

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ.
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՄԻԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈՒՆԳՐԱ

Ազոնց Հ. Տ., Ալեքոսիակի Վ. Վ., Գասպարյան Ա. Մ., Եղիազար-
յան Ի. Վ., Կասյան Մ. Վ., Կազարով Ա. Գ. (պատ. խմբագիր),
Սիմոնով Մ. Զ., Տեր-Ստեփանյան Է. Ի., Փիլաթյան Վ. Վ. (պատ.
խմբագիր տեղակալ)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Азонц Г. Т., Алексеевский В. В., Гаспарян А. М., Егиазаров
И. В., Касьян М. В., Назаров А. Г. (отв. редактор), Пи-
маджян В. В. (зам. отв. редактора), Симонов М. З., Тер-
Степанян Г. И.

А. М. ГАСПАРЯН, Р. Е. АКОПЯН

ПНЕВМОТРАНСПОРТ ПРИ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ

Пневматический транспорт сыпучих и зернистых материалов и народном хозяйстве применяется очень широко, что объясняется рядом его преимуществ по сравнению с механическими способами транспорта на сравнительно небольшие расстояния. Однако еще более широкому распространению пневмотранспорта мешают некоторые его недостатки, основными из которых являются: 1) сравнительно большой расход энергии (сжатого воздуха); 2) значительный износ транспортирующих труб; 3) трудности обеспыливания отработанного воздуха в случае транспортировки порошкообразных материалов по причине больших объемов этого воздуха. Применяемые на пневмотранспорте большие скорости перемещения (десятки метров в секунду) приводят к измельчанию, износу или повреждению также самых транспортируемых частиц, что крайне нежелательно в ряде случаев. Например, при транспортировании злаков повреждение приводит к снижению качества как семенного материала; гранулированный катализатор частично измельчается и теряется и т. д.

Нетрудно понять, что главной причиной перечисленных недостатков является применение больших скоростей транспортирования. Уменьшение этих скоростей позволит увеличить концентрацию твердой фазы в транспортируемой смеси, т. е. уменьшить удельный расход воздуха (энергии). Уменьшение скоростей одновременно резко сократит износ труб и повреждение частиц. С уменьшением удельного расхода воздуха облегчится вопрос его обеспыливания. Увеличение концентрации твердой фазы должно привести к возрастанию сопротивления потоку на единицу длины пути, но одновременное уменьшение скорости может в итоге привести к уменьшению этого сопротивления.

Однако, несмотря на очевидные преимущества транспортирования при возможно высоких концентрациях, на практике оно осуществляется при очень низких концентрациях. Это, по-видимому, следует объяснить тем, что с повышением концентрации твердой фазы (что в свою очередь связано с уменьшением скоростей, иначе потери напора на трение сильно будут расти) возрастает опасность забивок линии, так как существующие приспособления для образования тран-

спортируемой смеси "насосы" — камеры, смесители и пр. не позволяют более или менее уверенно регулировать и поддерживать соотношение фаз. По-видимому, на практике легче мириться с указанными недостатками малых концентраций и больших скоростей, чем с трудностями, которые возникают при частых забивках.

Но если найдется решение простого и точного регулирования и поддержания соотношения фаз, тогда может быть практически осуществлен пневмотранспорт при больших концентрациях твердой фазы.

Ниже приводится описание именно такого решения вопроса.

Пусть сосуд (рис. 1) заполнен каким-либо сыпучим материалом. Если в сосуд подавать сжатый газ с давлением $P_1 > P_2$, то, очевидно, он будет фильтроваться через поры насыпи, войдет снизу в трубу *Б*, как это условно показано стрелками, продолжит фильтроваться через зернистый слой насыпи в трубе и удалится, не вызывая перемещения материала, если его скорость небольшая.

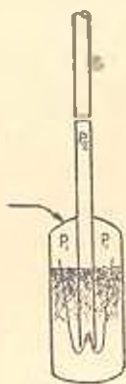


Рис. 1.

Увеличением $\Delta P = P_1 - P_2$ можно ускорить фильтрацию газа и добиться такой скорости в трубе *Б*, при которой частицы материала, несколько удаляясь друг от друга, перейдут во взвесь и начнут двигаться вверх с потоком газа. Если материал однороден по крупности частиц и их плотности, то во взвесь перейдет все содержимое трубы *Б*. Как принято говорить, твердый,

сыпучий материал переходит в псевдооживленное состояние. Но, "оживление" наступает не только в трубе. Материал переходит в такое состояние также у нижнего обреза трубы, где скорость газа такого же порядка, что и в трубе, и потоком газа заносится в трубу, вызывая в ней непрерывный подъем уровня взвеси. Начинается пневматический транспорт оживленного материала по трубе *Б*.

Псевдооживление, следовательно и пневмотранспорт, наступают при весьма высоких концентрациях, очень близких к концентрации самой насыпи (зернистой массы в сосуде). Если при этом образуется равномерная взвесь и применимы закономерности стесненного движения [1], то значит, пневмотранспорт в трубе *Б* начнется при скоростях газа в десятки раз меньших скорости витания (скорости свободного падения или гидравлической крупности) частиц.

При совместном движении твердых частиц в жидкой среде легко образуется равномерная взвесь, которая может быть транспортирована вверх по вертикали при скоростях, определяемых уравнением:

$$C = K C_0 m^n.$$

Здесь: K — коэффициент, величина которого колеблется от 0,8 до 1 в зависимости от числа Рейнольдса; C_0 — гидравлическая крупность или скорость витания частиц; m — пористость взвеси, меняющаяся от единицы до примерно 0,5; величина n меняется, в зависимости от

числа Рейнольдса, от 2,6 до 5. При ламинарности режима ($K=1$, $n=5$) и, например, при $m=0,5$ получается: $C=0,031 C_0$. Такие, более чем в 30 раз меньшие, чем скорость свободного падения, скорости транспортирования взвесей в жидкостях легко осуществляются.

Однако в газовой среде твердые частицы не образуют настоящего равномерных взвесей и не возникает истинное стесненное движение [1], подчиняющееся приведенному выше уравнению. Тем не менее, частично стесненное движение получить можно, и в нашей лаборатории осуществлен вертикальный пневмотранспорт при скоростях, много раз меньших скорости витания. Поэтому существующее в теории пневмотранспорта представление относительно, связи между скоростью витания и скоростью пневмотранспорта ошибочно.

Очевидно, что замена газа жидкостью не изменит описанную картину транспорта; поэтому сказанное в полной мере может быть отнесено к случаю гидротранспорта с большой концентрацией твердой фазы. Явление возникновения гидротранспорта по схеме рис. 1 подробно описано ранее [2].

Нами экспериментально изучался пневмотранспорт глинозема по описанному способу от лабораторного до полупромышленного масштаба. Выполненные многочисленные опыты отличались друг от друга масштабами, аппаратурой, приемами осушения и т. д., но в основе всех их лежала принципиальная схема, изображенная на рис. 2.

Сосуд М, названный „монжусом“, заполнялся глиноземом. Затем подачей воздуха через линию 1 глинозем транспортировался, че-

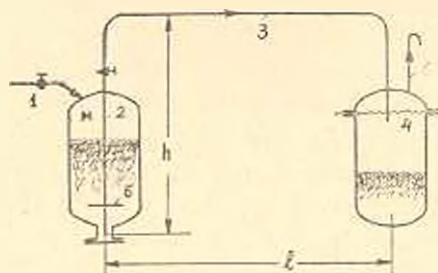


Рис. 2.

рез монжусную трубу 2 и по трубе 3, в сборник. Отработанный воздух, проходя через фильтрующую ткань 4, выходил в атмосферу через воздушник 5. Расход воздуха и количество перемещенного глинозема определялись различными способами, с удовлетворительной точностью. Продолжительность транспортировки данного количества глинозема измерялась секундомером. Для измерения давлений, а также для измерения и регулирования расхода воздуха, в разных точках схемы применялись как указывающие, так и регистрирующие и регулирующие приборы.

Диапазон в масштабах опытов характеризуется следующими данными:

Таблица 1

$D, \text{мм}$		$h, \text{м}$		$l, \text{м}$		$C_m, \text{м/сек}$		$G, \text{кг/час}$		$M, \text{м}^3$	
от	до	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до
4,5	53,0	0,35	11,2	0,6	75,0	0,01	6,5	0,005	41,0	0,0005	1,0

Здесь: D —диаметр транспортирующей трубы (диаметр монжусной трубы такой же); h —высота вертикального транспортирования; l —длина горизонтального перемещения; C_m —скорость транспортируемой смеси в начале монжусной трубы; G —скорость транспортирования глинозема; M —емкость монжуса.

Как при гидротранспорте, так и при пневмотранспорте основная масса среды фильтруется и доходит до монжусной трубы кратчайшим путем—вдоль этой монжусной трубы. В результате этого вокруг трубы быстро образуется воронка, через которую среда прорывается в монжусную трубу, и нормальный транспорт нарушается. Установка диска 6, диаметром около 0,3—0,5 D , устраняет это явление, и содержимое монжуса опорожняется равномерно и до конца.

В результате проведенных экспериментов установлено следующее:

1. При помощи „монжуса“, указанной на рис. 2 с диском на конце монжусной трубы, можно с успехом осуществить пневмотранспорт. „Монжус“ является аппаратом наиболее простой конструкции по сравнению со всеми другими известными аппаратами, применяемыми для пневмотранспорта.

2. Объемная концентрация φ твердой фазы и транспортируемой смеси, образующееся в монжусной трубе, зависит только от крупности и плотности частиц. Высота подъема, дальность перемещения, диаметр транспортирующей трубы (если он достаточно велик по сравнению с величиной частиц), транспортирующий газ и другие факторы не имеют никакого влияния на эту начальную концентрацию. В случае транспортировки глинозема эта концентрация составляла 0,2 (начиная с трубы диаметром 8 мм и выше) независимо от каких-либо других факторов. Замена воздуха водородом также не вызывала изменений в значении φ . Отметим, что испытуемый нами глинозем в насыпи имеет $\varphi = 0,25$, иначе говоря, начальная концентрация в транспортирующей смеси очень близка к концентрации в насыпи и составляет 1000 кг глинозема на 1 куб. м (в условиях давления и температуры в монжусе) воздуха.

Начальная концентрация φ возникает и поддерживается самопроизвольно, изменить или нарушить которую внешними воздействиями (сознательно или ошибочно) невозможно. Важно еще то, что это са-

произвольно и автоматически возникающие объемное соотношение фаз является выгодным и, по-видимому, соответствующим минимальному расходу сжатого воздуха. Постоянство и ненарушаемость φ обеспечивает бесперебойность транспортирования, несмотря на весьма высокие концентрации твердой фазы.

3. Из постоянства φ вытекает непостоянство весовой концентрации K , измеряемой килограммами транспортируемой твердой фазы на 1 кг воздуха. Применительно к глинозему ($\varphi = 0,2$ или 1000 кг на 1 куб. м воздуха) получается:

$$K = 1000 : \gamma = 1000 T : 342 P = 29,3 \frac{T}{P} \quad (1)$$

Здесь γ — удельный вес воздуха в кг/м³, T — абсолютная температура, а P — абсолютное давление в кг/см².

Для иллюстрации приводим следующие данные, рассчитанные уравнением (1).

Когда $T = 273^\circ$:

$$\begin{array}{cccccccccccc} P = & 1,25 & 1,5 & 2,0 & 3,0 & 4,0 & 6,0 & 8,0 & 10,0 & \text{атм} \\ K = & 640 & 535 & 400 & 266 & 200 & 133 & 100 & 80 & \text{кг/м}^3 \end{array}$$

Такие значения K получаются при непрерывном питании „молжуса“ глиноземом. При периодическом питании эти значения уменьшаются от 1,5 до 1,8 раза.

Для сравнения отметим, что в действующих установках по пневмотранспорту глинозема величина K колеблется в пределах 5—8 кг/м³, при давлениях 5—7 атм.

4. Потери напора на транспортирование глинозема по вертикали колеблются от 0,08 до 0,15 атм.м в зависимости от скорости. При небольших скоростях и высотах подъема коэффициент полезного действия (энергии сжатого воздуха) достигает 0,9.

По данным Албрайта [3], удельное сопротивление при горизонтальном перемещении обратно пропорционально диаметру труб и степени от 0,73 до 0,94. Обработкой наших данных получено значение этой степени 0,9. Далее, наши эксперименты показали, что надежная работа и хорошая производительность установки обеспечиваются, когда начальная скорость транспортируемой смеси составляет 3—4 м/сек. На основании этих данных составлена приводимая ниже таблица приближенно-оптимальных производительностей и соответствующих удельных сопротивлений транспортирующих труб в зависимости от диаметра, применительно к глинозему.

Б. Расход энергии на транспортирование зависит от

М и/п	Диаметр D	Производительность т/час	Удельное сопротивление атм/м
1	1/2	1,6	0,125
2	1	6,2	0,068
3	1 1/2	14,0	0,047
4	2	25,0	0,036
5	2 1/2	39,0	0,030
6	3	56,0	0,025
7	4	100,0	0,020

ծախյալ, ոչն սկսում է իր հետ վերցնել նաև մասնիկներ և սկսվում է տրանսպորտը:

Պատճառների բազադրությունը, որը գոյանում է կենտրոնական խողովակի սկզբում, առաջանում է ինքնաբերաբար և արտաքին ոչ մի միջոցով ալն փոփոխել հնարավոր չէ, և որ կարեւորն է, այդ բազադրությունն, ըստ երեւոյթի, ամենապարզապէս է:

Որպեսզի ճնշված սղր խողովակի ծալքին չհասնի ամենաուրաք ճանապարհով, նրա ճանապարհին, խողովակի ծալքին զրկում է սկզբնական 6 (նկ. 2), որի տրամագիծը կազմում է ժոնժուալի տրամագծի 0,3—0,5 մասը: Այդպիսով հնարավոր է լինում ժոնժուալը դառարկել մինչև վերջ:

Հետաքրքիր է նշել, որ կենտրոնական (մոնոտոսային) խողովակի սկզբքում զոյազոյ պինդ նյութ—օդի խառնուրդի ժափալային կոնցենտրացիան հաստատուն է, և ամեն մի նյութի համար ունի մեկ արժեք: Կափառդի համար ալն հափասար է 0,2 (ալն դեպքում, երբ ազատ լցվածքի դեպքում ալն հափասար է 0,25), ալսինքն, 1000 կգ կափառոյ սեղափոխելու համար անհրաժեշտ է 1 մ³ օդ (մոնոտոսում եղած ճնշման և ջերմաստիճանի տակ):

Չափված են ճնշման կորուստները չփման վրա: Համեմատելով մեր տվյալները գրականութան տվյալների հետ, գտնված է, որ չփման կորուստները հակադարձ համեմատական են խողովակի տրամագծի 0,9 ստորճանին: Ինչնելով դրանից, և փորձարկված խողովակների օգտվալ արադրողականութուններէից, բերված է սղրուսակ տարբեր տրամագծերում չփման կորուստները դուրս տալու համար:

Պնկմոտրանսպորտի ալս մեթոդը հնարավորութուն է տալիս խիստ կրճատելու էներգիայի ծախսերը 1 տոննա նյութի տեղափոխման վրա: Ըստ հաշվումների, որոնք կնում են օդի իզոթերմիկ սեղմման սշխատանքից, տաղվում է, որ 6—7 տոն. ճնշման տակ աշխատելու դեպքում էներգիայի ծախսը կազմում է մոտ 0,5—0,55 կվտ: Համեմատելու համար նշենք, որ դարձող սարքավորումներում նույն պայմանների դեպքում էներգիայի ծախսը կազմում է 5,2—8,2 կվտ:

Ըստ մեր չափումների, օգտվալ արանսպորտ է ստաղվում, եթե տեղափոխման արադութունը մոնոտոսային խողովակի սկզբում կազմում է ոչ ավելի, քան 3—4 մ վ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гаспарян А. М. и Заминян А. А. ДАН Армянской ССР, т. XXVI, № 1, 1956.
2. Гаспарян А. М. и Заминян А. А. ДАН Армянской ССР, т. XIX, № 5, 1954.
3. Albright C. W. et al. Industrial and Engineering Chemistry, p. 1837, 1951.

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Б. К. КАРАПЕТЯН, Н. К. КАРАПЕТЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА КОЛЕБАНИЙ
ПОЧВЫ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ

Исследование спектрального состава колебаний почвы необходимо как при изучении землетрясений, так и для оценки поведения сооружений, которые по-разному будут реагировать на землетрясения, имеющие различный спектр.

Поэтому, наряду с изучением спектральной реакции сооружений, при землетрясении (в нашем случае определение кривых приведенных сейсмических ускорений [1]) следует также изучать спектральный состав колебаний почвы.

Имея спектральный состав колебаний почвы, определяя спектральную кривую реакций сооружений и характеристики, учитывающие передачу сейсмического возмущения от грунта фундаменту сооружений (взаимодействие между фундаментом сооружения и его основанием), можно получить правильную картину поведения сооружений при землетрясении.

Практическое значение изучения спектрального состава колебаний почвы заключается и в том, что имея преобладающие периоды колебаний почвы, в случае проектирования некоторых сооружений, специализированных установок и ряда других конструкций, обладающих незначительным затуханием, создается возможность выбрать периоды свободных колебаний указанных сооружений таким образом, чтобы избежать существенного нарастания амплитуды колебаний.

Настоящая работа посвящена определению спектрального состава колебаний почвы при землетрясении. Делается попытка показать, что для этой цели можно использовать спектральные кривые, получаемые с помощью электро-аналога.

Получение спектральных кривых с помощью электро-аналога является весьма целесообразным, так как создается возможность по акселерограмме землетрясения получить спектральное реагирование сооружений, имеющих различные периоды колебаний и декременты затухания. Для поставленной нами задачи наиболее интересными являются спектральные кривые при нулевом затухании.

Фактическим материалом для настоящей работы послужили спектральные кривые для некоторых сильных землетрясений, происшедших в США, полученные Г. В. Хаузером, Р. Р. Маргелем и И. Л. Алфордом с помощью электро-аналога [2]. Рассмотрены все 28 спек-

тральных кривых с нулевым затуханием. Спектральные кривые были получены по записям акселерографов, в большинстве случаев установленных в основании здания, поэтому в акселерограммах записывалось также влияние массы и жесткости здания на смещение грунта. Таким образом, фактически получался спектр колебаний не грунта, а основания сооружения, то есть с учетом влияния взаимодействия между фундаментом сооружения и его основанием. Возможно, в некоторых случаях это даже выгодно. При этом следует иметь еще в виду то обстоятельство, что в Калифорнийских зданиях взаимодействие играет меньшую роль, вследствие того, что грунты являются относительно плотными, а здания — относительно гибкими [3].

Основные характеристики землетрясений, спектральные кривые которых подвергнуты измни анализу, приведены в таблице 1. При составлении этой таблицы нами использованы данные, имеющиеся в статье Хаузнера и др. [2], в работе Гутенберга и Рихтера [4], а также в статье Канаи [5].

Каждая спектральная кривая детально рассматривалась и определялись все величины пиков-ускорений и соответствующие им периоды колебаний. Поскольку запись в каждом случае представлена двумя горизонтальными составляющими, то было произведено их сравнение. Выяснилось, что периоды с пиковым значением ускорений на обеих кривых не всегда совпадают, что можно приписать некоторой неточности рассматриваемых спектральных кривых. Поэтому были взяты те значения периодов колебаний, которые имелись на обеих составляющих, а величина ускорений определялась как результирующая ускорений отдельных составляющих. Последнее, если подойти строго, не совсем правильно, ибо значения сложенных ускорений не совпадают по времени. Но это допущение мы примызем, оговариваясь, что берутся наименеевыгодные сочетания ускорений, полученных по двум составляющим горизонтальных колебаний.

Таким путем, на основании имеющихся 28 спектральных кривых были вновь построены 14 спектральных кривых, которые приведены на рис. 1—5. Номера кривых на этих фигурах соответствуют порядковым номерам в таблице 1. Максимальные значения ускорений, определенные по этим спектральным кривым, приведены в той же таблице.

