассейны рек с высоким модульным коэффициентом	Джил — Джил	6,54	9,00	2480	370	0,73
	Масрик — Цовак	4,33	6,04	2310	402	0,72
	Гаварагет — Норадуз	5,99	8,18	2430	514	0,73
	Азат — Гарни	13,0	17,5	2420	1200	0,74
	Азат — Зовашен	9,05	12,5	2220	1265	0,72
2. Бассейны рек со средним модульным коэффициентом	Ахуран — Капе	4,69	9,94	2210	545	0,47
	Ахуран — Ахурик	3,85	7,89	2100	641	0,49
	Ахуран — Айкхадзор	1,76	3,56	2010	613	0,49
	Севджур — Эчмиадзин	5,76	11,7	1660	831	0,49
	Севджур — Ралчпар	5,71	11,9	1610	788	0,48
	Касах — Анаран	0,88	2,13	2320	441	0,41
	Касах — Зонун	2,31	5,48	2260	453	0,42
	Касах — Аштарак	3,28	6,57	2140	467	0,50
	Раздан — Канакер	4,77	10,2	2060	1011	0,46
	Раздан — Масис	4,45	9,18	1840	1037	0,48
	Памбак — Памбак	4,80	11,0	2510	488	0,43
	Варденик — Варденик	6,90	15,6	2680	716	0,44
	Аргичи — Геташен	5,37	13,0	2470	528	0,41
	Карадзи — Карадзи	7,39	17,4	2600	334	0,42
	Веди — Карабахлар	2,52	6,2	2090	971	0,41
	Арпа — Кечут	11,7	27,9	2750	823	0,42
	Арпа — Чейкенд	5,63	13,6	2320	1044	0,41
	Арпа — Ехегнадзор	4,15	9,10	2140	1065	0,45
	Арпа — Арени	1,32	10,5	2100	1130	0,41
	Элегис — Шатин	7,27	17,1	2350	1136	0,42
	Салигет — Шатин	5,07	11,8	2070	818	0,43
3. Бассейны рек с низким модульным коэффициентом	Мармарик — Агавилдзор	2,61	13,7	2350	640	0,22
	Далар — Аракван	2,69	11,0	2110	57	0,20
	Гомур — Метраадзор	2,97	16,8	431	639	0,18
	Дзыкнагет — Цовагюх	2,23	12,7	22,0	303	0,18
	Карангу — Карибджанян	0,31	1,15	2020	555	0,26
	Гарновит — Гарновит	1,75	7,50	2640	493	0,22

Результаты расчетов для каждой кривой в отдельности дают вполне приемлемые результаты, что позволяет использовать полученные кривые в первом приближении для расчета нормы минимального стока. Аналитически полученные зависимости можно представить в следующем общем виде:

$$q_{\text{тл}} = c (q)^n. \quad (4)$$

Значение параметров c и n , а также коэффициента корреляции (r) и среднеквадратичной ошибки (σ) по Гауссу приведены в нижеследующей таблице.

Таблица 2

Районы	c	n	r	$\sigma, \%$
1	8,00	0,96	0,99	10,0
2	3,94	1,05	0,99	6,4
3	1,91	1,02	0,99	17,2

Обращает на себя внимание параболическая форма кривых зависимостей (3) тем, что кривые не проходят через начало координат, а отсекают от оси абсцисс отрезки, пропорциональные величине площади нулевого стока (F_0). Величина этих отрезков колеблется в пределах 1—2 л/сек км². На эту особенность обращал внимание в своей работе А. Н. Важинов [2]. Площадь нулевого стока [5] является хорошим показателем минимального стока, так как она зависит от тех же физико-географических факторов, что и минимальный сток. Поэтому при исследовании формирования минимального стока рек, как рекомендует автор работы [5], следует принимать не всю площадь водосбора, а разность $F - F_0$. Однако, вопросы о величине распространения площадей нулевого стока в настоящей работе не изучались, поэтому в расчетах принималась полная площадь бассейна. В результате анализа исходных материалов оказалось, что минимальные расходы (модули) летне-осенней и зимней межени по абсолютной величине отличаются друг от друга. Как правило, годовой абсолютный минимум приходится на зимнюю межень; минимальные расходы (модули) летне-осенней межени чаще приходятся на осенние месяцы. Сравнение минимальных модулей летне-осенней и зимней дают разницу которая не превышает 1,30 л/сек км². Кроме того, построив зависимость

$$q_{\text{тл}} = f(q_{\text{тл}}), \quad (5)$$

где $q_{\text{тл}}$ — модуль минимального зимнего стока, — получена настолько тесная зависимость (рис. 2), что ее можно вполне использовать как переходную для расчета минимальных расходов (модулей) зимней межени.

Для определения минимального расхода (модуля) зимней межени достаточно полученное расчетным путем значение расхода (модуля) летней межени умножить на постоянный переходный коэффициент

$K = 0,92$. Наряду с влиянием климатического фактора было интересно выяснить степень влияния геологии бассейна в зависимости от средней высоты бассейна.

Известно, что геологическое строение бассейнов, вследствие раз-

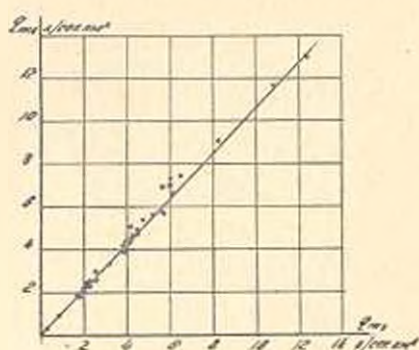


Рис. 2. Зависимость между модулями минимального стока зимней и летней межени.

личных условий подземного водообмена нарушает общую закономерность географического распределения стока, в таком случае сток речных бассейнов будет отражать не климатические особенности, а особенности геологической структуры и литологии горных пород, определяющих подземный водообмен. В районах с интенсивным водообменом одни реки имеют повышенное грунтовое питание за счет соседних бассейнов, другие наоборот, незначительное грунтовое пи-

тание. В таких случаях модули полного стока, а тем более минимального стока, будут заметно отличаться друг от друга вследствие различия гидрогеологических условий, несмотря на то, что климатические условия будут одинаковы.

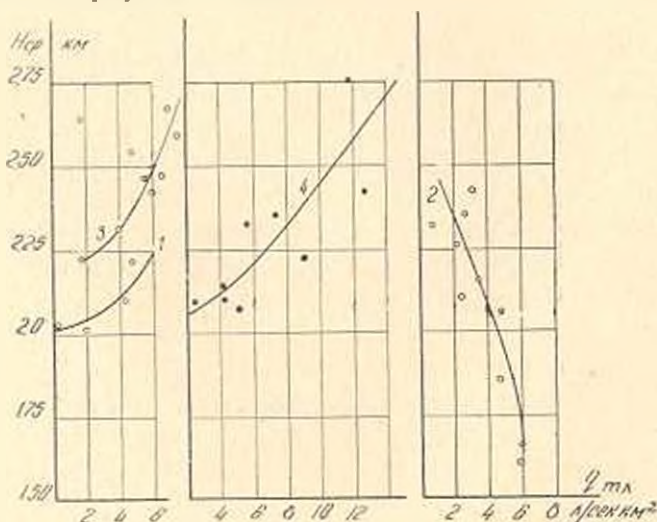


Рис. 3. Зависимость модуля минимального стока летней межени от средней высоты бассейна. 1 — Северо-западный район; 2 — Центральный; 3 — бассейн оз. Севан; 4 — Южный.

Исходя из этих предпосылок и были построены зависимости $Q_{\min} = f(H)$, на основании которых в пределах рассматриваемой территории было выделено четыре района: I — Северо-западный, бассейн р. Ахуран, II — Центральный (бассейны рек: Касах, Раздан, Севджур), III — Бассейн оз. Севан, IV — Южный (бассейны рек: Азат, Веди, Арпа).

Из рис. 3 можно видеть, что полученная связь неоднозначна. Так, для районов 1, 3 и 4 зависимость подтверждают нарастание модуля минимального стока с высотой местности, для района 2, наоборот, уменьшение. Объяснение полученной обратной зависимости можно найти только в гидрогеологической обстановке исследуемой территории. Бассейны, входящие в этот район, сложены, в основном, мощным (до 600 м) четвертичным лавовым комплексом, отличающимся наличием сильно трещиноватых пород, которые целиком поглощают атмосферные осадки. Трещиноватость пород в некоторых местах достигает до подошвы отдельных лавовых потоков. Это создает благоприятные условия для формирования мощных водных потоков на большой глубине, которые текут по палеодолинам подлавого рельефа и разгружаются в современных эрозионных понижениях. Однако благодаря глубокому проникновению, подземные воды могут только частично выходить на дневную поверхность в среднегорных районах. Оставшаяся часть стекает в направлении меньших отметок, подпитывая артезианский бассейн Араратской котловины. На примере района 2 легко убедиться, что геологическое строение территории, может повлиять на закономерность распределения минимального стока.

Для каждого выделенного района были построены зависимости

$$q_{\text{мл}} = f(H_{\text{вр}}). \quad (6)$$

Построив такую зависимость (рис. 4), можно отметить тенденцию нарастания модуля минимального летнего стока по мере заглубления русла. На рис. 4 имеются заметно отклоняющиеся точки. Анализ при-

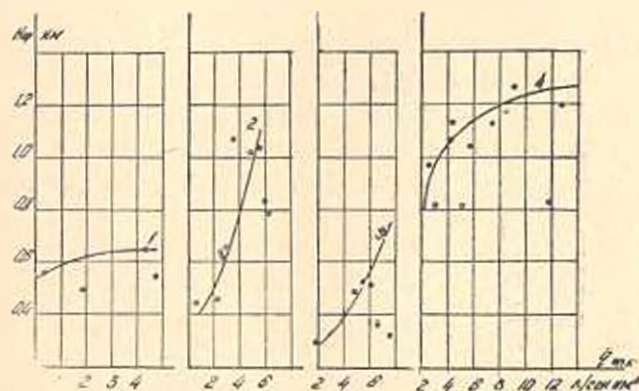


Рис. 4. Зависимость модуля минимального стока летней межени от глубины презания русла.

чин их отклонения приводит к выводу об огромном влиянии, которое вносит гидрогеологическая обстановка в процесс дренирования подземных вод. Так, на кривой 4 (рис. 4) можно видеть заметное отклонение точек (п. Кечут — $H_{\text{вр}} = 822$ м; Чайкенд — $H_{\text{вр}} = 1044$ м; Гарни — $H_{\text{вр}} = 1200$ м). В данном случае имеем завышенный модуль минимальных расходов. Это явление объясняется наличием, в пределах указанных районов, водообильных зон, существование которых обус-

ловлено благоприятными геологическими условиями. В результате река, в зависимости от геологической обстановки, при одинаковой глубине врезания русла, может дренировать, а следовательно и формировать, неодинаковые расходы. Несмотря на отдельные аномалии, влияние глубины врезания на формирование меженных расходов прослеживается. Таким образом, предложенный приближенный способ расчета позволяет с достаточной для практических целей точностью определить модули минимального стока как для летне-осенней, так и для зимней межени.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 30.VII.1965.