Г. В. Хаузер, Р. Р. Мартел и Н. Л. Алфорд считают, что по полученным ими спектральным кривым с нулевым затуханием трудно прийти к определенным выводам о колебании грунта [2]. По их мнению, вид спектров, за исключением некоторых, не зависит от местности, но ним не получается определенных преобладающих периодов для данной местности. Однако, анализ полученных нами спектральных кривых позволяет наметить определенную зависимость преобладающих периодов от местности, эпицентрального расстояния и т. д.

Если сравнить спектральные кривые 1 и 2 (рис. 1), соответствующие записям одного и того же землетрясения 11.III 1933 г. станциями в Лос-Анжелесе и Верноне, то можно заметить, что кривая 1 име-

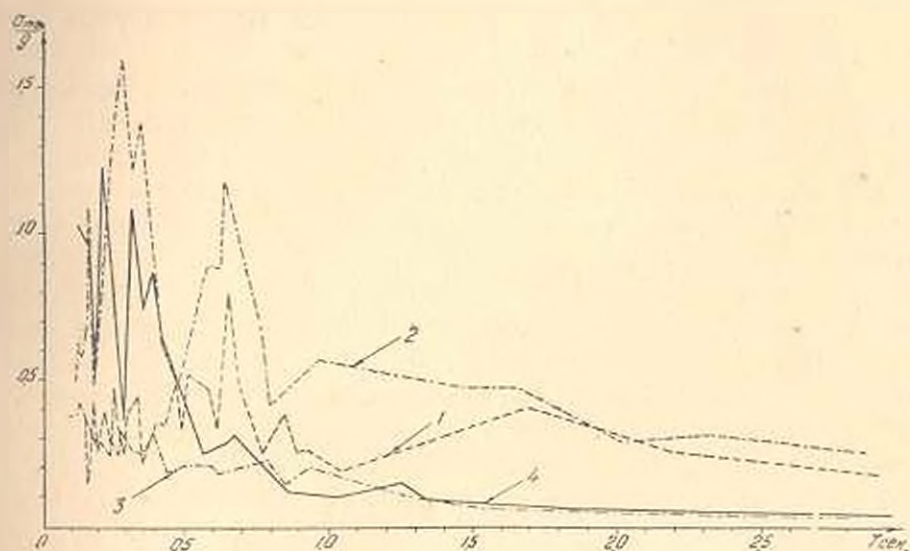


Рис. 1.

ет большее количество пиков, чем кривая 2, то есть для Лос-Анжелоса получается более «плотный» спектр, чем для Вернона. При сравнении спектральных кривых 3 и 4 (рис. 1), соответствующих записям землетрясения 2.X 1933 г. в Лос-Анжелосе и Верноне, опять-таки для Лос-Анжелоса получается более «плотный» спектр, чем для

Таблица 1

№ п/п	Дата землетрясения	Координаты эпицентра		Интенсивность, баллы	Место записи	Эпицентр, расст. в км	Максимальн. ускорения в долях g	
		Ш. Ш.	Д. Д.				по спектру	по акселерографу
1	11.III 1933	33.6	118.0	6.25	Лос-Анжелос, метро	55	0.80	0.08
2	11.III 1933	33.6	118.0	6.25	Вернон, Калиф.	48	1.60	0.23
3	2.X 1933	33.8	118.1	5.4	Лос-Анжелос, метро	37	0.42	0.09
4	2.X 1933	33.8	118.1	5.4	Вернон, Калиф.	31	1.23	0.15
5	30.XII 1931	32.0	115.0	6.5	Эль-Центро, Калиф.	61	4.46	0.33
6	31.X 1935	46.5	112.0	6.0	Хелина, Монтана	—	1.65	0.21
7	12.IX 1938	40.0	125.0	5.5	Ферндале, Калиф.	65	1.87	0.18
8	19.V 1940	32.7	115.0	6.7	Эль-Центро, Калиф.	22	6.40	0.40
9	9.II 1941	40.0	125.0	6.6	Ферндале, Калиф.	86	1.04	0.09
10	1.VII 1941	34.4	119.6	5.9	Санта Барбара, Калиф.	—	2.70	0.33
11	3.X 1941	40.0	125.0	6.4	Ферндале, Калиф.	67	3.14	0.18
12	9.II 1949	—	—	—	Холистер, Калиф.	—	2.76	0.26
13	13.IV 1949	47.25	122.5	7.0	Олимпия, Вашингтон	—	6.50	0.36
14	13.IV 1949	47.25	122.5	7.0	Спета, Вашингтон	—	1.64	0.10

Вернона. Надо полагать, что каждая местность характеризуется определенной „плотностью“ спектра.

Для Вернона, согласно кривой 2, имеется два резко выраженных преобладающих периода: 0,3 и 0,64 сек, а для Лос-Анжелоса (кривая 1)—один преобладающий период 0,66 сек. Значения результирующих максимальных ускорений равны соответственно: 1,6 и 0,8 g . При этом эти местности находятся от эпицентра, соответственно, на расстоянии 48 и 55 км.

По записям землетрясения 2.X 1933 г. для тех же районов (Лос-Анжелоса и Вернона) спектральные кривые 3 и 4 получились совершенно другого характера, а именно, убывающие кривые с меньшим количеством пиков. Преобладающий период для Лос-Анжелоса, согласно кривой 4, равен 0,13 сек, а для Вернона (кривая 4)—0,22 сек, с двумя побочными максимумами при 0,13 и 0,32 сек. Результирующие величины максимальных ускорений соответственно равны 0,42 и 1,23 g , а эпицентральные расстояния—37 и 31 км. Возможно, наличие нескольких преобладающих периодов объясняется влиянием периода очага землетрясения, различного преобразования по пути от очага до места записи и „собственного“ периода местности, где произведена запись.

Следует отметить, что землетрясение 1.III 1933 г. было более сильное ($M=6,25$), чем землетрясение 2.X 1933 г. ($M=5,4$). Значения максимальных ускорений получались для Вернона в два и более раза больше по сравнению с Лос-Анжелосом. Таким образом, увеличение силы землетрясения примерно на 1 балл приводит к увеличению максимальных ускорений в 2 и более раза при не очень большой разнице в эпицентральных расстояниях (порядка 17 км), что соответствует соотношению между ускорениями, принятому в сейсмических шкалах.

Сравним спектральные кривые 13 и 14 (рис. 2), полученные для Олимпии и Сиэтла (штат Вашингтона) по записям одного и того же очень сильного землетрясения 13.IV 1949 г. Эпицентральные расстояния их примерно одинаковые. Преобладающий период для Олимпии—0,21 сек, а для Сиэтла—0,23 сек. Результирующие величины максимальных ускорений, соответственно, равны 6,5 и 1,64 g . В спектре для Олимпии (кривая 13) наблюдается преобладание высоких частот, а в спектре для Сиэтла—низких частот. Хаузер объясняет это фильтрацией высоких частот в рыхлых грунтах в месте расположения приборов в Сиэтле [6]. При этом интенсивность в Олимпии получилась в 4 раза больше. На этом примере ясно видно, как сказывается влияние грунтовых условий на величину интенсивности землетрясения. Сравнивая второй максимальный пик на кривой 14 (Сиэтл) при периоде 0,87 сек, который, видимо, обусловлен наличием рыхлого грунта, с значением максимального ускорения соответствующего этому периоду на кривой 13 (Олимпия) замечаем, что они имеют одинаковую величину. Отсюда можно заключить, что при скальных грунтах (кривая

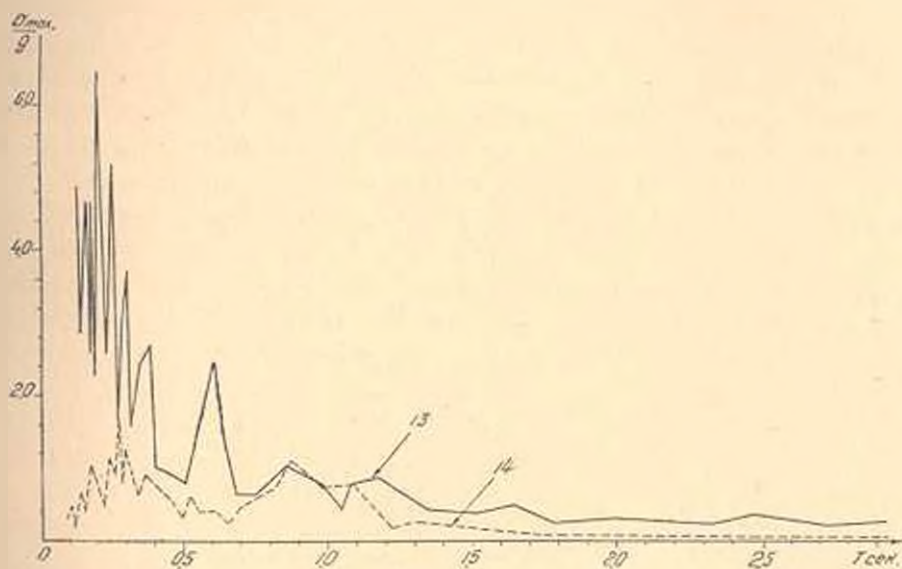


Рис. 2.

13 для Олимпиа) спектральная кривая падает очень круто с увеличением периода колебаний.

По спектральным кривым 5 и 8 для ЭльЦентро (рис. 3), полученным по записям двух землетрясений примерно одинаковой интенсивности в очаге, получается почти одинаковый преобладающий период колебаний, равный $\sim 0,25$ сек. Характер спектральных кривых 5 и 8 также примерно одинаковый. Хотя эпицентральные расстояния для этих землетрясений отличались почти в три раза, интенсивность их в месте записи разнилась на 40%.

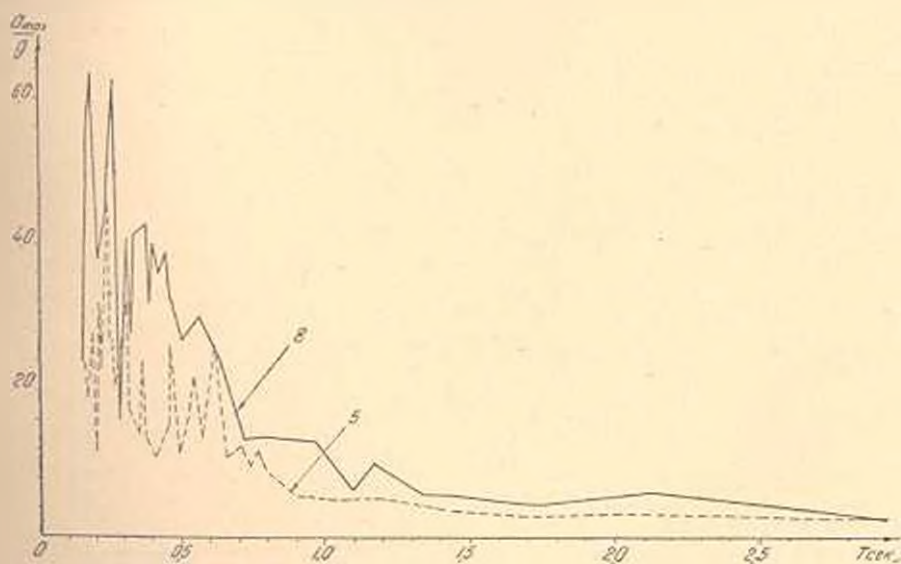


Рис. 3.

Сравним спектральные кривые 7 и 11 (рис. 4), полученные для Феридале при двух землетрясениях (12.IX 1938 и 3.X 1941 г.) из одного и того же очага (то есть при одинаковых эпицентральных расстояниях), но различной силы. Интенсивность в очаге в одном случае $M=5,5$, а в другом — $M=6,4$. Характер кривых получился примерно одинаковый: имеется по три преобладающих периода при 0,18, 0,3—0,32 и 0,41—0,43 сек. Максимальное ускорение для кривой 7 равно 1,87 g при периоде 0,18 сек, а для кривой 11 максимальное уско-

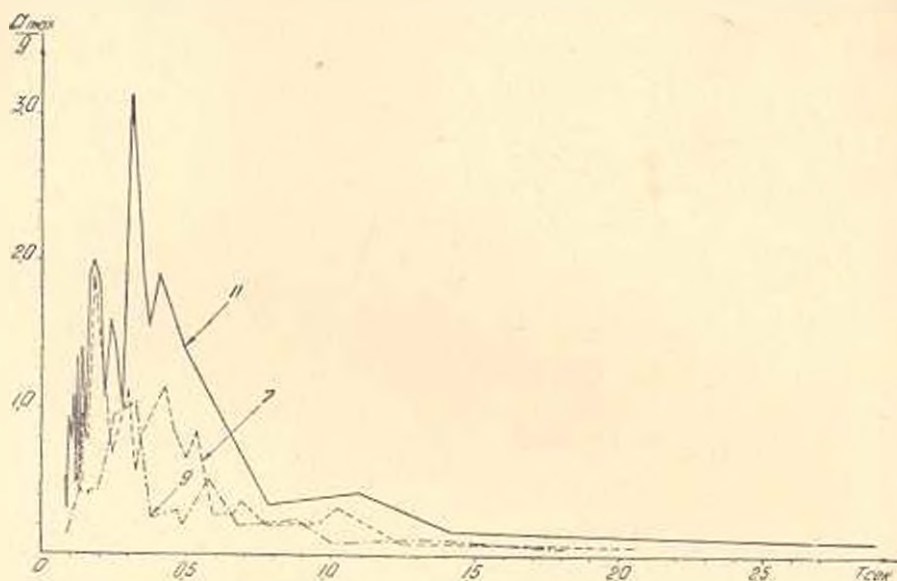


Рис. 4.

рение имеет место при 0,32 сек и равно 3,14 g. Если рассмотреть еще кривую 9 (рис. 4), опять-таки для Феридале при землетрясении 9.II 1941 г., которое имеет примерно такую же интенсивность в очаге

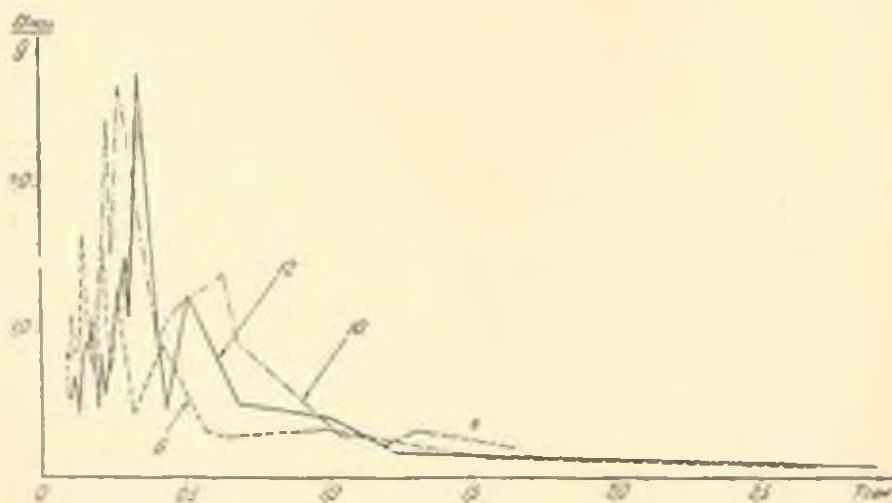


Рис. 5.

($M=6,6$), что и при землетрясении 3.X 1941 г. (кривая 11), то можно заметить, что увеличение эпицентрального расстояния на 30% приводит к уменьшению интенсивности в три раза, то есть получается совершенно обратная картина по сравнению с Эль-Центро. Преобладающий период для кривой 9 равен 0,3 сек., то-есть примерно такой же, что и для кривой 11.

Рассматривая спектральные кривые на рис. 5 для Хелины (кривая 6), для Санта-Барбары (кривая 10) и для Холлистера (кривая 12), замечаем, что они все имеют примерно одинаковый характер (до преобладающего периода возрастающий, а затем быстро убывающий с увеличением периода), но существенно разнятся по частотному спектру. Так, например, кривая 6 содержит меньше частот, чем кривая 10. Для Хелины преобладающий период равен, 15 сек., для Санта-Барбары—0,28 сек., а для Холлистера—0,34 сек.

Из изложенного явствует, что материал полученный с помощью электро-аналога с успехом может быть использован для получения спектральных кривых колебаний почвы и определения по ним ряда закономерностей в зависимости от различных факторов.

Армянский НИИ
стройматериалов и сооружений

Поступило 25.I 1960

Բ. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ն. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ԲՆԱՀԱՌՂԻ ՏԱՏԱՆՄԱՆ ՍԽԵԿՏՐԱԿԱՆ ԿԱԶՄԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ԴԻՊԻՈՒՄ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. 1

Բնահողի տատանման սպեկտրալ կազմի տատանախրոմիտունը անհրաժեշտ է ինչպես երկրաշարժերի հետազոտման, այնպես և շինքների կոնստրուկցիայի զնահատման համար: Շինքերը դանաղան սպեկտրների ունեցող երկրաշարժերին տարբեր ձևով են վերաբերվում: Երկրաշարժի դեպքում բնահողի տատանման սպեկտրալ կազմի վերլուծման համար օգտագործված է Հատգերի և տրիշների կողմից ԱՄՆ-ում տեղի ունեցած երկրաշարժերին վերաբերող էրեկտրատնալայի միջոցով ստացված փաստական նյութը (սպեկտրալ կորերը գրական մարման դեպքում [2]): Դիտվելուն ունեցող 28 սպեկտրալ կորերի հիման վրա նորից կառուցվել են 14 սպեկտրալ կորեր, որոնք բերված են դժ. 1—5: Այդ կորերից որոշված արագացումների մագնիսալ արժեքները բերված են 1 աղյուսակում: Արտեղ տրված են նաև այն երկրաշարժերի հիմնական բնութագրերը, որոնց սպեկտրալ կորերը մեր կողմից վերլուծման են ենթարկվել: Աղյուսակ 1-ը կազմվելու օգտագործվել են նաև [1, 5, 6] աշխատանքներում եղած տվյալները:

Էրեկտրատնալայի օգնությամբ բնահողի տատանման սպեկտրալ կազմի որոշումը գրական մարում ունեցող սպեկտրալ կորերի ստացման միջոցով

հանդիսանում է միանգամայն էֆեկտիվ և դանակ: Ունեցած տվյալների հիման վրա փորձ է արված որոշել բնահողի տատանման սպեկտրալ կազմի կախումը էպիկենտրոնային հեռավորությունից, երկրաշարժի ուժից, զրունտային պայմաններից և արևն:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *А. Г. Назаров*. Метод инженерного анализа сейсмических сил (издание второе, исправленное и дополненное), Ереван. Издательство Академии наук Армянской ССР, 1959.
2. *G. W. Housner, R. R. Martel and Y. L. Alford*. Spectrum Analysis of Strong Motion Earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, April 1953, vol. 43, № 2.
3. *G. W. Housner*. Soil Effects in Western United States, Personal communication, Dec. 1956, № 10.
4. *B. Gutenberg and C. F. Richter*, Seismicity of the Earth and associated Phenomena, Seismological Laboratory, California Institute of Technology, 1951.
5. *K. Kanai*. A Study of Strong Earthquake Motions, Bulletin of the Earthquake Research Institute, 1958, vol. 36.
6. *G. W. Housner*. Geotechnical Properties of Destructive Earthquakes, Geotechnique, Dec. 1954.

ГИДРОТЕХНИКА

В. Н. ЖАМАГОРЦЯН

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ РЕК
ВПАДАЮЩИХ В ОЗЕРО СЕВАН, В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ПОНИЖЕНИЯ ЕГО УРОВНЯ

Среди многочисленных вопросов связанных с русловыми процессами в реках впадающих в озеро Севан, возникших в связи с понижением уровня озера, т. е. базиса эрозии, важное место занимает изменение продольного профиля русла рек. С последним тесно связаны динамика твердого стока выносимого реками в озеро, условия работы проектируемых сооружений на них, использование освобожденных из под воды земель и др.

Определению продольного профиля русла реки посвящены работы А. К. Аняняна [1, 2]. Принцип решения заключается в совместном применении уравнений неравномерного движения жидкости, деформации русла и транспортирующей способности потока. Такой подход является наиболее общим, но несмотря на ряд упрощений конечное решение получается сложным.

В настоящей работе решение получено с использованием критерия подвижности размываемого русла, для частного случая, когда можно считать глубину потока постоянной. Расчетная зависимость позволяет с некоторым приближением прогнозировать продольные профили русла рек соответствующие любому фиксированному стоянию уровня озера.

Собственно говоря ни одна расчетная зависимость, выражающая закон изменения продольного профиля, не может претендовать на высокую точность, так как влияющие на него факторы, как-то: гидрограф, извилистость и плановое развитие русла, размеры слагающих его наносов и их распределение, не могут быть определены с достаточной точностью.

С понижением уровня озера отступает береговая линия, благодаря чему длина реки увеличивается. Ввиду того, что дно озера в прибрежной полосе в большинстве случаев имеет сравнительно крутой уклон, ведущим процессом в руслообразовании будет размыв.

Дно озера, в частности в прибрежной полосе, в основном сложено достаточно крупными наносами и можно их считать обтекаемыми квадратично.

В условиях Севана руслообразование происходит не непрерывно. Этот процесс может быть разбит на два этапа: межениный, когда уро-

вень Сейна понижается, и паводковый, когда имеет место некоторое повышение уровня, благодаря увеличению притока и уменьшению слива воды из озера. Этапы этого процесса протекают быстро и почти завершаются в течение одного года. В данное время при наличии 11 м понижения уровня озера, в результате размыва, врезание рек доходит до 6—7 м и грозит существующим мостам, которые находятся от уреза озера на расстоянии 1,5—2,0 км.

По Лохтину [3] русловой процесс есть функция трех независимых факторов

$$\tau(Q, i, d), \quad (1)$$

где Q — расход воды, i — уклон реки, d — характерный диаметр наносов слагающих русло.

Из этого закона следует, что изменение продольного профиля русла для одной и той же реки при постоянном расходе вдоль пути должно зависеть от двух факторов:

$$\tau(i, d). \quad (2)$$

Развитие закона (1) приводит к уравнению транспорта наносов, которое в наиболее обобщенном виде получено Егизаровым [4, 5] и для частного случая крупных фракций [6] имеет вид (для единицы ширины):

$$G = kq \left(1 - \left(\frac{hl}{f_0 ad} - 1 \right) \right), \quad (3)$$

где $a = \frac{v_* - v}{v}$, h — глубина потока, f_0 — коэффициент сопротивления подвижного русла при начальном трогании частиц.

Для крупных фракций — $f_0 = 0,04$ до $0,06 = \text{const}$, для всех случаев движения однородных наносов по такому же однородному руслу или для случая движения смеси по руслу из такой же смеси.

Комплекс

$$\frac{hl}{f_0 ad} = \text{idem}, \quad (4)$$

является критерием подвижности.

В условиях трогания $l = 0$ и следовательно для фракции характеризующей наибольшую крупность

$$\frac{hl}{d_{max}} = af_0. \quad (5)$$

поэтому

$$d_{max} \sim hl. \quad (6)$$

Автор, основываясь на наблюдениях проведенных им на притоках озера Сепан считает, что на больших протяжениях, без притоков основными изменяющимися вниз по течению величинами являются уклон русла и крупность фракции отмытки. Глубина потока остав-

ся практически постоянной и поэтому вместо (6) можно считать

$$d_{\text{max}} \sim i. \quad (7)$$

Шоклич [7] еще в 1930 г. на основании многочисленных данных пришел к заключению, что вниз по течению уклоны меняются по закону:

$$i = a P_0 e^{-bx}. \quad (8)$$

где a и b суть постоянные величины; P_0 — вес частицы в начале участка.

Рассматривая совместно (7) и (8) нетрудно заметить, что диаметр или вес частицы отмытки вдоль реки также должен изменяться по закону:

$$d_{\text{отм}} = d_{\text{отм}0} e^{-bx}. \quad (9)$$

Нужно отметить, что из литературы известен только один закон распределения диаметра (или веса) фракции по длине, полученный Штернбергом при рассмотрении процесса истирания [8], а именно:

$$d = d_0 e^{-\frac{1}{f_1} \frac{1}{f_2} x}, \quad (10)$$

где f_1 и f_2 соответственно коэффициент трения и истирания.

Этот закон подтвержден натурными исследованиями Гохенбургера [9] произведенного на 120 км участке р. Мур. Однако, нам кажется, что зафиксированный в натуре показательный закон относится не только к фактору истирания, но и к сортировке наносов по критерию подвижности. Измерениями в натуре (или на модели) очевидно определяется общее распределение частиц, так как дифференциация по отдельным эффектам (истирание и самоотмытка) не возможна. Поэтому полученные результаты нужно отнести к общему распределению частиц по крупности вдоль русла. В том случае, когда процесс протекает в условиях активного воздействия потока на русло, основным фактором будет сортировка наносов по критерию подвижности.

Как следствие из уравнения (8) получается:

$$i = - \frac{dy}{dx} = i_0 e^{-bx}. \quad (11)$$

Интегрируя (11) в пределах рассматриваемого участка, получим

$$y - y_0 = \frac{i_0}{b} (e^{-bx} - 1), \quad (12)$$

где i_0 и y_0 — уклон и ордината профиля реки, в начале участка.

На рис. 1 приведены некоторые данные сравнения результатов расчетов произведенных по (12) с данными, снятых в 1958 г. профилей конечных участков русел рек Аргичи, Бахтик и Гельских родников (пунктирная линия), которые показывают удовлетворительное совпадение. По руслу Гельских родников в средней части участка имеется местное отклонение профиля от расчетной линии, которое

обусловлено наличием рыболовецкой запруды. Удовлетворительный результат получается и по другим притокам озера Севан.

Кроме того, в наших исследованиях, проведенных на р. Аргичи для участка ниже от шоссейного моста ($x=0$) в с. Н. Геташен получены средние значения $f_0 \approx 0,043$ (см. табл.).

x м	d м		f_0
0	0,25—0,30	0,01	0,043—0,036
500	0,20—0,25	0,01	0,059—0,047
2300	0,12—0,14	0,004	0,036—0,031
3600	0,06—0,08	0,0032	0,058—0,043
450	0,04—0,05	0,0015	0,01—0,033

При расчете для всех точек приняты $h=1,6$ м, $\gamma_n=2,60$ т/м³, $\gamma=1,05$ т/м³. Для уклонов (i) взяты натурные значения. Если вместо натуральных взять их расчетные значения, определенные по (12) для каждой точки профиля, получится незначительное отклонение от табличных значений f_0 , а среднее значение $f_0=0,0415$, т. е. в обоих случаях ближе к нижнему из отмеченных выше пределов. Но необходимо отметить, что определение ($d_{\max}$) по участкам произведено очень грубо.

Форхгеймер [9] принимая (10) и предположив, что коэффициент Шези, $C=\text{const}$ по длине реки, приводит уравнение продольного профиля „равного (сопротивления)” в виде

$$z = \tau_1 (e^{\tau_2 x} - 1), \quad (13)$$

где z — высота точки профиля; τ_1 и τ_2 — коэффициенты зависящие от свойства грунта слагающего русло.

Несмотря на различие исходных предположений и в трактовке результатов, в конце концов остается единым то, что как у Шоклича и Форхгеймера, так и у Анязяна и автора для формы продольного профиля получена степенная зависимость, которой кроме уже указанных примеров удовлетворяют продольные профили рек Мааса, Мура, среднего Рейна и Эиса [9].

В уравнении (12), $\frac{h}{b}$ и b определяются граничными условиями, которые при понижении базиса эрозии становятся переменными.

Пользуясь (12) можно прогнозировать продольный профиль реки соответствующий любому понижению базиса эрозии. Граничными условиями при этом могут служить координаты профиля русла в устье (обусловленное уровнем и профилем дна озера) и в начале расчетного участка реки, уклон i_0 и уклон профиля в устье реки i_1 . При построении профиля нельзя расчет вести в отрыве от местных условий (резкое изменение геологии, неразмываемые участки). В связи с этим нужно учесть влияние плотин, скальных участков и других препятствий, которые могут порождать перепады. Как отме-

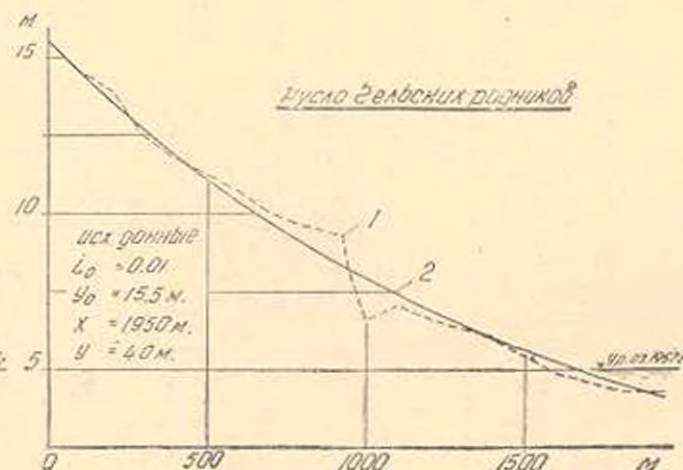
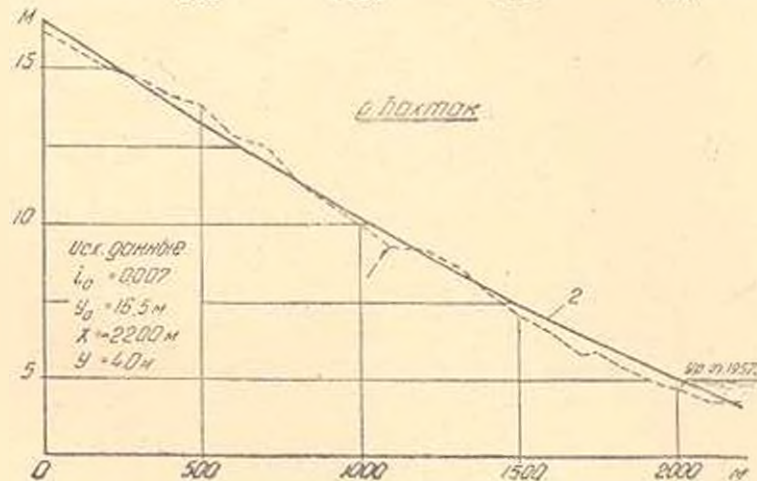


Рис. 1. Сравнения расчетных и натуральных профилей конечных участков рек Аргачи, Бахтак и Гельские родники.

1 — натуральный профиль, 2 — расчетный профиль.

чает Форхгеймер, выше и ниже таких перепадов устанавливается профиль, выраженный степенью зависимостью [9]. Следовательно, могут возникнуть два типа задач: когда донная эрозия может распространиться беспрепятственно, и когда она распространяется до препятствия.

В первом случае, расчетный участок охватывает профиль реки от устья до той точки, где донная эрозия практически равна нулю. Примером такого случая может быть р. Аргичи (рис. 2).

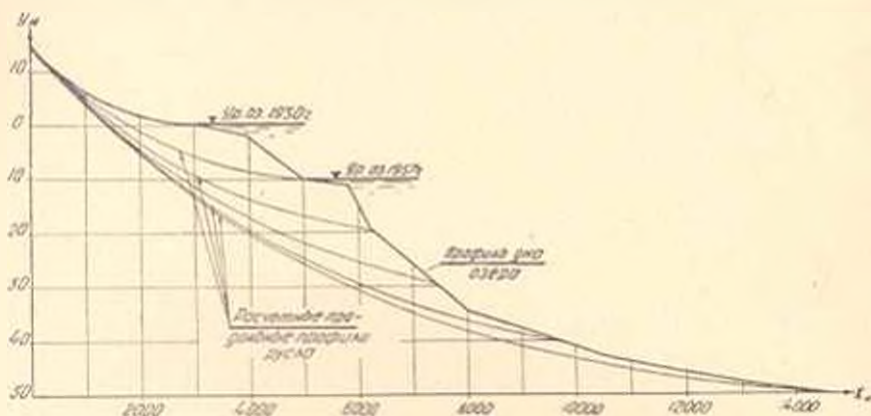


Рис. 2. Прогноз продольного профиля р. Аргичи, при разных стояниях уровня в озере.

Хотя и настоящее время благодаря искусственному понижению уровня озера, она на обнаженной территории врезалась местами до 7 м, однако в створе шоссейного моста (с. Н. Геташен), где $d_{\max} = 0,25-0,30$ м, донной эрозии не наблюдалось. Несмотря на это, начало расчетного участка принято на 500 м выше шоссейного моста в предположении, что глубинная эрозия при дальнейшем изменении уровня озера практически не перейдет за этот створ, т. е. для этой точки $i_0 = \text{const}$; $y_0 = \text{const}$.

Профиль дна озера, взятый по прямой линии на плане против устья Аргичи, построен согласно батиметрической карте Севанского Гидрометбюро (1930 г.). Абсциссы его увеличены на коэффициент извилистости ($k = 1,25$) соответствующим участку реки находящемуся на обнаженной территории.

Расчет профиля произведен для горизонтов озера ниже уровня 1930 г. на 11 м (ур. 1957 г., 20 м; 30 м; 40 м и 50 м. В результате получена полная картина изменения профиля р. Аргичи, соответствующая разным стояниям уровня озера, и картины развития процесса резания русла.

Подобным образом построены профили рек Гаваргоет (рис. 3) и Мэсрик (рис. 4). Для р. Мэсрик расчет произведен только для первых 3-х стояний уровня озера, так как дальнейшее понижение уровня не вызывает изменения в профиле русла.

Примером второго случая, когда донная эрозия распространяется до препятствия, может быть профиль русла реки Дззнагет (рис. 5). В данное время при 11 м понижения уровня озера Севан донная эрозия реки распространяется до шоссе моста, образуя в этом

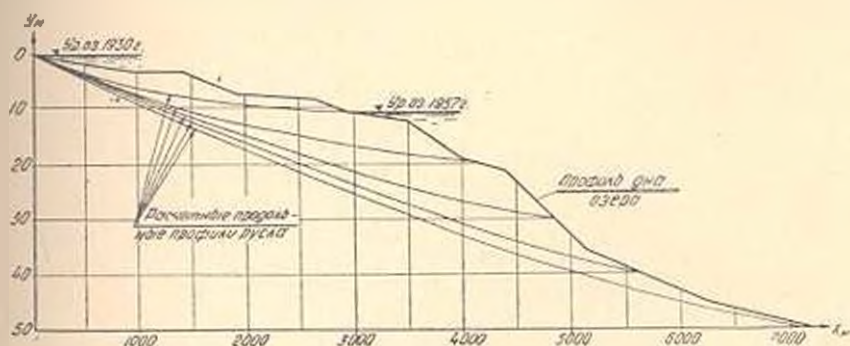


Рис. 3. Прогноз продольного профиля р. Гаваргет при разных стояниях уровня воды в озере.



Рис. 4. Прогноз продольного профиля р. Масрик при разных стояниях уровня воды в озере.

сторе порог. При этом приблизительно $i_0 = 0,01$, а $i_y = 0,006$. Этот уклон в данном случае по сравнению с уклоном других рек озера Севан больше, так как здесь крупность фракции больше. Примем для расчета уклон в устье постоянным и равным 0,006. Разумеется, что при дальнейшем понижении уровня, i_y должен несколько уменьшиться, ввиду уменьшения крупности фракции. Поэтому, вследствие сделанного допущения о постоянстве i_y , величина вреза реки (особенно в средней части рассматриваемого участка) будет несколько преуменьшенной. Кроме того, предполагается, что вследствие дальнейшего врезания реки в начальном створе — $i_0 = \text{const}$, так как значения $d_{\text{свал}}$ сохранится. Очевидно, что все это принимается условно, без геологических данных.

Из (11) имеем:

$$-b = \frac{1}{x} \ln \frac{x}{i_0} \quad (14)$$

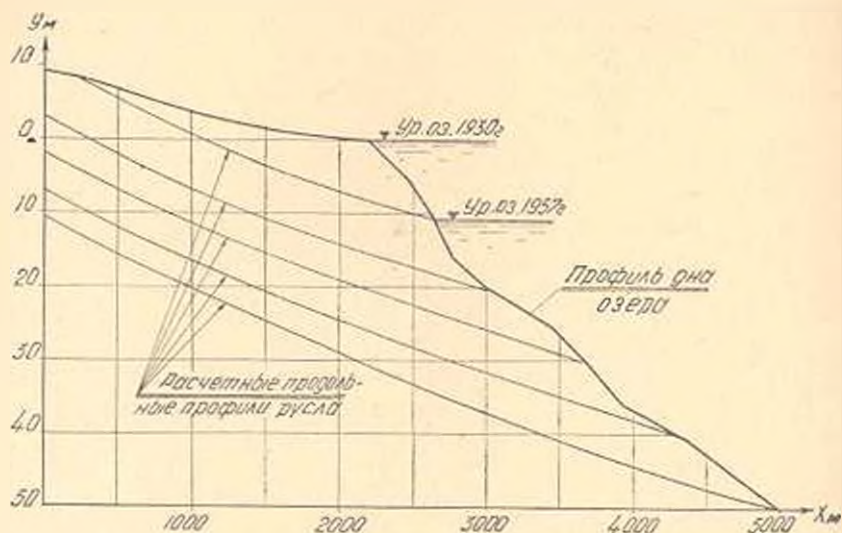


Рис. 5. Прогноз продольного профиля р. Дзакнет при разных стояниях уровня воды в озере.

Имея i_0 , i_1 и x , y для устья реки, по (12) и (14) получим значение b и y_0 для каждого зафиксированного уровня озера. Далее, координаты профиля русла определяются по (12).

Аналогичным образом построены профили рек Варденис (рис. 6), для которого профиль русла построен до 20 м, и Дашги (рис. 7).

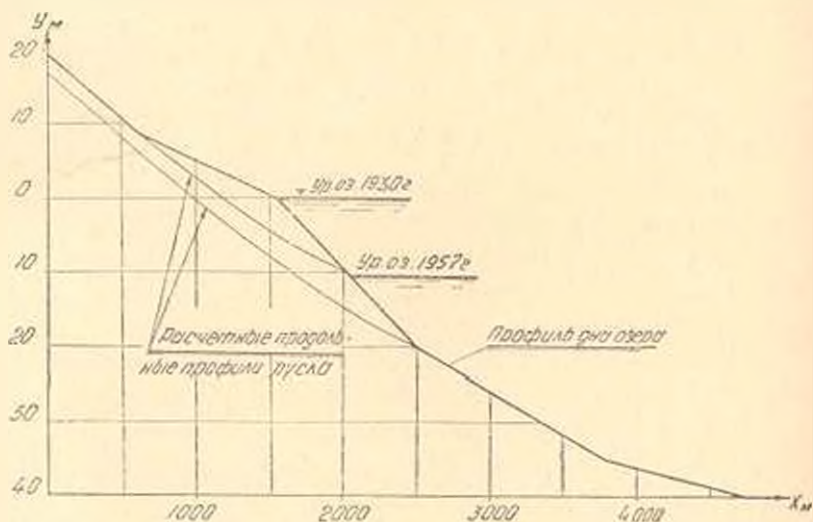


Рис. 6. Прогноз продольного профиля р. Варденис при разных стояниях уровня воды в озере.

построенный до 40 м понижения уровня озера, так как дальнейшее понижение уровня не вызовет врезание реки.