Ռ. Դ. ԶԱԴՈՐՈՋՆԱՅԱ

ԱՐԱՔՍ ԳԵՏԻ ՄԻՋԻՆ ՀԱՍՆԵՐ ՎՏԱԿՆԵՐԻ ՄԵԿԻՄԱԼ ՀԱՐԻ ԼՈՏԱԿԱՐ ՈՐԱՇՈՒՐԸ

Ա մ փ ո ւ փ ո ւ մ

Հողփածում բերվում է մինիմալ հոսքի մոդուլի փոփոխությունների և միջին հոսքի մոդուլի տանջությունը, որը ներկայացված է զԺ. 1-ի վրա: Գիտարկվող գետերը բաժանվում են 3 հիմնական խմբերի՝ առավել, միջին և թույլ կանոնավորվածության առաժանի: ԳԺ. 2-ի վրա ներկայացված է տվյալ և ձմռան մինիմալ հոսքերի մոդուլների կապը:

Հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ առավել կանոնավորված հոսք ունեցող գետերի համար կանոնավորվածության գործակիցը $K=0,73$, միջինը՝ $0,48$ և թույլը՝ $0,21$: Առնչությունն ունի (4) տեսքը, բնութագրում այն բնորոշող պարամետրերի արժեքները բերված են աղյուսակ 2-ում:

Առաջարկված մոսավոր մեթոդը հետազոտություն է տալիս գործնական նպատակների համար անհրաժեշտ հշտությունը որոշել մինիմալ հոսքի մոդուլը, միջին հոսքի մոդուլի և կանոնավորվածության գործակիցի միջոցով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Крицкий С. Н., Меньгель М. Ф. Гидрологические основы речной гидротехники. Изд. АН СССР, М.—Л., 1950.
2. Вайснов А. И. Средний многолетний сток рек Армянской ССР и его внутригодовое распределение. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1956.
3. Торгоян А. С. Характеристика водных ресурсов горных рек с точки зрения их энергетического использования. Изв. АН АрмССР, сер. ФМЕТ, т. VIII, № 2, 1955.
4. Шахбазян И. А. К типизации кривых обеспеченности среднесуточных расходов рек Армянской ССР. Изв. АН АрмССР, сер. ФМЕТ, т. IX, № 10, 1956.
5. Курдов А. Г. К вопросу изучения минимального стока малых рек. Метеорология и гидрология, № 1, 1961.

ГИДРОЛОГИЯ

А. И. ЗАК

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ МИНИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК
АРМЯНСКОЙ ССР

Минимальный сток горных рек Армянской ССР наблюдается обычно в зимний период и он обусловлен наличием и емкостью наземных и подземных аккумуляторов влаги. К наземным аккумуляторам относятся озера, к подземным — почво-грунты и коренные породы, представляющие собой подземные водохранилища. Особо благоприятные условия для аккумуляции подземных вод создают бассейны с водоносными трещиноватыми породами, через которые происходит питание рек, в период летней и зимней межени. Влияние подземного питания имеет настолько большое значение, что даже смежные бассейны, при одинаковых физико-географических условиях, размерах и высотном положении, отличаются друг от друга по водности в период летней и даже зимней межени. С другой стороны, чем больше бассейн, тем больше сглаживающее влияние местных геологических азональных факторов и тем больше влияние зональности на минимальный сток. Итак, величина минимального стока непосредственно зависит от запасов воды в бассейнах и от глубины вреза речных русел.

Косвенным показателем размеров грунтового питания реки до некоторой степени является норма годового стока, характеризующая условия увлажнения бассейна, и площадь водосборов и другие факторы, определяющие ее аккумулялирующую способность. На учете этих двух факторов основано большинство эмпирических формул для расчета минимального стока. Для горных рек Армянской ССР, вследствие большого разнообразия гидрогеологических условий, зависимость минимального стока летней и зимней межени от площади и средней высоты бассейнов рек прослеживается весьма слабо. Если же исключить случаи, когда подземный подтобмен между смежными водосборами значителен, можно ожидать достаточно удовлетворительную связь между минимальным и средним годовым модулями стока в виде

$$M_{\min} = f(M_0). \quad (1)$$

Очевидно, что эта зависимость будет правильно отражать естественное состояние реки в период летней и зимней межени в том случае, если учтены отъемы из реки на ирригацию и водоснабжение. К сожалению это не всегда учитывалось исследователями в прошлом, в

результате чего действительный минимальный сток искусственно занижался. Отсутствие показателя естественной зарегулированности стока является одной из причин неудовлетворительных результатов определения минимального стока рек Армянской ССР.

В целях установления влияния естественной зарегулированности стока в период летней и зимней межени, в качестве показателя зарегулированности стока нами принято отношение среднего за весь ряд наблюдений (32 года) наименьшего за зимние месяцы среднего месячного расхода воды — $Q_{\text{зим}}$ к среднему многолетнему расходу воды (норма стока) данной реки Q_0 .

$$K_z = \frac{Q_{\text{зим}}}{Q_0} \quad (2)$$

В помещаемой ниже табл. 1 приведены значения норм минимальных годовых значений расходов воды зимней и летней межени, годового стока, а также коэффициентов зарегулированности и вариации стока.

В бассейне реки Севджур наблюдается наиболее высокий показатель геологической зарегулированности $K=0,97$. Небезинтересно от-