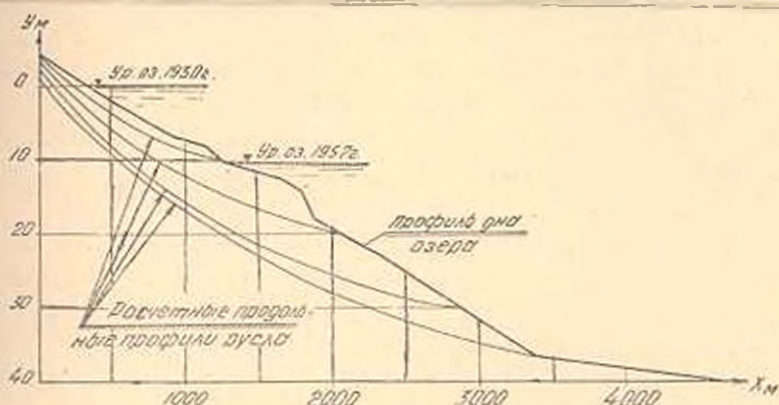


Рис. 7. Прогноз продольного профиля р. Днестр при разных стояниях уровня воды в озере.

Профили, рассчитанные по (12) для последующих понижений уровня озера, должны всегда ложиться ниже предыдущих. В том случае, когда он ложится выше предыдущего, тогда (12) перестает быть справедливым, так как не будет справедлива связь (11).

Վ. Ն. ԺԱՐԱԿՈՐԻՅԱՆ

ՍԵՎԱՆԻ ԼՈՒՐ ԹԱՓԱՆՈՂ ԳԵՏՆԵՐԻ ԸՆԴԵՐԿԱՅՆԱԿԱՆ ՊՐՈՖԻԼԻ
ՓՈՓՈԹՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԿԱԽՎԱՆ ՆՐԱ ՄԱԿԱՐԳԱԿԻ ԻՋՆՅՈՒՄԻՑ

Ա. Մ. Փ. Ո. Փ. Ո. Փ. Ո. Փ.

Քննարկող խնդիրն առաջացել է ինժեներատեխնիկական պրակտիկայի կապակցությամբ: Խնդիր վերաբերում է գետերի՝ Սևանի լճի մեջ ջրի մակարդակի տարբեր իջեցումներին համապատասխանող ընդերկայնական պրոֆիլների պրոգնոզին: Այդ խնդիրն է վերաբերում Անանյանի [1, 2] աշխատանքները, որտեղ նա ելնում է հեղուկի անհամասարաչափ շարժման, հունի ղեկորմացիայի և շիթի փոխադրականության համաարժեքներից: Վերջնական լուծումը ստացվում է որոշ քննարկությունների շնորհիվ:

Այս հոդվածում լուծումը ստացվում է լրացվող հունի շարժունության հաշվանիշի միջոցով, այն մասնակի դեպքի համար, երբ շիթի խորությունը՝ h ըստ գետի երկարության կարելի է քննարկել հաստատուն:

Լճի մակարդակի իջեցման շնորհիվ հունային հիմնական պրոցեսը փափուկ է, որը սկսվում է կետաբերանից և փոքրամասշտիվ բարձրանում է դեպի վեր: Դրան հանդիպում են այնպիսի փոքրամասշտիվ բարձրանում է դեպի վեր: Դրան հանդիպում են այնպիսի փոքրամասշտիվ բարձրանում է դեպի վեր: Դրան հանդիպում են այնպիսի փոքրամասշտիվ բարձրանում է դեպի վեր:

Դիտարկելով հաստատուն էն այն հայտնի միտքը, որ հունային պրոցեսները կախված են ջրի կյանքի՝ Q , հունի թիքությունից՝ i , ֆրակցիայի արամադից՝ d [3], աշխնքն արտահայտվում է (1): Հետևապես պրոֆիլի փոփոխությունը նույն գետի համար, երբ կյանքը ըստ երկարության հաստատուն է, կարտահայտվի (2): (1) օրենքը բերում է ջրաբերականների փոխադրականության համաարժեքներ [4, 5], որը մասնավոր դեպքում խոշոր հա-

տիկի համար $|6|$ ունի (3) տեսքը (միավոր լայնություն համար) որտեղ γ և γ_n ջրի և հատիկի ծավալային քաշն է, f_0 հունի զիմարդության գործակիցը: Խոշոր հատիկների համար $f_0 = 0,04 - 0,06$ $|4|$:

Սկզբնական տեղաշարժման պայմաններում կոշտ հիքը համարում է 0-ի և հատկապես ալն ֆրակցիայի համար, որը բնութագրում է ամենախոշոր հատիկը, կատացվի (5) կամ (6):

Սկանի գետերի վրա կատարած գիտողությունները ցույց են տալիս, որ բոտ գետի երկարության հիմնականում փոփոխվում են թեքությունը i և ֆրակցիայի մեծությունը d_{max} , իսկ խորությունը պրակտիկորեն մնում է հաստատուն: Հետևապես (6) փոխարինվում է (7):

Ըստ Շոկիլի $|7|$ ունենք (8), որտեղ a և b հաստատուններ են: (7) և (8) ստացվում է (9), որը նման է Շտերների $|8|$ մաշման պայմանից ստացված (10) հավասարմանը:

Չնայած Ուոր և ալլ գետերի վրա կատարված (7) չափումները տալիս են մասնիկների բախման (10) օրենքը, սակայն պետք է նշել, որ ըստ երկփուլին ալլ արգյունքը վերաբերում է մասնիկների բնականորեն բաշխմանը, քանի որ նրա ղիֆերենցիալիան բոտ առանձին էֆեկտների հարավոր է:

(8) հետևում է (11): Վերջինիս ինտեգրումը տալիս է (12), որտեղ i_0 և γ_0 թեքությունը և օրդինատն է հատվածի սկզբում: $\frac{i_0}{b}$ և b գործակիցները ստացվում են սահմանային պայմաններից:

Նկ. 1 բերված է Սկանի երեք գետերի հունի հաշվային (հոծ գիծ) և բնական պրոֆիլների համեմատությունը: Վերջին պրոֆիլի միջին մասում եղած տեղական բնույթի տարբերությունը պայմանավորված է ձկնորսական արհեստական պատենշի առկայությամբ:

Բացի դրանից ազդուսակում բերված է Արդիբի գետի վերջին 5 կմ հատվածի համար սրոշված f_0 արժեքները, որոնց միջինը $f_0 \approx 0,043$, սակայն պետք է նշել, որ d_{max} առանձին ուղղահայաց քննարկում չստ կոպիտ է որոշված:

Նկ. 2—7 բերված է Սկանի յեք թափող գլխավոր գետի բնական և արտֆիլները, որոնց պրոդնոզային հաշիվները կատարված են (12), ալլ պրոֆիլները համապատասխանում են լճում ջրի հորիզոնի 10-ական մետր իջեցումներին բնական միջին 50 մետրը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ахajian A. K. Расчет продольного профиля русла реки при непрерывном изменении ее базиса эрозии. Известия АН Армянской ССР (серия техн. наук), т. XII, № 3, 1959.
2. Ахajian A. K. Об устойчивом продольном профиле русла реки. Известия АН Армянской ССР (серия техн. наук), т. XII, № 4, 1959.
3. Великанов М. А. Русловый процесс. 1958.
4. Егiazаров И. В. Транспортирующая способность открытых потоков. Известия АН СССР, ОТН, № 2, 1956.
5. Егiazаров И. В. К решению задачи о транспорте несвязных наносов (активных фракций) с учетом влияния их концентрации на скорость придонной мутности. Энергетика и автоматика. Известия АН СССР, ОТН, № 5, 1959.
6. Егiazаров И. В. Расход илекомых наносов. Известия ОТН Армянской ССР, № 5, 1949.
7. Schokilich A. Der Wasserbau, 1 и, 1930.
8. Великанов М. А. Движение наносов, 1945.
9. Форхгеймер Ф. Гидравлика, 1935.

ГИДРОТЕХНИКА

С. Г. САРКИСЯН, С. А. МХИТАРЯН

ЭНЕРГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
АВАРИЙНОГО РЕЗЕРВА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

При проектировании и эксплуатации энергетических систем и их объединений должно быть соблюдено одно из основных условий нормальной работы их, — надежность энергоснабжения потребителей.

Основным путем решения этого условия является создание энергетических генерирующих резервов, установление величины которых и размещение их между электростанциями системы представляет одну из проблем энергетики.

Наряду с ростом резервных генерирующих мощностей системы, что является основным путем решения проблемы энергетических генерирующих резервов, заслуживает внимание вопрос об использовании некоторых потребителей для возложения на них функций аварийного резерва. Нарушение нормального режима работы энергосистемы, вызванное выходом из строя генерирующей рабочей мощности, может быть ликвидировано отключением одного или нескольких мощных потребителей энергии. Как показали исследования [1, 2, 4, 16], вынужденный простой предприятий, вызванный нарушением нормальной работы энергосистемы, приводит к ущербам двух видов.

Первый вид ущерба возникает в результате простоя рабочей силы, брака продукции, порчи сырья, поломки оборудования, расстройства технологического процесса.

Второй вид ущерба выражается в недодаче народному хозяйству определенного количества продукции данного предприятия. Определение ущерба второго рода, на современном уровне экономической науки крайне трудно ввиду того, что „Методика количественной оценки рассматриваемого ущерба в настоящее время не разработана“ [16]. В своей работе Н. С. Афонин [2] детально проанализировал зависимости фактического простоя предприятий и ущерба, возникающие на них при длительном прекращении электроснабжения промышленных предприятий.

В результате исследований Н. С. Афонин пришел к выводу, что некоторые потребители, как например карбидный завод, при недостатке мощности в энергосистеме, допускают кратковременные ограничения и не приводят к браку продукции. Такой же вывод сделан

в исследованиях Водно-энергетического института АН Армянской ССР [8, 17] и проф. Г. А. Сисяна [13].

Поэтому считается возможным, при составлении календаря аварийных ограничений промышленных потребителей энергосистемы карбидные заводы включать в число ограничиваемых предприятий, а также подключать эти предприятия к автоматам разгрузки энергосистемы по частоте.

В других случаях, хотя и возможно аварийное ограничение потребителей, однако не рекомендуется подключение их к автоматам разгрузки по частоте. Для ряда других предприятий рекомендуется сохранение минимума электроснабжения — технологическую броню.

Рекомендованный Н. С. Афониним способ расчета позволяет устанавливать очередность отключения промышленных предприятий при авариях или дефиците мощности в энергетических системах. В случаях перерывов электроснабжения, энергосистема, по мнению Н. С. Афонина, должна выплачивать штраф предприятиям подвергшимся отключению, так как иначе искажаются экономические взаимоотношения между энергосистемой и потребителями. Ряд работ советских энергетиков посвящен исследованию переменного режима работы промышленных предприятий как в суточном [5, 13] так и годовом [3, 7, 8, 10] разрезах. Суточный неравномерный режим электроснабжения промышленных предприятий возникает в связи с дефицитом генерирующих мощностей в период прохождения максимума суточной нагрузки системы. Годовая неравномерность режима работы промышленных предприятий связана с избытком гидроэнергии в период паводка и дефицитом ее в межень, обычно совпадающей с максимумом нагрузки системы.

В указанных выше исследованиях доказано, что более приспособленными к запланированному переменному режиму работы оказались энергоемкие потребители, характеризующиеся большим расходом электроэнергии на единицу выпущенной продукции и, в частности, заводы карбида кальция и ферросплавов.

Интересное исследование по режимам работы ферросплавного и карбидного заводов [13] показало целесообразность работы установленных на них электрических печей в режиме сезонного потребителя регулятора. Такой режим работы электрических печей особых технических затруднений не вызывает, и целесообразность применения его должна быть оправдана в первую очередь экономически. Вместе с этим считается, что ежедневные отключения ферросплавных и карбидных печей продолжительностью до 4-х часов вполне допустимы и не создают технически непреодолимых трудностей. Однако допустимые пределы ограничений должны быть определены в каждом отдельном случае.

Из сделанного выше краткого обзора следует, что режим работы некоторых промышленных предприятий, в частности энергоемких,

может быть в плановом порядке приспособлен к реальным возможностям энергоснабжения.

Учитывая последнее обстоятельство, в энергетической литературе [9, 10, 12] было рекомендовано использование энергоемких потребителей в качестве аварийного резерва и тех редких случаях, когда наличие резерва, в виде генерирующей мощности, оказывается недостаточным. Следовательно, использование энергоемких потребителей в качестве аварийного резерва должно рассматриваться как частичная замена обычного энергетического резерва в виде генерирующей мощности. В этих условиях, основная тяжесть поддержания нормальных условий работы энергосистемы будет лежать на генерирующих резервных мощностях.

Исходя из возможностей распределения функций аварийного резерва системы между электростанциями и энергоемкими потребителями, в энергетической литературе [9, 10, 12] были предложены методы энерго-экономической оценки аварийного резерва энергосистемы. Основным принципом, в этом случае, считалась неизменность выпуска продукции энергоемких потребителей в пределах одной системы, при неизменности обеспечения электроэнергией остальных потребителей. В отличие от предложенных ранее способов расчета аварийного резерва, основанных на принципе ущерба у потребителя от аварийных простоев [3, 4, 5, 6], указанные методы правильно учитывают требование о выполнении народнохозяйственного плана.

Несмотря на бесспорные достоинства предложенных методов, в них, однако, не учтены следующие важные факторы: во-первых, различие мощностей агрегатов системы (в расчетах принимались агрегаты осредненной мощности) и, во-вторых, энерго-экономические показатели линий электропередачи.

Неучет этих факторов, при расчетах величины аварийного резерва, может привести к оправданию экономически невыгодных резервных мощностей и тем самым может повысить эксплуатационные затраты системы. Учитывая различие рабочих агрегатов системы по мощности и параметры линий электропередачи, ниже предлагается способ энерго-экономической оценки величины аварийного резерва при распределении функций резервирования между электростанциями и энергоемкими потребителями. В основу энерго-экономических расчетов по распределению функций резервирования в системе принят принцип получения минимума расчетных затрат по комплексу энергосистемы — энергоемкий потребитель. Сравнению подлежат с одной стороны расчетные затраты по энергоемкому потребителю и компенсирующим генерирующим мощностям энергосистемы, с другой стороны расчетные издержки по генерирующим резервным мощностям системы и линиям электропередачи, по которым будут передаваться резервные мощности и электроэнергия от места их выработки к месту потребления.

Принцип расчета по предлагаемому методу излагается по ходу статьи, а в конце статьи он иллюстрирован примерным расчетом.

В результате переноса энергоемкого потребителя на работу по вынужденному режиму уменьшится число часов работы его в году, а следовательно и количество выработанной заводом продукции

$$П_{\text{уп}} = \frac{P_{\text{эп}} T_{\text{эп}}}{\mathcal{E}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{эп}}$ — мощность энергоемкого потребителя в *квт*;

$T_{\text{эп}}$ — время работы потребителя в году за вычетом времени аварийного простоя;

$\mathcal{E}$ — удельный расход энергии в *квтч/тону*;

$П_{\text{н}}$ — продукция энергоемкого потребителя в тоннах.

Для возложения функций аварийного резерва полностью на энергоемкого потребителя, мощность последнего должна быть не ниже чем наиболее вероятная рабочая мощность системы в аварии, т. е. должно соблюдаться условие:

$$N_{\text{эп}} = N_{\text{эп max}}. \quad (2)$$

Тогда потребляемая этим производством энергия будет равной

$$\mathcal{E}_{\text{н}} = N_{\text{эп}} T_0. \quad (3)$$

Эту энергию потребитель получал бы равномерно в течение года, если бы не работал по аварийному режиму. На базе этой энергии была бы выработана продукция в количестве

$$П'_{\text{н}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{н}}}{\mathcal{E}}.$$

При работе энергоемкого потребителя по аварийному графику имеет место недоотпуск ему энергии в часы аварий. В результате, обеспеченность потребителя энергией уже не будет 100%-ой. Степень обеспеченности энергоемкого потребителя в году при работе по аварийному режиму определится из выражения:

$$a = \frac{T_{\text{эп}}}{T_0} = \frac{T_0 - \sum T_{\text{ав}}}{T_0}. \quad (4)$$

Здесь T_0 — число часов работы потребителя на работу по нормальному графику в течение года.

Перевод энергоемкого потребителя на работу по аварийному графику приводит к возрастанию как капиталовложений, так и ежегодных издержек производства на тонну продукции в зависимости от степени обеспеченности.

В [8] были предложены коэффициенты $K_{\text{нк}}$ и $K_{\text{нс}}$, учитывающие соответственно повышение капиталовложений в 1 тонну продукции при уменьшении обеспеченности завода электроэнергией и повышение себестоимости продукции при переводе потребителя на работу по

неравномерному режиму. Значения этих коэффициентов в зависимости от величины α приведены в следующих таблицах и на рис. 1.

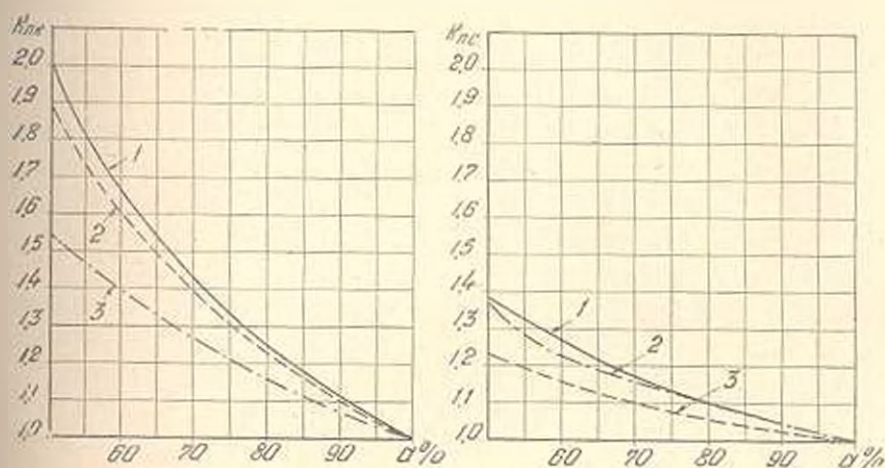


Рис. 1.

α в %	$K_{пк}$		
	карбит кальция	ферро- сплавы	электр. аммиак
100	1.0	1.0	1.0
90	1.10	1.10	1.11
80	1.22	1.16	1.25
70	1.40	1.27	1.43
60	1.60	1.40	1.67
50	1.90	1.54	2.0

α в %	$K_{пс}$		
	карбит кальция	ферро- сплавы	электр. аммиак
100	1.0	1.0	1.0
90	1.03	1.05	1.05
80	1.06	1.10	1.10
70	1.10	1.16	1.17
60	1.16	1.23	1.27
50	1.23	1.37	1.38

По данным таблиц нетрудно определить дополнительные капвложения по энергоемкому потребителю

$$\Delta K_{\text{эл}} = (K_{пк} - 1) K_{пс} \Pi_{\text{эл}} \quad (5)$$

и дополнительные издержки производства при работе завода в аварийном режиме

$$\Delta U_{\text{эл}} = (K_{пс} - 1) d_0 \Pi_{\text{эл}}, \quad (6)$$

где $K_{пс}$ — удельные капвложения в тонну продукции,

d_0 — себестоимость продукции при работе по нормальному режиму.

Годовые издержки эксплуатации по потребителю с учетом тяжести капвложений запишутся так:

$$U_{\text{эл}} = d_0 \Pi_{\text{эл}} (K_{пс} - 1) + z K_{пк} \Pi_{\text{эл}} (K_{пк} - 1), \quad (7)$$

где $z = \frac{1}{T}$, T — расчетный срок окупаемости данного предприятия.

Как видно из приведенных таблиц наименьшее повышение се-
3. Изв. ТН, № 5

бестоимости имеет место на заводе карбида-кальция и наибольшее — на заводе электролитического аммиака. Данные этих таблиц подтверждают справедливость указаний Н. С. Афонина [2] на то, что в условиях нарушения нормального энергоснабжения в первую очередь следует ограничивать производство карбида-кальция и в последнюю — производство электролитического аммиака.

Чтобы сохранить неизменной выработку продукции энергоемкого потребителя, необходимо увеличивать его установленную мощность. В этом случае, после ликвидации аварии в системе можно, увеличивая загрузку завода, выработать недополученную в аварийные часы продукцию.

Одновременно на электростанциях системы следует установить компенсирующие мощности, которые, работая с большим числом часов в году, дадут энергоемкому потребителю электроэнергию недополученную в период аварии системы. Эта энергия определится из выражения

$$\mathcal{E}_{\text{ком}} = \sum \mathcal{E}_{\text{ав}} - \mathcal{E}_{\text{рез}} = \sum \mathcal{E}_{\text{изу}}. \quad (8)$$

В пределе когда $\mathcal{E}_{\text{рез}} = 0$, $\mathcal{E}_{\text{изу}} = \sum \mathcal{E}_{\text{ав}}$, где $\mathcal{E}_{\text{изу}}$ — выработка энергии неустановленных, из-за переноса резерва на потребителя, резервных мощностей.

Отсюда нетрудно определить величину компенсирующей мощности, которая будет равна

$$N = \frac{\mathcal{E}_{\text{ком}}}{T_{\text{ком}}}, \quad (9)$$

где $T_{\text{ком}}$ — число часов использования компенсирующей мощности в году; $T_{\text{ком}} = 7000$ часов.

Ежегодные издержки эксплуатации по компенсирующим мощностям выразятся так:

$$L_{\text{ком}} = N_{\text{рез}} P_{n(m)} T_{\text{ср}} \left(\frac{x_N}{7000} + S_x q \right) \quad (10)$$

или

$$L_{\text{ком}} = x_N K_{\text{ком}} + q S_x \sum \mathcal{E}_{\text{изу}}. \quad (10')$$

Здесь $N_{\text{рез}}$ — необходимая в системе резервная мощность;

$P_{n(m)}$ — вероятность аварийного выхода из строя мощности равной $N_{\text{рез}}$;

$T_{\text{ср}}$ — среднее число часов использования установленной мощности системы;

x_N — коэффициент полных издержек приведенных к капитальным вложениям $x_N = x'_N + \frac{1}{T_p}$;

x — удельные капиталовложения в компенсирующую мощность;

S_u — стоимость единицы условного топлива в рублях;

q — удельный расход условного топлива в кг усл. топ./квт.ч.

С другой стороны, если отказаться от перенесения функций аварийного резерва на потребителя, то для обеспечения нормального энергоснабжения в системе необходимо установить резервные агрегаты. Суммарная мощность резерва будет зависеть от показателя аварийности в системе, мощности системы, а также наличия свободных мощностей на электростанциях.

Вероятность выхода из строя рабочей мощности и аварийной недовыработки энергии можно определить с помощью существующего способа [11], в котором использован закон биномиального распределения вероятностей. Этот способ, как показали исследования, дает хорошие результаты как при малом, так и при большом числе испытаний. В последнем случае аналогичные результаты дают расчеты при использовании закона Пуассона, который при малых p (показатель аварийности) дает более точные значения. Поскольку наблюдается тенденция к снижению аварийности в системах, а следовательно к уменьшению величины p , то расчеты вероятностей аварийного выхода из строя рабочих мощностей выполнены здесь с помощью формулы Пуассона, записанной в следующем виде:

$$P_{ak}(m+1) = \frac{n_k p}{m_k + 1} \cdot P_{ak}(m), \quad (11)$$

$$\text{где } P_{ak}(m) = \frac{(n_k p)^m e^{-n_k p}}{m!}.$$

Здесь m — число агрегатов в аварии;

n — число рабочих агрегатов;

e — основание натуральных логарифмов;

$k = 1, 2, 3$ — представляет номер группы, к которой относится агрегат данной мощности.

Методика расчета по формуле (11) аналогична таковой описанной в [11] и поэтому здесь не повторяется.

Очевидно, при возложении функций аварийного резерва системы целиком на электростанции, мощность аварийного резерва должна быть не меньше максимальной мощности, могущей оказаться в аварии. Это условие запишется так:

$$N_{рез} = N_{ав} - \sum n_k N_{ак}. \quad (12)$$

В этом случае количество выработанной резервными агрегатами электроэнергии в течение года составит:

$$\mathcal{E}_{рез} = \sum N_{ак} P_{ak}(m+1) T_{ср}. \quad (13)$$

где $T_{ср}$ — среднее число часов использования установленной мощности системы в году.

Для того, чтобы резервная мощность могла полноценно выполнять возложенные на нее функции в системе, ее следует устанавливать либо на гидростанциях обладающих значительными водохранилищами, либо на тепловых электростанциях, обеспечив последние соответствующим резервом топлива.

Суммарные издержки эксплуатации резерва системы складываются из издержек по установленным резервным агрегатам и издержек по топливу

$$U_{\text{рез}} = \alpha_{\text{вх}} \alpha_{\text{н}} N_{\text{рез}} + S_{\text{мг}} q N_{\text{рез}} P_{\text{эл}} (mk + 1) \cdot T_{\text{ср}}. \quad (14)$$

При составлении уравнения (14) было сделано следующее допущение. Запасенная в водохранилище вода рассматривалась как топливо, и выработанная из ней энергия оценивалась по стоимости энергии, заменяющей тепловой электростанции на угле, работающей в том же режиме, что и гидростанция при данном водохранилище.

Передача резервной мощности и энергии от места выработки до центра потребления их, при значительной протяженности линий электропередачи, может привести к значительным потерям их. Эти потери складываются из потерь активной и реактивной мощностей. Так как потери активной мощности в линиях передачи покрываются дополнительной выработкой генераторов системы, то необходимо увеличение генерирующих мощностей против потребного аварийного резерва системы.

В силу сказанного, здесь учитываются потери только активной мощности, величину которых нетрудно определить с помощью формулы

$$\Delta P = \frac{\Delta I^2_{\text{max}}}{u^2} R,$$

где P_{max} — наибольшая суммарная мощность передаваемая по л/п,

u — номинальное напряжение передачи в кВ,

R — активное сопротивление линии передачи в омах.

Таким образом, суммарные издержки эксплуатации линий электропередачи складываются из издержек эксплуатации собственно л/п и издержек по компенсации потерь энергии в них. Это условие можно записывать так:

$$U_{\text{л.п}} = U_{\text{эк}} + U_{\text{пот}}. \quad (15)$$

В конечном виде после подстановки значений $U_{\text{эк}}$ и $U_{\text{пот}}$ (15) можно представить так:

$$U_{\text{л.п}} = \frac{\alpha_{\text{л}} R^2 S N_{\text{рез}}}{u^2} (k_0 + bS) + \frac{3\alpha_{\text{вх}} \alpha_{\text{н}} N_{\text{рез}}}{SR}, \quad (16)$$

где S — сечение проводов линий электропередачи в мм^2 ;

q — удельное сопротивление материала проводов в $\text{ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

b — коэффициент, определяющий зависимость изменения расходов на сооружение 1 км линии от сечения проводов, $\text{рубл.}/\text{мм}^2 \cdot \text{км}$;

l — протяженность линии в км;

k_0 — расходы на сооружения 1 км линии, не зависящие от сечения проводов, рубл./км.

Таким образом суммарные издержки эксплуатации по аварийному резерву системы будут складываться не только из издержек по электростанциям и энергоемкому потребителю, но и из таковых по линиям электропередачи и по компенсации недоанной потребителю энергии из-за аварии в системе:

$$U_z = U_{гс} + U_{лн} + U_{пр} + U_{свн}. \quad (16)$$

Руководящим принципом здесь является требование получения минимума издержек эксплуатации в системе при изменении резервной генерирующей мощности, т. е. $\frac{dU_z}{dN_{гс}} = 0$. Продифференцировав

уравнение (16) по $N_{гс}$, преобразовав полученное после дифференцирования выражение и решив его относительно $P_{нк(mk+1)}$, окончательно получим:

$$P_{нк(mk+1)} = \frac{\frac{1}{3} d_0 T_0 (K_{пс} - 1) + \varepsilon \frac{R_n r_0}{3} (K_{нк} - 1) - d_{лн} x_n - \frac{2RS}{n^2} (k_0 + dS) - \frac{2axl}{3R}}{T_{гс} \left(\frac{2x_n}{7000} + 2S_{гс} \right)} \quad (17)$$

Поскольку всегда можно найти величину вероятного аварийного простоя агрегатов в системе в зависимости от резервной мощности ($P_{нк(mk+1)} = f(N_{гс})$), то задача сводится к нахождению значения $P_{нк(mk+1)}$ из (17), которое и определит значение экономически оправданной резервной мощности системы. Из выражения (17) следует, что с увеличением обеспеченности энергоемкого потребителя энергией значение ($P_{нк(mk+1)}$) (при положительном значении правой части уравнения (17)) убывает, а следовательно повышается величина экономически оправданной резервной мощности.

При возрастании стоимости установленного 1 квт-в резервной мощности и стоимости передачи ($P_{нк(mk+1)}$) возрастает, т. е. снижается величина экономически оправданной резервной мощности.

В качестве примера ниже приведен расчет величины аварийного резерва для трех энергетических систем, состоящих из 20, 30 и 40 агрегатов соответственно. При этом допущено, что входящие в систему агрегаты имеют две мощности 15 мвт и 50 мвт.

Расчет вероятности выхода из строя разной рабочей мощности произведен при одинаковом показателе аварийности ($P = 0,007$) [10] для всех агрегатов по формуле (11). Результаты этих расчетов сведены в таблицы 1—3, где кроме вероятностей выхода из строя различной мощности системы приведены значения аварийной мощности

Таблица

 $N_1 = 15$ мвт $n = 20$ $N_2 = 50$ мвт $n_1 = 12$ $n_2 = 8$

m	m_1	m_2	P_n (м)	$N_{\text{ав}}$ квт	$\Sigma_{\text{ав}}$ квтч	$T_{\text{ав}}$ час.
1	1	0	0,0730	15000	4930000	328
1	0	1	0,0486	50000	10900000	218
2	2	0	0,00307	30000	414000	137
2	0	2	0,00136	100000	612000	61,2
2	1	1	0,00108	65000	119500	1,84
3	3	0	0,000086	45000	17400	0,39
3	0	3	0,0000201	150000	17100	0,114
3	2	1	0,000114	80000	4100	0,51
3	1	2	0,000172	115000	8900	0,077

Таблица 2

 $N_1 = 15$ мвт $n = 30$ $N_2 = 50$ мвт $n_1 = 20$ $n_2 = 10$

m	m_1	m_2	P_n (м)	$N_{\text{ав}}$ квт	$\Sigma_{\text{ав}}$ квтч	$T_{\text{ав}}$ час.
1	1	0	0,114	15000	7695000	513
1	0	1	0,0566	50000	12735000	254,7
2	2	0	0,00799	30000	1070550	35,96
2	0	2	0,00198	100000	891000	8,91
2	1	1	0,00792	65000	2316600	35,64
3	3	0	0,000373	45000	75532,5	1,69
3	0	3	0,0000462	150000	37422	0,2079
3	2	1	0,000277	80000	99720	1,25
3	1	2	0,000559	115000	289292,5	2,52

Таблица 3

 $N_1 = 15$ мвт $n = 40$ $T_{\text{ав}} = 4500$ час. $N_2 = 50$ мвт $n_1 = 25$ $n_2 = 15$

m	m_1	m_2	P_n (м)	$N_{\text{ав}}$ квт	$\Sigma_{\text{ав}}$ квтч	$T_{\text{ав}}$ час.
1	1	0	0,139	15000	9382500	226
1	0	1	0,0835	50000	18747500	375,8
2	2	0	0,0121	30000	1633500	54,5
2	0	2	0,00438	100000	196200	19,6
2	1	1	0,0146	65000	4270500	65,7
2	3	0	0,00075	45000	142762,5	3,17
3	0	3	0,000153	150000	103275	0,689
3	2	1	0,000764	80000	142762,5	1,13
3	1	2	0,00127	115000	657225	5,72

аварийной недовыработки электроэнергии и продолжительности аварийного простоя.

Если в системе установить резервные агрегаты, то можно значительно снизить величину аварийной недовыработки. Однако каждый последующий резервный агрегат будет использовать меньшее число часов в году чем предыдущий, что видно из рис. 2, в котором даны вероятные частоты использования дополнительной, по сравнению с предыдущей, резервной мощности.

Определение экономически целесообразной величины аварийного резерва, в каждой из указанных выше систем, проводится с помощью выражения (17).

В качестве предприятий, на которые возможно возложение функций аварийного резерва в системе приняты производства карбида-кальция, ферросплавов и аммиака. При этом считается, что указанные предприятия будут ограничиваться в энергии в крайне редких случаях, когда резерв генерирующей мощности системы будет исчерпан.

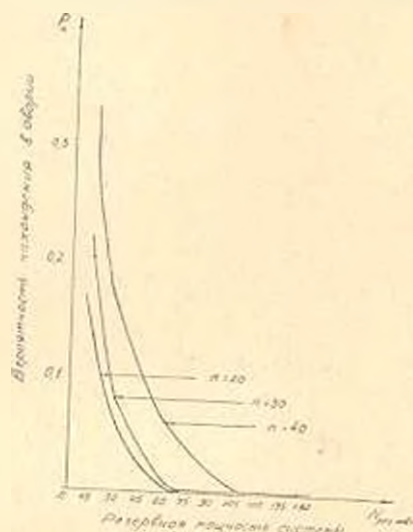


Рис. 2.

При определении величины аварийного резерва были приняты энерго-экономические показатели по энергоемким потребителям установленной мощности в системе и линиям передачи, приводимые ниже.

1. Себестоимость единицы продукции

- а) ферросплавы — 213 рубл./т.
- б) аммиак — 235,8 .
- в) карбид-кальция — 109,2 .

2. Удельные капиталовложения в энергоемкие предприятия

- а) ферросплавы — 2000 рубл./т
- б) аммиак — 4270 .
- в) карбид-кальция — 1460 .

3. Удельный расход электроэнергии на 1 тонн продукции

- а) ферросплавы — 5000 квтч./т
- б) аммиак — 14250 .
- в) карбид-кальция — 2966 .

Число часов использования установленной мощности энергоемких предприятий $T_n = 7200$ часов. Срок окупаемости последних при-

нят 12 лет $\alpha = \frac{1}{12} = 0,083$.

Удельные капиталовложения в 1 *квт* резервной мощности равны $\kappa_u = 1500$ рубл./*квт*. Напряжение передачи $u = 220$ *кв*. Провод принят марки АСУ — 300, а постоянная часть капиталовложения 1 *км* линии передачи $K = 27637$ рубл./*км*, $\alpha = 92$ рубл./*км* $\cdot$ мм^2 , $\rho = 29,5 \frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{км}}$; протяженность л/и $l = 200$ *км*.

Удельные капиталовложения в компенсирующую мощность $\kappa = 2500$ рубл./*квт*. Стоимость 1 *кг* условного топлива в рублях $S_\tau = 0,07$ рубл., а удельный расход условного топлива на единицу энергии принят равным $q = 320$ *гр*./*квт*ч.

По приведенным данным, с помощью формулы (17), были найдены величины $P_{\text{э}(1\text{мг}+1)}$ для различных значений h — числа часов работы энергоемких потребителей в году.

По данным расчета были построены U-образные кривые зависимости $P_{\text{э}(1\text{мг}+1)}$ от h . Для случаев использования в качестве резерва системы заводы по производству аммиака, ферросплавов и карбида-кальция (см. рис. 3).

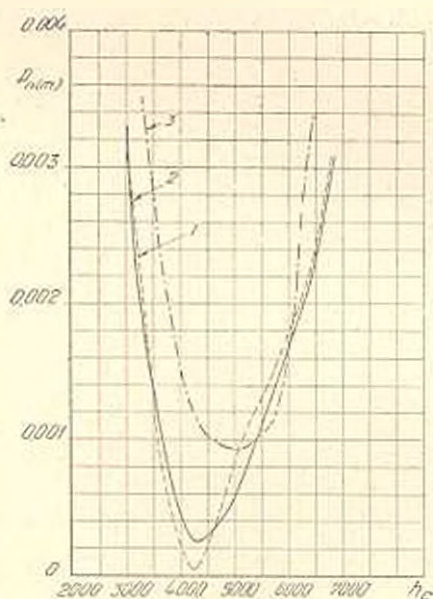


Рис. 3.

Как видно из рис. 3 предельные значения экономически оправдываемой резервной генерирующей мощности системы различны, при использовании в качестве резерва различные энергоемкие производства. Так, при использовании аммиачного завода в качестве резерва системы для него должна быть обеспечена наименьшая надежность энергоснабжения (минимум лежит близко к нулевому значению $P_{\text{э}(1\text{мг}+1)}$). И наоборот, для производства карбида-кальция, работающего в тех же условиях, надежность энергоснабжения может быть

самой низкой. По минимальным точкам $P_{nk(mk-1)}$ и рис. 2 можно определить величину экономически оправданной резервной мощности $N_{рез}$. С этой целью на рис. 2 отыскивается значение $P_{nk(mk-1)}$, равное или близкое по величине значению $P_{nk(mk-1)}$ для минимальной точки кривых рис. 3.

Величина резервной мощности должна соответствовать найденному на рис. 2 значению $P_{nk(mk+1)}$.

Промежуточные значения $P_{nk(mk+1)}$ также определяются по рис. 2 путем интерполяции. В заключении можно сказать, что предлагаемый способ энерго-экономической оценки аварийного резерва наиболее полно из существующих способов учитывает влияние различных факторов на величину резерва. В то же время рекомендуемые аналитические формулы достаточно просты для того, чтобы пользоваться ими в проектной практике.

Проведенные расчеты показали, что учет различной мощности агрегатов системы позволил снизить потребный резерв энергии примерно в два раза по сравнению с тем, что получается в системе состоящей из равновеликих агрегатов (1,8). В расчетах по обоим вариантам принимались одинаковая надежность электроснабжения потребителей.

Включение расчетных затрат (ежегодные издержки плюс тяжесть капремонтов) по линии передачи в формулу (17) приводит к увеличению резервной мощности системы по сравнению с вариантом, где эти затраты не учтены. В приведенном здесь примере резервная мощность увеличилась на 25 мвт, что увеличило расчетные затраты в резервную мощность на 6,8 млн. руб. Как уже было сказано выше, все расчеты проводились при сроке окупаемости 12 лет. Если же срок окупаемости принять 8 лет (по инструкции ГНТК СССР) то расчетные затраты повысятся на 23% по сравнению с таковыми при $t_p = 12$ лет.

Из сказанного ясно, что учет перечисленных факторов является необходимым с точки зрения экономического решения проблемы резервов в энергосистеме.