Таблица 1

Наименование гидрологического поста	Площадь F , км ²	Средняя высота подбора H , м	Зимняя межень $Q_{\text{зим}}$, м ³ /сек	Летняя межень $Q_{\text{лет}}$, м ³ /сек	Норма годового стока Q_0 , м ³ /сек	Коэффициент зарегулированности K_z	Коэффициент вариации минимального стока $C_{\text{мин}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Памбак—Наалбанд	368	2050	0,31	0,81	2,82	0,11	—
Памбак—Спитак	460	2111	0,99	2,26	8,57	0,12	—
Памбак—Арчут	660	1990	1,13	2,62	4,05	0,28	—
Памбак—Кировакан	960	—	1,44	2,97	6,20	0,23	—
Памбак—Мегрут	1070	1980	1,60	4,03	8,57	0,19	0,23
Памбак—Шагали	1250	1960	2,05	4,60	10,00	0,21	—
Памбак—Туманян	1370	1920	2,38	4,98	11,6	0,21	0,34
Чичкан—Гетик	103	2250	0,28	0,48	1,14	0,25	—
Чичкан—Наалбанд	181	2240	0,37	0,68	1,67	0,22	0,37
Варднан—Джрашат	13,3	2050	0,04	0,04	0,09	0,44	—
Варднан—Спитак	92	1905	0,16	0,57	0,50	0,32	—
Тандзут—Хидзорут	92	2120	0,33	0,55	1,86	0,18	0,28
Тандзут—Кировакан	148	1850	0,42	0,89	2,70	0,16	—
Дзорaget—Степанаван	1000	1930	4,00	6,35	12,6	0,32	0,14
Чкпах—Степанаван	163	1990	0,39	0,98	2,55	0,15	0,30
Дебет—Ахтала	3430	1820	8,70	14,9	32,5	0,27	—
Марцигет—Туманян	255	1720	0,20	0,58	2,47	0,12	0,39
Агстев—Дилижан	222	2000	0,39	0,58	2,45	0,16	0,33
Агстев—Иджеван	1300	1800	1,21	2,32	9,22	0,13	0,32
Агстев—Кривой мост	1610	1725	1,42	2,58	11,3	0,13	0,23
Гетик—Красносельск	94	2120	0,02	0,14	0,11	0,14	0,38
Гетик—Алачук	594	1940	0,49	0,82	3,68	0,13	—
Воскепар—Воскепар	178	1830	0,09	0,18	1,97	0,08	0,38
Ахум—Цахкяван	169	1650	0,33	0,43	1,56	0,21	—
Ахиджа—Айгедзор	433	1630	0,38	0,39	3,05	0,12	0,36
Ахуриан—Шурабад	230	2350	0,63	0,71	2,36	0,27	—
Ахуриан—Капе	839	2210	3,10	5,10	8,63	0,36	—
Ахуриан—Ахурик	1010	2100	3,92	6,10	10,0	0,39	0,15
Ахуриан—Айгадзор	1140	2010	11,9	17,3	28,2	0,42	—

Продолжн. табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Карангу—Карибджанян	1020	2020	0,29	0,72	1,13	0,26	—
Гариопит—Гариовит	12	2640	0,02	0,02	0,09	0,22	0,5
Касах—Анаран	385	2320	0,15	0,25	0,85	0,18	0,39
Касах—Зовуни	591	2260	0,78	1,35	3,29	0,24	0,36
Касах—Аштарак	1020	2150	2,00	4,10	6,43	0,31	0,27
Гехарот—Араган	386	9100	0,14	0,28	0,82	0,17	0,66
Севджур—Зейва	2620	1410	20,3	21,3	21,3	0,95	0,06
Севджур—Эчинадзин	3260	1660	24,7	25,7	25,7	0,96	0,13
Севджур—Ранчпар	3540	1610	27,2	28,0	28,0	0,97	0,07
Раздан—Ахлюрак	760	2190	2,6	7,6	11,5	0,20	0,37
Раздан—Арзин	1270	2140	5,8	5,8	15,5	0,38	0,42
Раздан—Ереван	1910	2000	6,5	0,5	21,5	0,30	0,35
Мармарик—Агавнадзор	387	2350	0,06	1,11	5,71	0,17	0,31
Дзюкнагет—Цовнагох	85	2220	0,12	0,13	1,08	0,11	0,39
Памбак—Памбэк	20	2540	0,05	0,10	0,20	0,25	0,26
Масрик—Мазра	327	2380	0,80	0,60	1,29	0,62	—
Масрик—Басаргечар	458	2340	0,86	1,07	2,10	0,11	0,15
Масрик—Цовак	685	2312	0,60	2,89	3,76	0,69	0,14
Макенис—Картахпюр	116	2602	0,62	0,91	1,00	0,62	0,14
Варденик—Варденик	105	2760	0,35	0,56	1,75	0,20	0,40
Аогичи—Геташен	366	2470	1,25	1,57	4,83	0,25	0,22
Карадзи—Карадзи	92	2600	0,65	0,80	1,60	0,41	0,33
Гавзрагет—Норадуз	467	2430	2,24	3,20	3,76	0,70	—
Азат—Гарин	326	2120	3,60	3,65	5,03	0,61	0,10
Азат—Зовашен	526	2220	4,20	4,50	7,31	0,57	0,10
Вели—Карабахлар	329	2090	0,47	0,50	1,90	0,25	0,37
Арпа—Кечут	211	2750	2,47	2,84	5,39	0,16	—
Арпа—Ехегнадзор	1220	2140	3,69	1,86	11,7	0,33	0,16
Арпа—Арсни	2060	2100	6,74	8,75	22,1	0,31	0,21
Элегис—Шатин	458	2350	1,98	2,71	9,95	0,21	0,13
Салигет—Шатин	174	2070	0,36	0,50	1,80	0,20	0,25
Мегригет—Анчик	21	2960	0,10	0,70	0,75	0,13	0,28
Вохчи—Кафан	660	2380	1,73	2,70	8,24	0,21	0,30
Норашеник—Норашеник	96	1050	0,05	0,2	0,92	0,05	0,37
Воротан—Борисовка	507	2630	2,34	4,83	7,45	0,31	0,20
Воротан—Ангахакит	787	2520	3,44	6,76	11,4	0,30	0,17
Воротан—Урут	1550	2380	6,86	11,0	18,5	0,37	0,12
Воротан—Эйлазлар	2020	2280	8,80	13,5	22,6	0,39	0,15

метить, что на реке Севджур коэффициент вариации стока $C_v=0,06$, т. е. он оказывается наименьшим на территории Армянской ССР. Большой диапазон колебания коэффициента естественной зарегулированности свидетельствует о разной степени влияния подземного и озерного регулирования на сток рек, в результате чего нарушается связь между минимальным стоком—площадью и средней высотой водосбора.

По отдельным физико-географическим районам были получены следующие коэффициенты зарегулированности (табл. 2). Рассмотрение приводимого графика связи минимального стока $Q_{\text{зм}}$ с нормой стока Q_0 наглядно показывает, что эта связь оказывается линейной, т. е.

$$Q_{\text{зм}} = K \cdot Q_0, \quad (3)$$

причем коэффициент K , изменяется по территории в больших пределах (от 0,23 до 0,97), что нарушает связь между минимальным сто-

Таблица 2

Наименование физико-географического района	Реки, протекающие в данном физико-географическом районе	Коэффициент зарегулированности		
		средний по району	минимальный	максимальный
Ахурьяно-Разданский	Ахурян Касах Гехарт Раздан Мармарик	0,27	0,17	0,42
Лебедский	Намбак Чичкан Дзорагет Талдзут Дебет	0,13	0,33	0,50
Агстевский	Агстев Тавуш Гетик	0,27	0,27	0,27
Севапский	Аргичи Масрик Гаварагет Дзыкнагет	0,37	0,37	0,37
Азат-Арпинский	Азат Ведп Арпа	0,52	0,44	0,67
Воротан-Мегринский	Вохчи Воротан Мегригет	0,37	0,27	0,48
Севджурский бассейн	Севджур	0,96	0,95	0,97

ком и нормой стока (рис. 1)*. Каждая из семи значений коэффициента K_z соответствует определенным условиям естественной зарегулированности.

Табл. 2 наглядно показывает, что река Севджур находится в особых геологических условиях (коэффициенты зарегулированности находятся в пределах 0,95–0,97), в которую разгружается подземный сток ниже впадения реки Касах в количестве 24 м³/сек.

В заключение отметим, что между коэффициентом зарегулированности и коэффициентом вариации минимального стока, имеется, как это видно из рис. 1, удовлетворительная зависимость. Имея коэффициент естественной зарегулированности можно определить коэффициент вариации минимального стока рек.

* Полученные на рис. 1 семь зависимостей $Q_{\min} f(Q_0)$ не согласуются с отдельными региональными физико-географическими районами указанными в табл. 2 и их следует рассматривать лишь как функцию от геологической зарегулированности.

Между минимальным стоком зимней и летней межени имеется связь, позволяющая рассчитать минимальный сток летней межени,

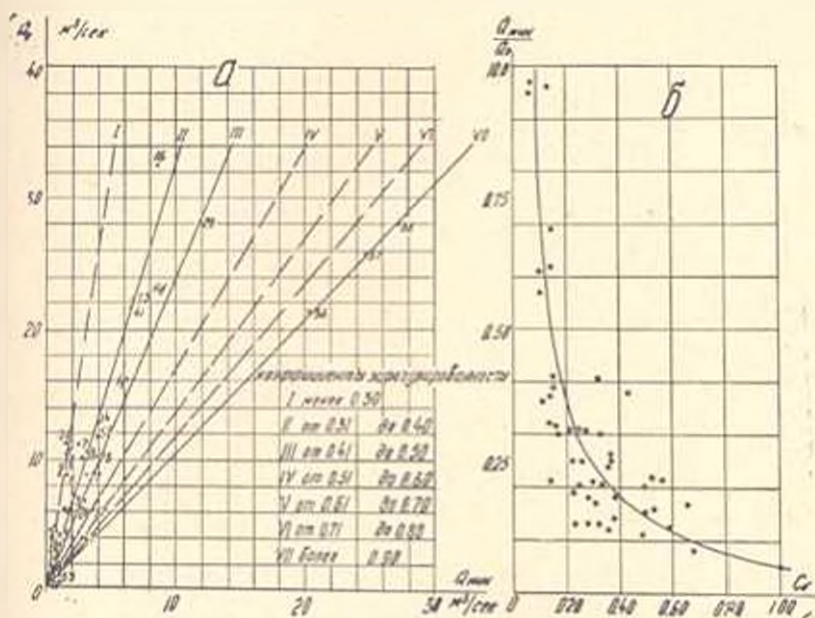


Рис. 1. Зависимость минимального зимнего расхода воды от среднего многолетнего расхода и коэффициента вариации минимального стока от естественной зарегулированности.

(рис. 2). Уравнение связи с точностью $\pm 10\%$, $\pm 15\%$ может быть представлено формулой

$$Q_{\text{лет. меж.}} = 2.14 Q_{\text{зим. меж.}}^{0.72} \quad (4)$$

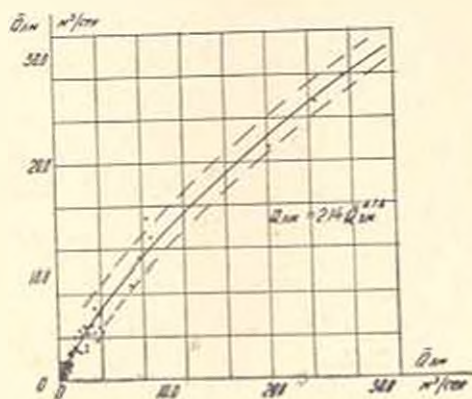


Рис. 2. Связь минимальных расходов воды зимней и летней межени.

Таким образом, для определения нормы минимального стока летней межени для неизученной реки необходимо пользоваться картой среднего годового стока рек Армянской ССР и коэффициентом естественной зарегулированности, определить норму минимального стока зим-

ней межени. Затем, на основании зависимости типа (4) определить норму минимального стока летней межени.

ИНСТИТУТ МВХ
Армянской ССР

Поступило 12.X.1965 г.

Ա. Ի. 204

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՈՒ ՊԵՏՏՐԻ ՆՎԱԶԱԴՈՒՅՆ ՀՈՍՔԻ ՀԱՇՎՈՒՆ ՀԱՐՅԻ ՇՈՒՐՋՈՒ

Ա մ փ ո լ ի ո թ

Հիդրոլոգիական ցանցի կայանների դիտումների նյութերի անալիզի և բնոգնարացման հիման վրա հողվածում որոշվում է գետերի մինիմալ հոսքը և նրա փոփոխականությունը:

Հեղինակը նշում է, որ լեռնային գետերի վրա մինիմալ հոսքը սովորաբար դիտվում է ձմեռային սեզոնում և այն կախված է հոսքի բնական կանոնավորվածությունից (լճային և գրունտային սառեցումից):