Институт энергетики и гидравлики

АН Армянской ССР

Поступило 12.VIII 1959

Ա. Գ. ՈՐԿՆԱՆՆԻ, Ս. Ա. ՄԵԼԻՔԻԱՆՆԻ

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿ ՍԻՍՏԵՄՆԵՐՈՒՄ ԴԻՎԱՐԱՅԻՆ ՌԵԶԵՐՎԻ
ԷՆԵՐԳԻՈՏՆՏԵՍԱԿԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Ա. Գ. ՈՐԿՆԱՆՆԻ

Էլեկտրակայանների նախադրման ժամանակ պետք է ի նկատի առնել ոչ ճիշնություն պաշտան, այն է՝ էլեկտրամատակարարման ապահովությունը պատկշին: Այդ խնդրի լուծման հիմնական հանարարն հանդիսանում է վթարային սեղերի ստեղծման և վթարային սեղերի մեծություն ճիշտ որո-

էջերը հոգաւածում առաջարկում է վթարային սեղերովի էներգիան տեսական գնահատման հղանակը, երբ վթարային սեղերովի բաշխումը կատարվում է էլեկտրակալանի և էլեկտրատար աղաւիչի միջև:

Վթարային սեղերովի գնահատումը որոշվում է սխառմի վթարային սեղերովի շահագործման դամարային ծախսերի միմիմումից, երբ վթարային սեղերովի շահագործող հզորութիւնը փոփոխական է:

Սխառմի դամարային ծախսերի մեջ մանում են ոչ միայն էլեկտրակալանի և էլեկտրատար աղաւիչի ծախսերը, այլ նաև էլեկտրահագործման գծերը և կոմպլեքսացված հզորութիւնի ծախսերը:

Հոգաւածում հաշիվ է տանում երկու կարևոր հանգամանք, առաջինը, որ սխառմում աղբիւղաները աւորեր հզորութիւնը են, և երկրորդը՝ դժի էլեկտրահագործման էներգիան տեսական պարամետրերը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Афонин Н. С. Убытки промышленности от электрических аварий. Электрические станции, № 7, 1934.
2. Афонин Н. С. Надежность электроснабжения промышленных предприятий, Госэнергоиздат, М.—Л., 1938.
3. Золотарев Т. Л. К экономическому расчету потребитель-регулятор сезонной гидроэнергии. Известия ЭНИИа, им. Крижановского, т. III, 1935.
4. Крицкий С. Н. и Менкель М. Ф. Ущерб от ограничения мощности и энергопотребления как фактор, определяющий целесообразные размеры водохозяйственных установок. Проблемы регулирования речного стока. Изд. Академии наук СССР, вып. 4, 1950.
5. Кузель-Кравецкий С. А. Электроэнергетическая система, М.—Л., 1938.
6. Мостков М. А. Введение в системную гидроэнергетику. Изд. Академии наук ГрузССР, Тбилиси, 1934.
7. Осепян А. М. Использование сезонной гидроэнергии в производстве карбида-кальция. Доклады АН Армянской ССР, т. II, № 2, 1943.
8. Осепян А. М. Карбидные и ферросплавные печи, как потребители-регуляторы сезонной гидроэнергии. Электричество, № 8, 1949.
9. Осепян А. М. Основные вопросы экономики гидроэнергетики. Докторская диссертация, Ереван, 1954.
10. Саркисян С. Г. Вопросы установления аварийного резерва в гидроэнергетической системе. Кандидатская диссертация. Ереван, 1954.
11. Саркисян С. Г. К вопросу об определении аварийного резерва в энергетической системе. Известия Академии наук АрмССР, т. VII, № 6, 1954.
12. Сиваков Е. Р. Энергетические резервы и потребители энергии. Вопросы развития энергетических систем и построения электрических сетей. Изд. Ленинградского университета, 1957.
13. Сисоян Г. А. Электрическая печь, как потребитель-регулятор энергосистемы. Электричество, № 9, 1950.
14. Фельдман М. П. Исследование экономики потребления сезонной энергии. Известия ЭНИИа, т. III, 1935.
15. Ферман Р. А. Методы экономической оценки эксплуатационного резерва электрических систем. Электричество, № 20, 1932.
16. Чокин Ш. Ч. Расчетная обеспеченность работы гидроэлектростанции. Алаш-Ата 1958.

ГИДРОТЕХНИКА

В. О. ТОКМАДЖЯН

НАИВЫГОДНЕЙШЕЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ
МЕЖДУ СУТОЧНО-РЕГУЛИРУЮЩИМИ ДЕРИВАЦИОННЫМИ ГЭС

Себестоимость энергии в системе в известной мере зависит от правильного распределения нагрузки между суточно-регулирующими установками.

Рассмотрим вопрос об определении наивыгоднейшего распределения нагрузки между двумя суточно-регулирующими деривационными установками, исходя из экономического принципа минимума себестоимости в системе.

Исследованием подобного вопроса занимался Егназаров [1]. Исходя из критерия минимума суммарных ежегодных расходов в системе, он дает графоаналитическое решение этой задачи.

Сохраняя подход Егназарова к решению задачи о наивыгоднейшем распределении нагрузки между двумя суточно-регулирующими деривационными установками, мы принимаем однако иную схему распределения нагрузки, при которой возможна полная и частичная работа каждой ГЭС в пиковой части.

Обозначим среднесуточную мощность через N , а установленные* мощности через P .

При расчете принимается, что суммарная среднесуточная мощность $\sum N_i$ (с учетом наличия длительного регулирования, т. е. мощности по деривационным расходам) равна средней ординате расчетного суточного графика нагрузки.

Для проводимых ниже расчетов принимается максимальный характерный суточный график нагрузки.

Выделив часть графика нагрузки, покрываемую суточно-нерегулирующими установками, оставшуюся часть (выше линии среза) этого графика покрываем сверху и снизу одной из установок, а среднюю часть — другой установкой, как это показано на рис. 1.

В качестве независимой переменной принимаем верхнюю долю установленной мощности первой установки P_1 .

С помощью анализирующей кривой по суточным выработкам определяются установленные мощности первой и второй установки P_1 и P_2 .

* Под установленной мощностью принимается максимальная рабочая мощность, т. е. мощность ГЭС без затора.

Способ получения этих мощностей следующий (рис. 1): заданное значение P_1 с помощью анализирующей кривой определяем $\mathcal{E}_1$. Прибавляя к $\mathcal{E}_1$ значение $\mathcal{E}_2 = 24 \Lambda_2$, из той же кривой определяем мощность P_2 . Оставшаяся мощность будет P_1 , а $P_1 = P_1 - P_2$. Пределы изменения P_1 нуль и мощность при котором площадь $\mathcal{E}_1$ равняется всей суточной выработке $\mathcal{E}_1 = 24 \Lambda_1$. При этом первая установка целиком покрывает верхнюю часть графика и ее установленная мощность достигнет максимального значения.

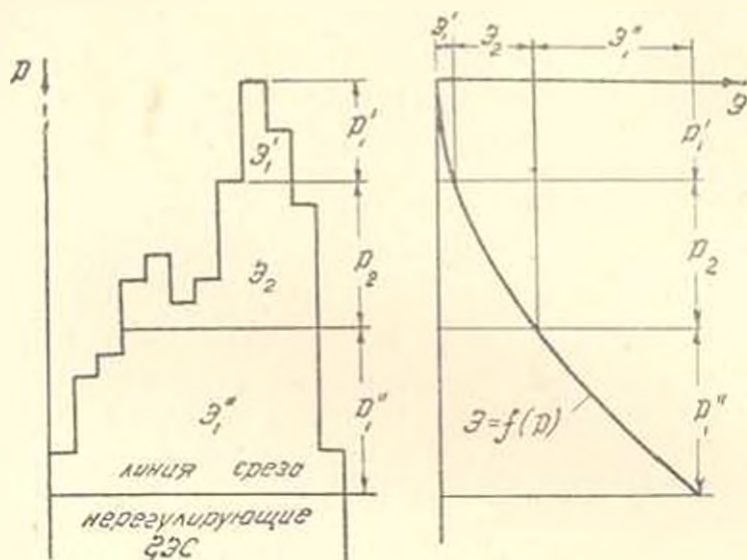


Рис. 1.

В целях упрощения дальнейших расчетов целесообразно принимать за основу расчета относительные графики нагрузки т. е. $P_{\max} = 1,0$.

При этом переменная P_1 заменяется отношением $\frac{P_1}{P_{\max}} = p$.

Для определения себестоимости энергии одной ГЭС с достаточной для практики точностью можно исходить из следующего выражения:

$$s = \frac{zK}{\mathcal{E}_{\text{год}}} \quad (1)$$

где z — коэффициент, учитывающий прямые и косвенные эксплуатационные расходы, K — общие капиталовложения в ГЭС, $\mathcal{E}_{\text{год}}$ — годовая выработка энергии ГЭС.

Аналогично может быть определена приведенная себестоимость для всей энергосистемы:

$$S = \frac{\sum K_i}{\mathcal{E}_{\text{год}} \text{ в с.}} \quad (2)$$

Капиталовложения в гидроэлектростанцию можно определить из выражения:

$$K = a + B P_{\text{уст}} + c W, \quad (3)$$

где a — стоимость тех сооружений, параметры которых не зависят от осуществления суточного регулирования (головной узел, деривация, сбросные сооружения), а также постоянная часть стоимости остальных сооружений, B^* — стоимость дополнительного киловатта установленной мощности, c — стоимость 1 м³ объема (W) бассейна суточного регулирования (БСР).

Объем БСР — можно определить из следующего выражения:

$$W = \frac{k_2 I_0 P_{\text{уст}}}{H} V, \quad (4)$$

где V — необходимая емкость БСР в квч, определяемая по относительному графику нагрузки (рис. 2); I_0 — объем воды, дающий 1 квч энергии при напоре $H = 1$ м.

$$I_0 = \frac{3600}{9,8 \tau} \sim (450 \div 550) \text{ м}^3$$

k_2 — коэффициент запаса.

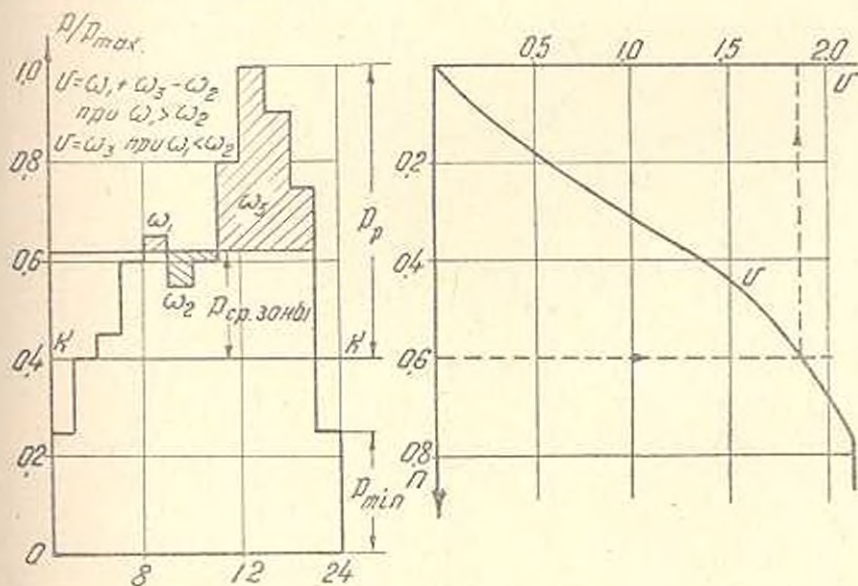


Рис. 2.

* Значение B легко определяется по сметным данным, а при проектировании ГЭС ориентировочно по формуле, подученной нами (используя исследование Г. Г. Связицкого [2]).

$$B = \frac{8310}{H^{0.5}} z^{0.5} + 312 + \left(\frac{968}{H^{0.5}} + 80 \right) \frac{z+1}{z} + 0.110 k_r \left(H + \frac{10000}{H} \right) + 43 \lambda_T.$$

где H — напор ГЭС; λ_T — отношение длины напорного трубопровода к напору; z — число агрегатов.

Для построения функции V введем понятие о степени регулирования $\lambda = \frac{P_p}{P_{\max}}$, где P_p — мощность зоны графика нагрузки, в которой производится суточное регулирование, $P_{\max}$ — максимальная ордината всего графика нагрузки (рис. 2). Каждому значению λ на графике нагрузки будет соответствовать некоторая переменная линия $k-k$, выше которой производится суточное регулирование. Для этой зоны (т. е. для зоны выше линии $k-k$) графика нагрузки определяется положение линии средней мощности и необходимая энергетическая емкость БСР в зависимости от площадей $\omega_1, \omega_2, \omega_3$, а именно:

$$V = \omega_1 + \omega_2 - \omega_3 \quad \text{если } \omega_1 > \omega_2 \quad (5)$$

или

$$V = \omega_2 \quad \text{если } \omega_1 < \omega_2.$$

Изменяя степень регулирования λ в интервале $0 < \lambda < \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max}}$

одним и тем же способом определяем соответствующие необходимые энергетические емкости БСР, на основании чего и строится кривая изменения V при данной конфигурации графика нагрузки (рис. 2).

Задаваясь значением p определяем необходимые емкости БСР первой и второй установки. Способ определения этих емкостей дан на рис. 3, из которого видно, что емкости БСР первой и второй ГЭС могут быть выражены так:

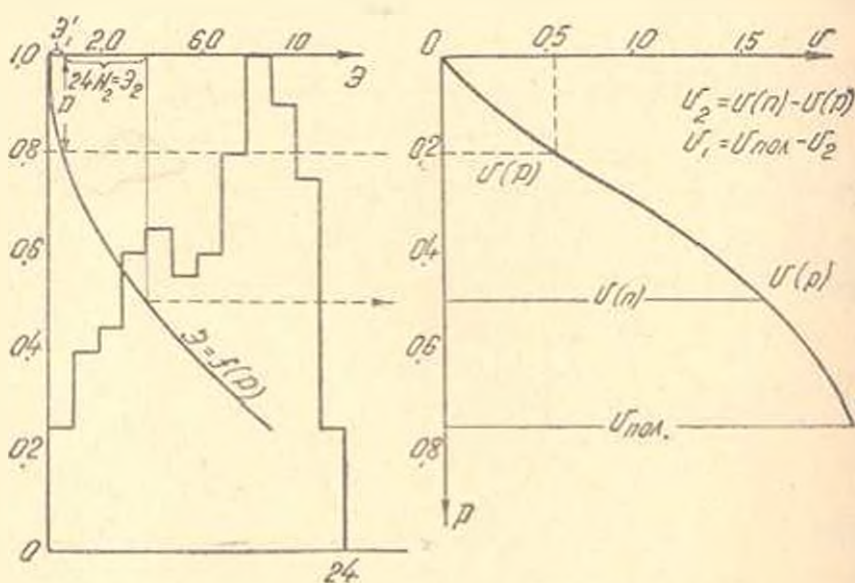


Рис. 3.

$$V_2 = V(n) - V(p)$$

$$V_1 = V_{\max} - V_2$$

(6)

где $V(n)$ — емкость соответствующей мощности $\frac{P_1 + P_2}{P_{\max}}$; $V_{\text{пол}}$ — полная необходимая емкость по графику нагрузки.

На основе вышеприведенных выражений (2—6) значение себестоимости энергии в системе выразится так:

$$S = \frac{\alpha \left[\sum a_i + \sum B_i P_i + k_3 f_0 1/\beta \left(\frac{c_2}{H_1} V_1 + \frac{c_2}{H_2} V_2 \right) \sum N_i \right]}{1/\beta h \sum N_i} \quad (7)$$

где $\beta = \frac{P_{\text{ис}}}{P_{\max}}$ — коэффициент полноты графика нагрузки; h — число часов использования максимальной мощности графика нагрузки.

Имея ввиду, что $V_1 = V_{\text{пол}} - V_2$ и $(P_1 - N_1) = (1/\beta - 1) \sum N_i - (P_2 - N_2)$ и обозначая

$$d = \frac{1/\beta c_2}{H} \quad (8)$$

(здесь d — параметр показывающий качество БСР в отношении суточного регулирования). После подстановки получаем следующее выражение:

$$S = \frac{\alpha \sum a_i}{h \sum N_i} + \frac{\alpha \sum B_i N_i}{h \sum N_i} + \frac{\alpha (B_2 - B_1) (P_2 - N_2)}{h \sum N_i} + \\ + \frac{\alpha}{h} (1 - \beta) B_1 + \frac{\alpha}{h} (d_2 - d_1) V_2 + \frac{\alpha}{h} d_1 V_{\text{пол}}. \quad (9)$$

Из этого выражения видно, что себестоимость энергии в системе можно выразить через переменные параметры (P и V) одной установки. Для определения оптимального значения переменной p , при котором себестоимость сводится к минимуму, выделим из выражения (9) часть, зависящая от суточного регулирования:

$$\psi(p) = \frac{B_2 - B_1}{\sum N_i} (P_2 - N_2) + (d_2 - d_1) V_2 + (1 - \beta) B_1 + d_1 V_{\text{пол}}. \quad (10)$$

Наименьшее значение функции $\psi(p)$ определяется при помощи непосредственного построения этой функции по точкам.

Отметим, что при увеличении p значения P_2 и V_2 непрерывно убывают, что приводит к следующим условиям, определяющим наименьшее значение функции $\psi(p)$:

1. Если $B_1 > B_2$ и $d_2 > d_1$, то минимальное значение себестоимости получается тогда, когда верхняя часть графика нагрузки покрывается первой установкой, а оставшая часть — второй установкой. При этом параметр p достигает своего предельного значения.

2. Если $B_1 < B_2$ и $d_2 < d_1$, то имеет место обратная картина: параметр p достигает нуля, а P_2 и V_2 достигают максимума.

3. Если $B_2 < B_1$, а $d_2 > d_1$ или $B_2 > B_1$, а $d_2 < d_1$, то оптималь-

ное значение p определяется экономически, с помощью уравнения (10). Так как выбор станции покрывающей среднюю часть графика произволен, то нужно решать задачу для двух возможных случаев, помещая каждую из станций в среднюю часть графика.

Ниже дается пример невыгоднейшего распределения нагрузки между двумя суточно-регулирующими установками.

Пример. Местная энергосистема состоит из четырех деривационных ГЭС, причем первая и вторая имеют неограниченные возможности в отношении суточного регулирования, а третья и четвертая не имеют возможности суточного регулирования.

Станции энергосистемы имеют следующие параметры:

Таблица 1

ГЭС №	H м	N квт	z	L_r	B руб/квт	c руб/квт	d
1	65	2150	4	1,6	1692	15	127
2	50	1080	2	1,3	1832	9	99
3	80	5500					
4	40	3700					
Всего	235	12430					

Расчетный график нагрузки в относительных координатах дан на рис. 4.

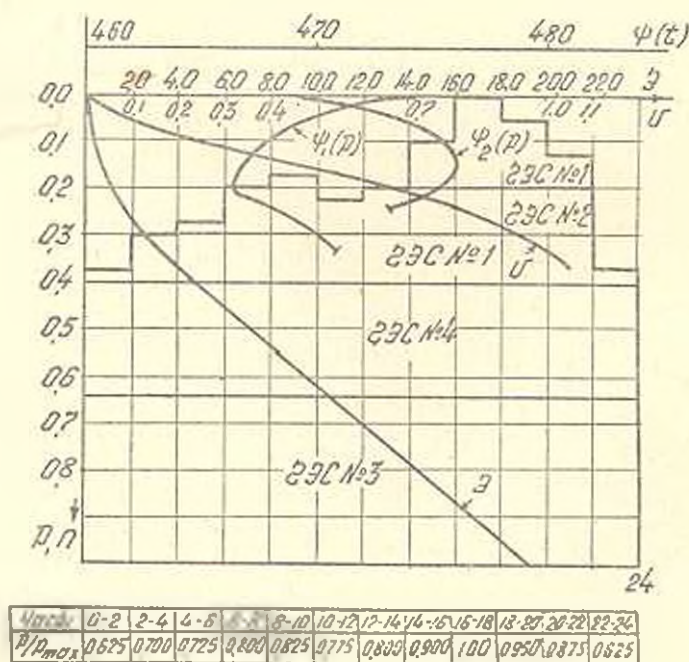


Рис. 4.

Принимаем, что в первом варианте сверху и снизу оставшаяся часть графика нагрузки покрывается первой ГЭС, а средняя часть — второй ГЭС. Во втором варианте принимаем обратную схему. Нумерация ГЭС соответствует данным таблицы 1.

При этом выражение (10) примет вид:

$$\psi_1(p) = 462,2 + 0,009 P_2 - V_2 \quad (\text{вариант I})$$

$$\psi_2(p) = 489,6 - 0,009 P_1 + 28 V_1 \quad (\text{вариант II}).$$

Пользуясь анализирующей кривой и кривой V (рис. 4) определяем P и V для разных значений p табл. 2.