Աշխատանքում ստացվում է կապ մինիմալ հոսքի և բնական կանոնավորվածության ցուցանիշի միջև, որը արտահայտվում է (2) բանաձևով:

Գրաֆիկ կախվածությունը հեղինակը ստանում է ուղիղ գծերի բնտանիքի տեսքով, որի չորաքանչյուր դիժր համապատասխանում է կանոնավորվածության գործակիցի որոշակի արժեքին:

Հետապատկան կանոնավորվածության գործակիցները կապվում են միջին և մինիմալ հոսքի վարիացիայի գործակիցների հետ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Важнов А. И. Средний многолетний сток рек Армянской ССР. Изд. АН Армянской ССР, Ереван, 1956.
2. Валеев В. И. Исследование стока горных рек Армянской ССР. Изд. АН СССР М., 1955.
3. Зак А. И. Сток рек Армянской ССР и его формирование. АН Азербайджанской ССР, Баку, 1963 (автореферат).
4. Зак А. И. Средний сток и его изменчивость по рекам Армянской ССР. Известия АН Армянской ССР, серия ТН, т. XV, 1962.
5. Зак А. И. Использование кривых истощения стока для прогноза водности реки Дзорагет. Тезисы докладов совещания по проблеме гидрометеорологии горных стран. Ереван, 1963.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Р. С. АВЕТИСЯН, А. Б. ПИРАДОВ, В. Г. АСАТЯН

О КОЭФФИЦИЕНТЕ ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ЛЕГКИХ
БЕТОНОВ НА ЕСТЕСТВЕННЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Одной из важных физико-механических характеристик бетонов является коэффициент линейного расширения α_l . Величина этого коэффициента для тяжелого бетона, приведенная в СНиП, равна $10 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Значения α_l для тяжелого бетона, полученные разными исследователями, находятся в пределах $(7-15) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ [1]. В [2] для керамзитобетона, значения $\alpha_l = (5-10) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$.

Для бетонов на ракушечниках различных карьеров получены значения коэффициента α_l равные $(3,8-6,7) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ [3, 4]. Для бетонов на анийском пемзе и арктиском туфе по опытам А. Ф. Отре-на значения коэффициента α_l находятся в пределах $(10-14) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$.

Таблица 1

Вид бетона	Вид заполнителя	Проекти- руемая мар- ка бетона	Расход материалов на 1 м ³ бетона			
			портланд- цемент М-500 кг	щебень	песок	вода
				в литрах		
Легкий	Кармирашенский шлак $\gamma_n = 0,575 \text{ т/м}^3$ $\gamma_m = 0,410 \text{ т/м}^3$	100	350	725	725	320
	Туф ереванского типа $\gamma_n = 1,175 \text{ т/м}^3$ $\gamma_m = 0,79 \text{ т/м}^3$	100	200	840	560	250
		300	400	800	540	310
	Литоидная пемза $\gamma_n = 0,91 \text{ т/м}^3$ $\gamma_m = 0,722 \text{ т/м}^3$	100	200	780	630	250
		300	420	665	665	215
Тяжелый	Базальтовый щебень и кварце- вый песок $\gamma_n = 1,490 \text{ т/м}^3$ $\gamma_m = 1,260 \text{ т/м}^3$	300	350	945	500	162

В Армянской ССР широко применяются легкие бетоны на кармирашенском шлаке, литоидной пемзе и туфах ереванского типа. Поскольку коэффициенты α_l таких бетонов не определены, в Армянском

ИИИ стройматериалов и сооружений были проведены соответствующие исследования. Исследования проводилось на бетонных призмах $5 \times 5 \times 15$ см. Составы бетонов приведены в табл. 1.

Одновременно с призмами были забетонированы кубики размерами $10 \times 10 \times 10$ см. На следующий день после бетонирования образцы были пропарены в лабораторной пропарочной камере при $t = 80^\circ\text{C}$ с режимом пропаривания 3—6—3 часа. После пропарки кубики и часть образцов призм хранились в естественных условиях, а часть призм была высушена в сушильном шкафу до постоянного веса при $t = 90^\circ\text{C}$.

Коэффициент линейного расширения определялся на высушенных образцах, и на образцах естественно-влажностного хранения. Для замера деформаций были применены датчики сопротивления с базой 100 мм, приклеиваемые на бетонные призмы с двух противоположных сторон. Так как удельное сопротивление константана, из которого изготовлены датчики, меняется в зависимости от температуры окружающей среды, определение коэффициента α , прямым измерением не представляется возможным. Поэтому вместе с бетонными образцами в сушильный шкаф помещались образцы-эталон из частей меди, коэффициент α , для которых находится в пределах $(16,2 - 16,6) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Коэффициент α бетонных образцов определялся по разности показаний датчиков на медных и бетонных образцах с учетом коэффициента α меди, принятого равным $16,4 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Замеры деформации производились прибором АИ-1. Отсчеты по приборам брались при температурах в сушильном шкафу 20, 45 и 75°C . Температура помещения поддерживалась постоянной, равной 20°C . Судя по показаниям датчиков усадка у высушенных образцов и процессе нагревания отсутствовала. При определении α у образцов нормально-влажностного хранения величина усадки бетона учитывалась.

В табл. 2 приведены полученные значения коэффициентов линейного расширения легких бетонов на естественных заполнителях.

Таблица 2

Вид бетона	Прочность бетона в кг/см^2		Коэффициент линейного расширения $1 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$	
	кубики $10 \times 10 \times 10$ см	призмы $5 \times 5 \times 15$ см	высушенных образцов	образцов нормально-влажностного хранения
Карьерашенский шлак	112	80	5,3	—
Тuff ереванского типа	100	78	5,8	5,8
	230	198	7,0	7,7
Липтондкая пемза	91	81	5,0	6,7
	298	224	6,4	8,8
Тяжелый бетон	438	240	7,8	7,9

В табл. 2 значения призмочной прочности приведены по испытанию образцов, на которых определялся коэффициент α . Полученные значения коэффициента α для тяжелого бетона совпадают с

данными НИИЖБ [5] для аналогичных марок бетона — $(7,3 : 8,9) 10^{-6} \text{ град}^{-1}$.

Как видно из табл. 2 значения α_t для высушенных образцов меньше, чем для образцов нормально-влажностного хранения. Коэффициент α_t зависит от вида заполнителя. С увеличением расхода цемента в бетоне при одном и том же заполнителе значения α_t увеличиваются.

АИСМ

Поступило 28.1.1966.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мурашев В. И. Железобетонные конструкции. Госстройиздат, М., 1962.
2. Бужевич Г. И. и Корнев Н. А. «Керамзитожелезобетон». Госстройиздат, 1953.
3. Яцук В. Е. Исследование прочности и деформативности бетонных и железобетонных изделий из мелкозернистого бетона на пористом известковом заполнителе. Автореферат. Львов, 1963.
4. Лысенко Е. И. Некоторые особенности известняка-ракушечника как заполнителя для цементных бетонов. Сб. тр. Ростовского инженерно-строительного ин-та, 1966.
5. Тулов Н. И. Исследование ползучести бетона при повышенной температуре. Автореферат. М., 1965.

А. М. ГАСПАРЯН, Н. С. ИКАРЯН

О ВЛИЯНИИ СПОСОБА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА ФОРМУ ЧАСТИЦ ПОМОЛА

Ранее было показано [1], что форма, конфигурация частиц помола зависит только от свойств измельченного материала (породы, минерала) и не зависит от степени измельченности. При измельчении образуется полидисперсный помол, содержащий частицы самых различных размеров, но все эти частицы данного измельченного материала, независимо от их величин, имеют, в общем, одну и ту же форму, конфигурацию. Представление о том, что частицы очень тонкого помола по форме приближаются к сфере — ошибочно. Это было доказано на примерах базальта, галенита, буланжерита, стекла, барита и арагонита. В этих исследованиях все материалы были подвергнуты измельчению одним и тем же способом — в лабораторной фарфоровой шаровой мельнице. Поэтому вопрос о том, влияет ли на форму частиц помола сам способ измельчения — оставался открытым. Настоящее сообщение имеет задачу ответить на этот вопрос.

С этой целью куски галенита и барита с начальным размером 15–20 мм были измельчены четырьмя способами: в лабораторной щековой дробилке, с многократным возвратом материала в дробилку, для получения достаточно мелких фракций; в лабораторной фарфоровой мельнице; в ступке, вручную, с применением только вертикальных ударов (раскалывание); в ступке, вручную, с применением только безударных, раздавливающих усилий (растирание).

данными НИИЖБ [5] для аналогичных марок бетона — $(7,3 : 8,9) 10^{-6} \text{ град}^{-1}$.

Как видно из табл. 2 значения α_t для высушенных образцов меньше, чем для образцов нормально-влажностного хранения. Коэффициент α_t зависит от вида заполнителя. С увеличением расхода цемента в бетоне при одном и том же заполнителе значения α_t увеличиваются.

АИСМ

Поступило 28.1.1966.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мурашев В. И. Железобетонные конструкции. Госстройиздат, М., 1962.
2. Бужевич Г. И. и Корнев Н. А. «Керамзитожелезобетон». Госстройиздат, 1953.
3. Яцук В. Е. Исследование прочности и деформативности бетонных и железобетонных изделий из мелкозернистого бетона на пористом известковом заполнителе. Автореферат. Львов, 1963.
4. Лысенко Е. И. Некоторые особенности известняка-ракушечника как заполнителя для цементных бетонов. Сб. тр. Ростовского инженерно-строительного института, 1966.
5. Тулов Н. И. Исследование ползучести бетона при повышенной температуре. Автореферат. М., 1965.

А. М. ГАСПАРЯН, Н. С. ИКАРЯН

О ВЛИЯНИИ СПОСОБА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА ФОРМУ ЧАСТИЦ ПОМОЛА

Ранее было показано [1], что форма, конфигурация частиц помола зависит только от свойств измельченного материала (породы, минерала) и не зависит от степени измельченности. При измельчении образуется полидисперсный помол, содержащий частицы самых различных размеров, но все эти частицы данного измельченного материала, независимо от их величин, имеют, в общем, одну и ту же форму, конфигурацию. Представление о том, что частицы очень тонкого помола по форме приближаются к сфере — ошибочно. Это было доказано на примерах базальта, галенита, буланжерита, стекла, барита и арагонита. В этих исследованиях все материалы были подвергнуты измельчению одним и тем же способом — в лабораторной фарфоровой шаровой мельнице. Поэтому вопрос о том, влияет ли на форму частиц помола сам способ измельчения — оставался открытым. Настоящее сообщение имеет задачу ответить на этот вопрос.

С этой целью куски галенита и барита с начальным размером 15–20 мм были измельчены четырьмя способами: в лабораторной щековой дробилке, с многократным возвратом материала в дробилку, для получения достаточно мелких фракций; в лабораторной фарфоровой мельнице; в ступке, вручную, с применением только вертикальных ударов (раскалывание); в ступке, вручную, с применением только безударных, раздавливающих усилий (растирание).

Из помолов, полученных этими способами измельчения, выделялись по три ситовых фракции с размерами частиц: а) 3 ± 4 м.м, б) $0,20 \div 0,25$ м.м и в) $0,06 \div 0,075$ м.м. Всего были выделены и исследованы 24 фракций (12 фракций галенита и столько же барита). Бы-