Таблица 2

I вариант								
p	Ξ_1	$\Xi_1' - \Xi_2$	n	P_2	V_2	$0,009 P_2$	$28 V_2$	$\psi_1(p)$
0,00	0,00	1,68	0,25	3860	0,83	34,7	23,2	473,7
0,05	0,10	1,78	0,255	3170	0,75	28,5	21,0	469,7
0,10	0,30	1,98	0,268	2595	0,625	23,4	17,5	468,1
0,15	0,55	2,23	0,280	2010	0,460	18,1	12,9	467,4
0,20	0,95	2,63	0,300	1545	0,275	13,9	7,7	466,4
0,25	1,60	3,10	0,333	1280	0,190	11,5	5,3	468,4
0,30	2,50	4,18	0,375	1160	0,100	10,4	2,8	469,8
0,35	3,50	5,18	0,420	1080	0,020	9,75	0,56	471,4

II вариант								
p	Ξ_2	$\Xi_2' - \Xi_1$	n	P_1	V_1	$0,009 P_1$	$28 V_1$	$\psi_2(p)$
0,00	0,00	3,31	0,310	5300	0,99	47,7	27,4	469,3
0,05	0,10	3,44	0,350	4610	0,91	41,7	25,5	473,3
0,10	0,30	3,64	0,355	3910	0,77	35,4	21,5	475,7
0,15	0,55	3,89	0,366	3330	0,59	30,0	16,5	476,1
0,20	0,95	4,29	0,382	2810	0,40	25,3	11,2	475,5
0,25	1,60	4,91	0,410	2170	0,21	22,2	15,9	473,3
0,30	2,50	5,84	0,445	2240	0,10	20,2	12,8	472,2
0,35	3,50	6,84	0,490	2160	0,04	19,4	1,1	471,3

По данным табл. 2 строятся кривые $\psi_1(p)$ и $\psi_2(p)$ (рис. 4). Из этих кривых видно, что наивыгоднейшее покрытие графика нагрузки получается в первом варианте и при $p = 0,20$, соответствующие параметры регулирующих ГЭС будут оптимальными.

Гродненский политехнический институт

Поступило 10.VI 1959

Վ. Հ. ԹՈՒՔՄԱՋՅԱՆ

ԲՆՈՒ ԱՄԵՆԱՆՊԱՏԱԿԱԶԱՐՄԱՐ ԲԱՇԽՈՒՄԸ ՈՐՎԱ ԿԱՆՈՆԱՎՈՐՈՒՄ ՈՒՆԵՑՈՒՆ
ԴՆՐՈՎԱՑՈՐՆ ՀԻԴՐՈԷԼԵԿՏՐԱԿԱՑԱՆՆԵՐԻ ՄԻՋԵՎ

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Հոգաժամում քննարկվում է տրված օրվա բնույթի զրաֆիկի զագաթային մասի բաշխման հարցը օրվա կանոնավորում ունեցող զերիվացիոն հիդրոէլեկտրակայանների միջև, ելնելով սխառնում էներգիայի ինքնարժեքի միանմամից, Ընդունվում է, որ բնույթի զրաֆիկի բաշխվող մասը ծածկվում է միայն բարձր ճնշման հիդրոէլեկտրակայանների էներգիայի միջոցով, ախինքն հիդրոէլեկտրակայանների ճնշման փոփոխությունները հաշվի չեն առնվում:

Հոգաժամում տրվում են ալն կրիտերիաները, որոնք հնարավորություն են ստալիս որոշելու տվյալ հիդրոէլեկտրակայանի նպատակահարմար անդը բնույթի զրաֆիկի վրա և արդյունքում որոշվում են օրվա կանոնավորում ունեցող հիդրոէլեկտրակայանների պարամետրերը:

Հոգաժմի վերջում արվում է հաշվման թվային օրինակ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Егiazаров И. В. Гидроэлектрические силовые установки. Часть I, ОНТИ. Москва, 1934 г., гл. VI, § 14л.
2. Сванидзе Г. Г. Методика определения оптимальных параметров деривационной гидроэлектростанции. Сообщение АН СССР, т. XII, № 1, 1951.

МАШИНОВЕДЕНИЕ

К. А. МНДЖОЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДАЧИ ПРИ ШТРИПСОВОЙ
РАСПИЛОВКЕ КАМНЯ

Величина подачи при штрипсовой распиловке является тем доминирующим фактором, который при прочих равных условиях определяет производительность процесса. Действительно, часовая производительность, выраженная в поверхностных единицах, будет иметь вид:

$$\Pi = \frac{l_k \cdot S_1 \cdot 2\pi \cdot 60}{1000} \frac{\text{м}^2}{\text{час}},$$

где: l_k — длина распиливаемого блока в м; S_1 — подача на один ход штрипса в мм; π — число двойных ходов в минуту.

При постоянной длине блока, производительность прямо пропорциональна числу двойных ходов и величине подачи. Число двойных ходов предопределяется скоростью резания, оптимальная величина которой колеблется в весьма небольших пределах для каждой породы камня [2, 3]. Поэтому при обеспечении оптимальных скоростей резания величина подачи является основным фактором, диктующим производительность процесса. Однако чрезмерное увеличение подачи может оказаться нецелесообразным с точки зрения удельного износа штрипса, энергоемкости процесса и сохранности режущих способностей зерен абразива.

Цель настоящей работы заключалась в выявлении тех величин подач для каждой обрабатываемой породы, при которых удельная работа резания и удельный износ штрипса, соответственно характеризующие энергоемкость процесса и срок службы штрипса до его замены, имели приемлемые или минимальные значения, при сохранности режущих свойств абразива. Другими словами, следует найти те значения подач, при которых повышение производительности окажется экономически целесообразным.

Экспериментальное исследование проводилось в лабораторных условиях на установке, имеющей возможность с некоторым приближением моделировать работу маятниковых станков. Осуществлялась непрерывная подача воды (0,4 г/мин) и кварцевого песка (150 гр/мин) с предельными размерами зерен 0,2—0,3 мм. Штрипс был изготовлен из стали Ст.0, толщиной в 4,0 мм. Для большей точности измерения

мых величин эксперименты проводились на изношенном штрипсе, когда длина изношенной части штрипса была больше суммы длины камня l_1 и длины хода качания l . Последние две величины имели постоянные значения, а именно: $l_1 = 100$ мм, $l = 15$ мм. Распиловке подвергались базальт, разные мраморы и фельзитовый туф.

Ниже в таблице 1 и на рис. 1 приведены некоторые данные, характеризующие изменение удельной работы резания W' в зависимости от величины подачи S при распиловке различных пород камней.

Таблица 1

Подача $S \frac{\text{мм}}{\text{час}}$	Удельная работа резания $W' \frac{\text{кг} \cdot \text{см}}{\text{мм}^2}$				
	Базальт (Ереван) $\sigma_{сж} = 1400$ кг/см^2 при $V = 48,5$ $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$	Мрамор (Хорасан) $\sigma_{сж} = 915$ кг/см^2 при $V = 42,0$ $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$	Мрамор (Алгарин) $\sigma_{сж} = 910$ кг/см^2 при $V = 42,0$ $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$	Мрамор (Арзакан) $\sigma_{сж} = 832$ кг/см^2 при $V = 42,0$ $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$	Фельзит (Айрум) $\sigma_{сж} = 400$ кг/см^2 при $V = 62,0$ $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$
4,46	—	239	299	299	—
8,92	—	224	224	224	—
13,4	—	249	—	—	—
17,8	—	225	187	150	—
21,4	4160	228	—	—	47,3
26,8	—	249	174	150	—
35,8	—	—	410	317	—
46,6	6170	488	—	—	30,8
70,0	9550	878	755	506	—
93,5	14000	—	—	—	29,5
140,0	—	—	—	—	39,4
186,0	—	—	—	—	44,5
233,0	—	—	—	—	52,0

Анализ приведенных данных позволяет отметить, что зависимость $W' = f(S)$ имеет вид выраженные минимумы, т. е. для каждой породы существует оптимальная зона подачи, где удельная работа резания минимальная. При этом с увеличением прочности породы зона оптимальных подач сужается и смещается в сторону меньших подач. Исключение составляет базальт, для которого, по всей вероятности, оптимальная зона лежит в области неисследованных подач $S < 23,4$ мм/час.

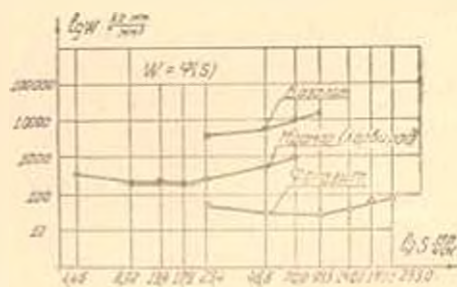


Рис. 1.

Влияние подачи на удельный износ штрипса при распиловке различных пород камней характеризуется приведенными на рис. 2 кривыми, которые показывают, что до определенной подачи (назовем ее критической) удельный износ не зависит от величины последней, а затем резко возрастает [1, 4]. Возможно, что для фель-

зитового туфа критическая подача находится за пределами исследованных подач ($S > 186 \frac{\text{мм}}{\text{час}}$). Характерно то, что с увеличением прочности породы, критическая величина подачи, после которой начинается резкое позрастание удельного износа, смещается в сторону меньших значений подач.

Абразива основной режущий элемент, и сохранность его режущих качеств в процессе штрипсования очень важна. С увеличением подачи, вследствие возрастания удельных давлений между штрипсом и обрабатываемой породой, зерна абразива все в больших количествах подвергаются дроблению, что приводит к сокращению количества рабочих зерен и абразиве, а следовательно и к ухудшению режущих свойств абразива целом.

В качестве исходного материала для исследования был взят кварцевый песок определенного фракционного состава, которым производилась распиловка при различных подачах. Фракционный состав по весу как исходного, так и обработанного песка определялся комплектом сит, с последующим взвешиванием отдельных фракций на технических весах. Сравнительные данные, характеризующие изменение фракционного состава абразива и зависимости от величины подачи при распиловке Хорвирабеского мрамора, сведены в таблицу 2.

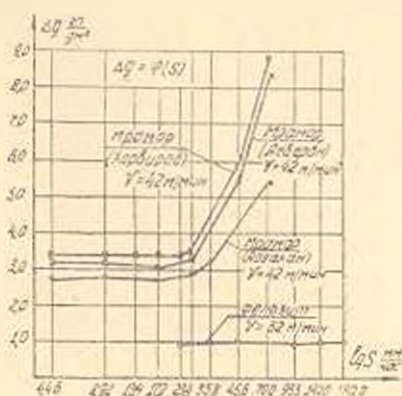


Рис. 2.

Таблица 2

Категория песка	Фракционный состав кварцевого песка в количестве 100 г						Σ
	0,5— 0,25 мм	0,25— 0,2 мм	0,2— 0,15 мм	0,15— 0,1 мм	0,1— 0,048 мм	< 0,048 мм	
Исходный	13,5	65,0	16,0	3,0	2,0	0,5	100,0
Отработанный при S = 4,4 мм/час . . .	6,7	60,0	24,5	4,5	3,1	1,2	111,0
Тоже при S = 8,9 мм/час . . .	5,6	56,1	27,6	5,5	3,5	1,7	114,4
Тоже при S = 13,4 мм/час . . .	4,6	52,4	31,2	6,0	3,9	1,9	117,8
Тоже при S = 17,8 мм/час . . .	4,1	50,0	33,1	6,4	4,2	2,2	120,3
Тоже при S = 23,4 мм/час . . .	3,9	48,3	34,1	6,8	4,4	2,5	122,2
Тоже при S = 46,6 мм/час . . .	3,1	46,3	36,1	7,1	4,6	2,8	124,7
Тоже при S = 70,0 мм/час . . .	2,0	40,0	39,2	8,8	6,1	3,9	135,4

Из данных таблицы видно, что только количество двух фракций исходного песка с предельными размерами зерен $0,5 : 0,25$ и $0,25 : 0,2$ мм уменьшаются в процессе распиловки. При этом, основной рабочей фракцией следует считать $0,25 : 0,2$ мм, процентное содержание которой в исходном песке составляет 65% . Проследим за количественным изменением этой фракции с увеличением подачи, для чего, принимая за 100% ее количество в исходном песке, подсчитаем процентное содержание этой фракции в отработанном при различных подачах песке и изобразим эту зависимость $G_p = \varphi(S)$ графически (рис. 3).

Приведенная графическая зависимость показывает, что содержание рабочей фракции в песке с увеличением подачи резко уменьшается. В области малых подач, в интервале $23,4 - 46,6$ мм/час содержание рабочей фракции несколько стабилизируется, а затем опять уменьшается. К аналогичному выводу приводит анализ процентного увеличения поверхностей зерен в процессе распиловки при разных подачах (таблица 2).

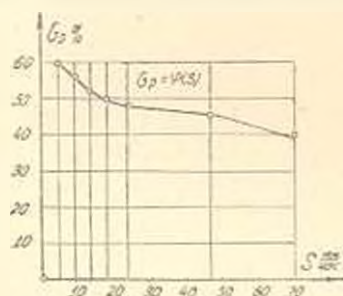


Рис. 3

Прежде чем перейти к окончательным выводам рассмотрим уравнение баланса удельной работы резания, которое напомним в следующем виде:

$$W = W_{тр} + W_{д.з.} - W_{з.к.}$$

В этом выражении первый член ($W_{тр}$) включает в себя удельные работы, затрачиваемые на преодоление трения рабочего и боковых поверхностей интринса, приводящие к износу последнего. Следовательно, о характере изменения $W_{тр}$ можно судить по кривым износа $\Delta g_{yz} = f(S, W_{д.з.} \text{ и } W_{з.к.})$ соответственно характеризуют работы, затрачиваемые на диспергирование зерен абразива и камня при распиловке единицы объема. О $W_{д.з.}$ можно судить по приращению общей поверхности зерен абразива, так как работа диспергирования прямо пропорциональна увеличению поверхности зерен в результате дробления и, частично, износа последних. Что касается $W_{з.к.}$, то о ней можно было получить представление путем определения поверхности продуктов разрушения, однако сбор последних представлял значительные технические трудности ввиду того, что разру-

* Поверхность зерен каждой категории песка вычислялась по формуле, выведенной в предположении, что все зерна имеют форму шара:

$$B = \sum \frac{3 G_i}{R_i \cdot \gamma}$$

где: i — число фракции в песке, G_i и R_i — соответственно вес и средний радиус зерна фракции и γ — удельный вес песка. При вычислении $B\%$, поверхность зерен исходного песка принята за 100% .

шенные частицы камня, обладая малыми размерами, уходили вместе с подаваемой водой. Достаточно сказать, что в изученном интервале подач толщина снимаемого слоя камня за один ход штрипса составляла от 0,08 до 1,28 μ . Следует отметить, что в уравнение баланса не включены работы упругих и пластических деформаций камня, штрипса и зерен абразива, величины которых должны быть малы по сравнению с другими составляющими. Для упрощения дальнейших рассуждений на рис. 4 графически изображены зависимости $W = \varphi(S)$, $\Delta g_{\text{ш}} = \varphi(S)$ и $\Delta B = \varphi(S)$ для хорнирабского мрамора.

Сопоставляя экспериментальные кривые удельной работы резания и ее составляющих, и полагая, что они приблизительно выражаются вышеприведенным уравнением, можем отметить следующее: для того, чтобы удельная работа резания изменялась по приведенному закону (рис. 4), необходимо, чтобы ее $W_{\text{ш.к}}$ составляющая с увеличением подачи до 26,8 мм/час непрерывно уменьшалась, так как в этом интервале подач удельная работа трения, характеризующая $\Delta g_{\text{ш}}$, остается постоянной, а удельная работа диспергирования абразива $W_{\text{а.к}}$, характеризующая $\Delta B\%$, непрерывно увеличивается. Такое предположение логически не встречает возражений, так как с увеличением подачи возрастает толщина снимаемого слоя и продукты разрушения получают более крупными, с меньшей общей поверхностью, что приводит к уменьшению удельной работы диспергирования камня. Очевидно, в области очень малых подач, ввиду незначительности глубины резания за один ход штрипса (0,08—0,24 μ), разрушению подвергаются исходные частицы породы, прочность которых значительно превышает общую прочность образца и в этой зоне с увеличением подачи $W_{\text{ш.к}}$ уменьшается более интенсивно, чем при больших значениях подачи. Именно этим вызвано наличие спадающей ветви в начале кривой $W = \varphi(S)$. При увеличении подачи свыше 26,8 мм/час обе составляющие удельной работы резания, а именно: $W_{\text{тр}}$ и $W_{\text{а.к}}$, непрерывно возрастают, что приводит к резкому увеличению удельной работы резания. Возможно, что в этом интервале подач уменьшение удельной работы диспергирования камня несколько стабилизируется вследствие того, что разрушение породы происходит, в основном, по границам исходных частиц, и уменьшение $W_{\text{ш.к}}$ с избытком перекрывается увеличением других составляющих. Кроме того, приведенные на рис. 4 экспериментальные кривые наглядно показывают, что резкое увеличение удельной работы резания, удельного износа штрипса и общей поверхности зерен абразива наступают примерно в этой же зоне подач.

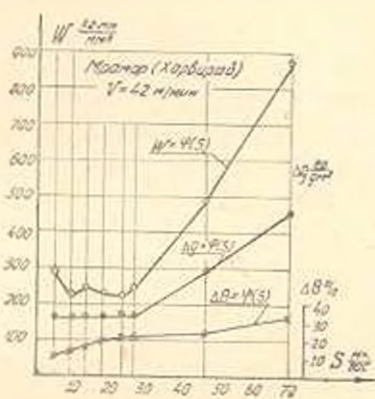


Рис. 4.

Резюмируя все сказанное, можно утверждать, что при распиловке каждой породы камня существует критическая зона подач. Работа с подачами, значения которых превышают критические, приводит к резкому сокращению срока службы штрипсов до их замены, к ухудшению режущих качеств абразива и к резкому увеличению энергоемкости процесса.

Исходя из экспериментальных данных, можно рекомендовать следующие зоны критических подач для исследованных мраморов при работе с кварцевым песком:

для Хорвирабского месторождения	23—30 мм/час,
Агперанского	30—35 "
Арзаканского	40—45 "

Достаточно отметить, что в настоящее время на наших предприятиях упомянутые мраморы, в зависимости от их прочности, обрабатываются с подачей от 16-ти до 25 мм/час. Если увеличение подач до их критических значений у эксплуатируемых станков связано в основном с вопросами жесткости и, частично, мощностью привода главного движения, то для вновь проектируемых станков обеспечение критических величин подач может быть легко осуществимо.

4. Ա. ԱՆՁՈՅԱՆ

ՄԱՏՈՒՑՄԱՆ ՈՒՍՈՒՄԱՆԻՐՈՒՄԸ ՔԱՐԻ ՇՏՐԻՊՍԱՅԻՆ ՄԼՈՅՄԱՆ ԳԵՊԻՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո յ մ

Մատուցումը ալն հիմնական դործոնն է, որը մյուս հալասար պարմանների ղեպքում որոշում է շտրիպային սղոցման պրոցեսի արտադրողականությունը:

Կատարված հետադրուսթյունների հիման վրա քարի յարարանշյուր սպարի համար սահմանվում են մատուցումների կրիտիկական մեծությունները, որոնց ղեպքում խիստ աճում են կտրման տեսակարար աշխատանքն ու շտրիպի տեսակարար մաշվածքը և վատանում են արրադիվի հատիկների կտրոց հատկությունները:

Ելնելով էքսպերիմենտայ սպարների վերլուծումից հանճարարվում է մատուցումների հետևյալ գոտիները տարրիկ մարմարների շտրիպային սղոցման ղեպքում.

Խորվիրարի մարմարի համար	25—30 մմ/մամ,
Աղվերանի	» 30—35 մմ/մամ,
Արդաթանի	» 40—45 մմ/մամ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Касьян А. В., Мнджоян К. А. Штрипсовая распиловка мрамора «Строительные конструкции, изделия и материалы», № 6, 1955.
2. Мнджоян К. А. Виброрезание и штрипсовая распиловка (на армянском языке). Ереван, 1957.
3. Мнджоян К. А. Рациональные методы получения облицовочных плит из естественных камней (на армянском языке), Ереван, 1957.
4. Мнджоян К. А. Износ штрипсов при распиловке естественных камней. «Известия АН АрмССР» (серия технических наук), том XI, № 3, 1955.