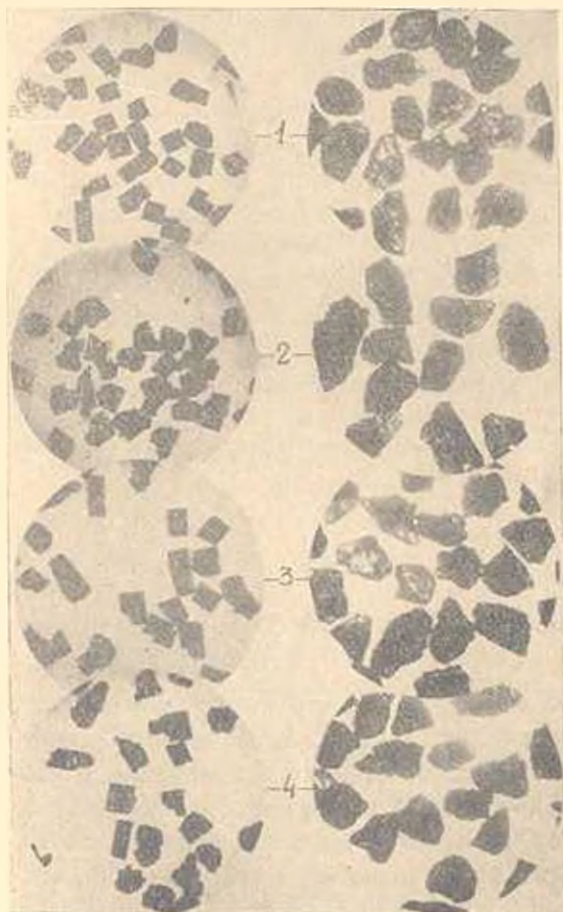


Рис. 1.

Рис. 2.

ли сняты микрофотоснимки всех фракций. Визуально не было обнаружено влияние способа измельчения на конфигурацию частиц. В качестве примера приводятся микрофотоснимки (рис. 1 и 2) галенита фракции $0,06-0,075$ м.м и барита фракции $0,20-0,25$ м.м. Нумерация снимков на рис. 1 и 2 соответствуют вышеприведенным номерам способов измельчения.

Для получения более объективных, чем визуальная оценка, данных об идентичности форм частиц, экспериментально было определено значение объемного коэффициента α_0 для частиц обоих материалов, для фракций $0,06-0,075$ м.м. Расхождение в значениях α_0 для частиц, полученных различными способами измельчения, не превышало $1,5\%$, что находится в пределах ошибки опыта. Например, для

частиц барита, измельченных раскалыванием, α_0 составлял 1,284, а для частиц, полученных путем растирания, $\alpha_0=1,296$.

Определение значений α_0 производилось описанным ранее методом [1]. Вывод: способ измельчения материала не имеет ощутимого влияния на форму образуемых частиц помола.

Институт органической химии
АН Армянской ССР

Поступило 10.II.1966.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гаспарян А. М., Икorian Н. С. ДАН АрмССР, т. XXXVIII, № 3, 1964.

Ր Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

ՆԵՐՊԵՏԻԿԱ

82

Հ. Տ. Աղուկ. Ներգոստեմների մաթեմատիկական մոդելացման հարցերը	3
Պ. Ա. Ներսիսյան, Թաղաքային էլեկտրական ցանցերի արանքաբաժանորհների հզորության հաշվումը հավանականության մեթոդով	13

ՀԻՄՆԱՎՂԻԿԱ

Վ. Հ. Խոմաշյան. Հիդրավլիկական հարվածը խողովակներում հոսքից հեղուկի լարման դեպքում	19
---	----

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՏԻՎՆԵՐ

Ա. Հ. Յվառյան. Հրաբխային լցիչներով թեթև բառանների ամրությունը և զեֆորմացիաները բազմակի կրկնվող բռնեղման դեպքում	24
---	----

ԶԱՓՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

Ջո. Ս. Մանուկյան. Գալվանեմետրիկ ուժեղացուցիչներ ունեցող ավտոզեննրատորի ինդուկցիոն վերափոխիչ սխեմայի հաշվարկը	33
--	----

ՄԵՏԱՂԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Դ. Ա. Սարգսյան. Հալահալոգենային և քիմիական հետազոտությունների մեկնակցությունը սակավածխածնային պողպատի ֆիզիկա-մեխանիկական բնութագրերի կորելացիան	41
---	----

ՀԻՄՆՈՂՈՒԹԱ

Ռ. Գ. Ջաղթաբեկյան, Արաքս գետի միջին հոսանքի վտակների մեխանիկական հոսքի մոտավոր որոշումը	47
Ա. Ի. Զախ. Հայկական ՍՍՀ գետերի նվազագույն հոսքի հաշվման հարցի շուրջը	55

ԳԻՏԱԿԱՆ ՆՈՒՅՐ

Ռ. Ս. Սվետիսյան, Ա. Բ. Պիրուցով, Վ. Գ. Ասատրյան. Ինական լցիչներով թեթև բառանների զմային բեղաբաժանի զորակների մասին	61
Ա. Մ. Գասպարյան, Ն. Ս. Լիսարյան. Մանրացման եղանակի ազդեցությունը աղացվածքի մասնիկների մեխ. վրա	63

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Энергетика

- Г. Т. Адоиц.* Вопросы математического моделирования энергосистем 3
Е. А. Нерсисян. Вероятностный метод расчета мощности трансформаторов городских электрических сетей 13

Гидравлика

- В. О. Токмаджян.* Гидравлический удар в трубах при движении трехфазной жидкости 19

Строительные конструкции

- А. О. Епоян.* Прочность и деформации легких бетонов на вулканических заполнителях при многократной повторной нагрузке (Сообщение 2) 24

Измерительная техника

- Ю. С. Манукян.* К расчету индукционной преобразовательной системы с автогенератором для гальванометрических усилителей 33

Металловедение

- Д. А. Саркисян.* Корреляция физико-механических характеристик малоуглеродистой стали, наклепанной внедрением равностороннего клина 41

Гидрология

- Р. Г. Задорожная.* Приближенный расчет нормы минимального стока притоков среднего течения р. Аракс 47
А. Н. Зак. К вопросу о расчете минимального стока рек Армянской ССР . . 55

Научные заметки

- Р. С. Аветисян, А. Б. Пирадов, В. Г. Асатрян.* О коэффициенте линейного расширения легких бетонов на естественных заполнителях 61
А. М. Гаспарян, Н. С. Икриян. О влиянии способа измельчения на форму частиц помола 63