Тепловой поток возникает вследствие выделения на границе раздела фаз скрытой теплоты затвердевания q_k . В таком случае

$$q_k = \frac{q_k \gamma}{2\Delta\tau} \frac{r^2 - r_1^2}{r}. \quad (2)$$

Приравняв (1) и (2), получаем дифференциальное уравнение температурного поля в твердом слое

$$-dr = \frac{q_k \gamma}{2 \cdot \lambda \cdot \Delta\tau} \frac{r^2 - r_1^2}{r} dr. \quad (3)$$

Граничные условия задачи

$$\left. \begin{aligned} \tau = 0, \quad r = R, \quad \theta = 0; \\ \tau = \Delta\tau, \quad r = r_1, \quad \theta = \theta_k = t_k - t_{\infty}; \\ q_R = \alpha(t_k - t_{\infty}). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Решение уравнения (3) имеет следующий вид:

$$M = A_1 [A_2 - (1 - z^2) [A_2 - \ln(1 - z^2)]] \quad (5)$$

где ξ — толщина твердой корки, м;

z — относительная толщина твердой корки;

R — радиус цилиндра, м;

$\Delta\tau$ — время, час;

q_k — скрытая теплота, ккал/кг;

λ — коэффициент теплопроводности твердой корки, ккал/м·час·°C;

c — удельная теплоемкость твердой фазы, ккал/кг·°C;

α — коэффициент теплоотдачи, ккал/м²·час·°C;

$M = BiNF_0 = \frac{\alpha(t_k - t_{\infty})\tau}{q_k \gamma R}$ — безразмерное время затвердевания;

$A_1 = Bi/4$; $A_2 = 1 - 2Bi$;

$Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}$ — критерий Био;

$N = \frac{c(t_k - t_{\infty})}{h_k}$ — критерий Казеева;

$F_0 = \frac{a\tau}{R^2}$ — критерий Фурье.

На рис. 2 показан вид этой функции. В качестве параметра взят критерий Био. Для проверки формулы (5) были обработаны экспериментальные данные А. Г. Ткачука и Г. И. Давыдиной [6] по намораживанию льда в цилиндре (рис. 3). Кривая вычислена по формуле (5). Совпадение теоретических и экспериментальных результатов можно считать вполне удовлетворительным.

Вызывает изумление принятый авторами способ приравнивания температуры стенки к температуре затвердевания (0°C), тогда как температура охлаждающей жидкости в опытах менялась от -10 до -30°C. Вполне естественно, что происходит некоторое переохлаждение льда.

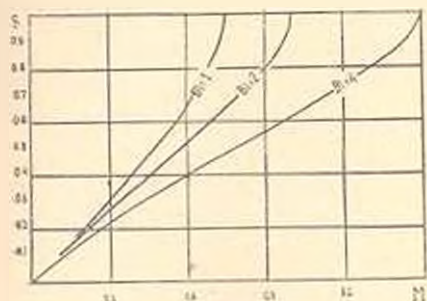


Рис. 2.

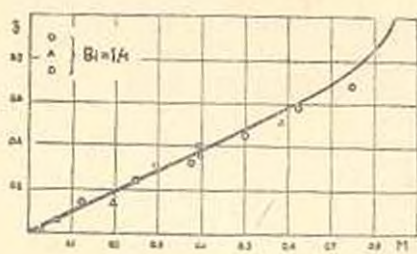


Рис. 3.

Описание экспериментальной установки. Нами было проведено экспериментальное исследование по затвердеванию декагидрата сульфата натрия ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) в цилиндре. Экспериментальная установка представляет собой цилиндр, помещенный в охлаждающую рубашку. Диаметр цилиндра — 80 мм, высота — 150 мм. На высоте 75 мм на оси установлена термopара. Для измерения температуры воды на входе и выходе из рубашки применялись лабораторные термометры с минимальным делением шкалы 0.1. Для повторения опыта затвердевшая в цилиндре соль расплавлялась путем пропускания через рубашку горячей воды. Для этой цели установлен электрический нагреватель.

Методика эксперимента. При сравнении экспериментальных данных ряда авторов с формулой (5) было выяснено, что наибольшее расхождение между этими данными имеет место при $\delta = 1$, т. е. при окончательном затвердевании объема. При значениях $\delta < 1$ указанное расхождение уменьшается. Это объясняется тем, что с увеличением толщины твердой корки увеличивается доля физического тепла в тепловом потоке. Так как при составлении баланса тепла [уравнения (1) и (2)] нами эта часть теплового потока не была учтена, то естественно, что наибольшие расхождения между теоретическими и экспериментальными данными наблюдаются при $\delta = 1$.

С другой стороны, при расчете химических аккумуляторов тепла, основанных на принципе использования скрытой теплоты фазовых превращений, необходимо, при заданных τ_k , α и физических параметрах твердой фазы, определить оптимальный радиус цилиндра. Для этого положим $\delta = 1$. Тогда формула (5) будет выглядеть:

$$M = 0,5 + 0,25 B_1. \quad (6)$$

Следовательно, суть методики состоит в определении времени окончательного затвердевания t_k . В опыте это достигалось измерением температуры расплава на оси цилиндра. При достижении точки перегиба (затвердевание расплава на оси цилиндра) фиксировалось время t_k . Замеры производились через каждые 5 минут. Ход температуры охлаждающей воды и теплового потока показан на рис. 4. Изменение температуры воды на входе $t_{ж}$ объясняется некоторой

тепловой инерцией нагревателя, через который протекает охлаждающая вода. Изменение же температуры нагретой воды обусловлено увеличением термического сопротивления твердой корки. Раз-

ность ординат u указывает степень аккумуляции в твердом слое части выделившегося тепла и замедление процесса затвердевания, вследствие увеличения теплового сопротивления твердого слоя.

Полученные результаты были обработаны в координатах $M; B$. Как видно из рис. 5, экспериментальные точки хо-

рошо укладываются на прямую, вычисленную по формуле (5).

Пренебрегая физическим теплом затвердевающего слоя, удалось получить простые формулы, описывающие процесс кристаллизации.

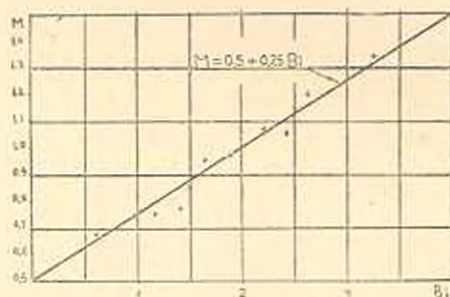


Рис. 5.

Эти формулы хорошо согласуются с экспериментальными данными в области веществ, представляющих интерес для аккумуляторов солнечного отопления. Проведены исследования кристаллизации декагидрата сульфата натрия; результаты подтверждают теоретическую формулу.

Поступило 2.1.1959

ЛИТЕРАТУРА

1. Тагеев В. М., Гуляев Б. Б. „Металлург“, № 8, 1939.
2. Жегалов А. К., Тагеев В. М. „Металлург“, № 2, 1938.
3. Вейник А. В., Гухман А. А. ЖТФ, т. XXI, вып. 1, 1951.
4. Лейбензон Л. С. Руководство по нефтепромысловой механике, ч. 1, 1931.
5. Кистряни Х. А. „Известия АН Армянской ССР“, сер. технических наук, т. XII, № 1, 1959.
6. Ткачев А. Г., Данилина Г. Г. Вопросы теплообмена при изменении агрегатного состояния вещества. Госэнергоиздат, 1953.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

К. Х. ОВСЕЯНИ, М. Г. ХАЧИЯН

ПРИБОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ РАСХОДА ВОДЫ
ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ

При исследовании неустановившихся (нестационарных) процессов в гидроэнергосистемах в лабораторном и в натуральных условиях, наряду с измерением крутящего момента турбины и давлением в трубопроводе, очень важна задача о регистрации переменного по времени расхода воды, протекающей через турбину. В отличие от обычных приборов к таким устройствам предъявляются также и специальные требования, как например, электрический выход для записи на осциллограф, безынерционность, надежность измерений. Кроме этого, такое устройство не должно реагировать на повышение или понижение давления в трубопроводе. В настоящее время существует 3 класса безынерционных электрических расходомеров: калориметрические, термоанемометрические, индукционные.

Калориметрические расходомеры основаны на нагреве потока постоянным источником и измерении, при этом, изменения температуры потока при постоянном подводе тепла. На практике такие измерения осуществляются исключительно с помощью электрических термометров сопротивления.

Термоанемометрическими называются приборы, основанные на зависимости между количеством тепла, теряемого нагретым телом и скоростью потока, в котором это тело находится. Калориметрические и термоанемометрические расходомеры применяются только для измерения расхода газа, так как требуют сложную аппаратуру, которая приводит к искажению замеров.

Индукционные расходомеры, основанные на измерении зависящей от расхода воды электродвижущей силы, индуктированной в потоке электропроводностью жидкости под действием внешнего магнитного поля, несмотря на ряд достоинств, также не могут быть использованы. Участок трубопровода, где должен быть установлен индукционный расходомер, должен быть из немагнитного материала, а для измерения больших расходов (при больших диаметрах трубопроводов) трудно создать сильные магнитные поля.

В лаборатории моделирования Института энергетики и гидравлики был сконструирован и испытан электрический мембранный тензометрический расходомер, удовлетворяющий вышепоставленным требованиям.

На трубопроводе до и после местного сопротивления или изменения диаметра, с помощью трубок присоединяется электрический

датчик переменного перепада (рис. 1). Указанный датчик, представляющий из себя дифференциальный тензометрический манометр, состоит из двух цилиндров, между которыми вставлена упругая мембрана. На мембрану с двух сторон приклеено по одному проволочному тензометрическому сопротивлению (рис. 2). Эти сопротивления являются двумя плечами измерительного моста, остальные два плеча которого находятся в измерительном усилителе.

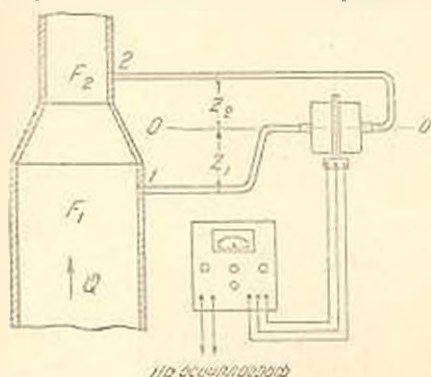


Рис. 1.

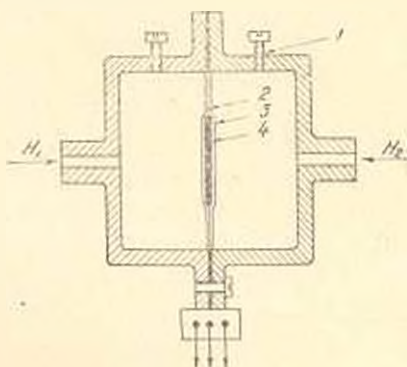


Рис. 2.

Если в трубопроводе нет расхода, то давления на мембрану с двух сторон равны, и измерительный мост находится в равновесном состоянии. С увеличением расхода воды увеличивается перепад давления в местах присоединения соединительных трубок. Мембрана изгибается, вследствие этого сопротивления тензодатчиков меняют свои значения, и измерительный мост выходит из своего равновесного состояния. Проявившийся в диагонали измерительного моста ток, как будет видно ниже, пропорционален перепаду давления, т. е. расходу. Этот ток после необходимого усиления подается на осциллограф для регистрации.

При быстром изменении расхода уравнение Бернулли в отношении горизонтальной оси 0—0 дифманометра расходомера будет

$$-z_1 - \frac{p_1}{\gamma} + \frac{Q^2}{2\alpha F_1^2} + \Delta h_1 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{Q^2}{2\alpha F_2^2} (\xi + 1) + \Delta h_2 \quad (1)$$

где $\frac{p_1}{\gamma}$, $\frac{p_2}{\gamma}$ — пьезометрические давления соответственно в точках 1 и 2;

Δh_1 и Δh_2 — изменение напора вследствие гидравлического удара, Q — расход воды в трубопроводе;

ξ — коэффициент сопротивления на участке 1—2.

Волна гидравлического удара, которая будет распространяться от конца трубопровода, от створа 2 до створа 1 через время $\Delta t = \frac{l}{a}$. Из-за малого расстояния l и большого значения ско-

рости распространения ударной волны a , можно принять, что Δh_1 и Δh_2 действуют одновременно. Однако, это запаздывание, как будет показано ниже, можно полностью компенсировать помощью соединительных трубок.

Действующее на мембрану результирующее давление будет равно:

$$\Delta H = \left(-z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \Delta h_1 \right) - \left(z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \Delta h_2 \right) = \frac{Q^2}{2gF_1^2} \left(1 - \xi - \frac{F_2^2}{F_1^2} \right), \quad (2)$$

откуда

$$Q = k_1 \sqrt{\Delta H}, \quad (3)$$

где

$$k_1 = \sqrt{\frac{2gF_1^2}{\left(1 + \xi - \frac{F_2^2}{F_1^2} \right)}} \quad (4)$$

Квадратичная зависимость между расходом и перепадом является общим свойством дифференциальных манометров.

Конструктивное выполнение дифференциального манометра позволяет путем подбора диаметра и толщины мембраны получить связь между перепадом давления и выходным током электрической части в виде

$$I = k_2 \sqrt{\Delta H}, \quad (5)$$

где k_2 — постоянная для достаточно большого диапазона изменения перепада и определяется параметрами датчиков и мембраны. В результате совместной работы обоих элементов прибора получается линейная связь между расходом и выходным током в большом диапазоне изменения расхода. Из (4) и (5) имеем:

$$I = \frac{k_2}{k_1} Q$$

или

$$I = kQ. \quad (6)$$

Коэффициент k остается неизменным при статических и динамических режимах, так как k_1 и k_2 постоянные.

Это дает право произвести тарировку расходомера в статическом режиме после его установки.

Указанный расходомер требует специальной наладки, которая заключается в следующем: при гидравлическом ударе волны повышения или понижения давления от створов 1 и 2 достигают датчика одновременно и этим искажают замеры. Соответствующим, тщательным подбором длин соединительных трубок нужно добиваться того, чтобы волны гидравлического удара достигли мембраны датчика одновременно. Соединительные трубки дифманометра должны быть возможно короче, а сам датчик должен быть закреплен таким образом, чтобы вибрация трубопровода не передавалась ему.

После сборки электрической части схемы два отверстия дифманометра соединяют через тройник, и в обеих камерах одновременно давление воды постепенно повышается до величины, которая может быть при эксплуатации датчика. При этом во всем диапазоне изменения давления мембрана не должна деформироваться, т. е. электрическая схема не должна выходить из равновесного состояния.

Q л/сек

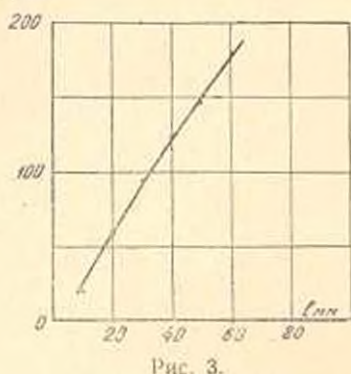


Рис. 3.

Корпуса датчиков делаются из антикоррозийного материала с внутренним диаметром 40 мм. На обеих половинах имеются специальные краники для выпуска воздуха. Материал мембраны фосфористая бронза толщиной 0,3 мм. На мембрану приклеены с двух сторон проволочные тензодатчики длиной 20 мм и сопротивлением $R = 200$ ом. Проволочные сопротивления предохраняются от действия воды тонкой резиновой пленкой, которая накладывается прямо на мембрану с двух сторон. На рис. 3

представлена калибровочная кривая, из которой видно, что предлагаемый прибор очень удобен для регистрации расхода воды в грубопроводе, так как имеет почти прямолинейную шкалу в большом диапазоне изменения расхода.

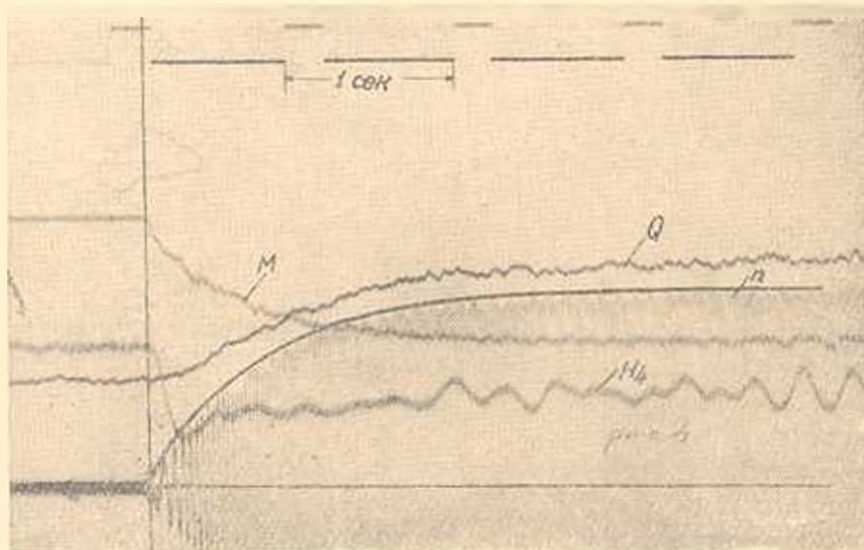


Рис. 4.

На рис. 4 представлен образец осциллограммы с записью расхода.

Поступило 6.1V 1960

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

КНИГА О ТУФАХ И МРАМОРАХ АРМЕНИИ

Армения — страна огромных ресурсов естественных каменных материалов. Красочные туфы, мраморы, базальты, граниты украшают не только Армению, но и города братских республик. Далеко за пределами республики — в Москве, Киеве, Кисловодске, Сочи и других городах Союза можно увидеть здания, облицованные розовым арктиским туфом или черным араратским мрамором с золотистыми прожилками.

Вышедшая недавно в свет книга об армянском камне* вызвала живой интерес у читателей. Именно сейчас, когда строительство у нас развернулось в невиданных масштабах, архитекторам, проектировщикам и строителям нужно было такое собрание сведений об основном строительном материале — камне.

Выход в свет этой книги является событием для строителей, поскольку она является первой книгой, посвященной строительным камням Армении.

Книга состоит из двух частей.

Первая часть книги, занимающая ее основной объем (автор З. А. Ацагорцян), посвящена вулканическим туфам, вторая часть (О. А. Мартиросян) — мраморам.

В первой главе дается общие данные о туфах и об их генезисе. Здесь автором впервые дана классификация вулканических туфов Армении. На основании результатов многолетних исследований физико-механических свойств, петрографического и химического составов туфов из многочисленных месторождений автору удалось группировать туфы по пяти типам. Это — туфы азийского, арктического, ереванского, бюраканского и фельзитового типов.

Такая классификация облегчает дальнейшее исследование туфов, поскольку выявлены общие черты туфов, представленных десятками месторождений.

Интересна установленная зависимость между объемным весом и прочностью вулканических туфов различных типов.

Приведенный в книге график, на котором изображены кривые этой зависимости, дает наглядное представление о строительных характеристиках туфов.

* З. А. Ацагорцян, О. А. Мартиросян „Туфы и мраморы Армении“ (на армянском языке). Айпетрат, Ереван, 1959 г.

В остальных пяти главах первой части книги приведены материалы по пяти типам вулканических туфов. В начале дается общая характеристика данного типа туфа и пределы колебаний показателей его свойств. Затем приводятся подробные данные по отдельным месторождениям и карьерам. Для каждого месторождения приводятся довольно подробные данные о мощности слоев камня, покрывающем слое грунта, отметке месторождения от уровня моря, а также о месторождении карьера, дорогах связывающих его с населенными пунктами, железнодорожными станциями и городами республики.

Туф каждого месторождения описан петрографически, приведены данные химического анализа. Физико-механические свойства пород даны в виде показателей отдельных проб и средних по месторождению. Данные охватывают объемный и удельный веса, пористость, водопоглощение, морозостойкость, прочность при сжатии в сухом и водонасыщенном состояниях, морозостойкость и др. Для туфов некоторых месторождений даются значения модуля упругости, коэффициента теплопроводности, температуры плавления и др. свойства.

Следует отметить, что в некоторых случаях не показательны средние значения прочности образцов в водонасыщенном состоянии или после многократного замораживания ввиду малого количества испытаний (стр. 41, 45, 63 и др.). Так например, по данным таблицы 52 прочность туфа после 20-кратного замораживания повышается, что следует отнести к неоднородности испытываемых образцов.

К сожалению не все месторождения, упомянутые в книге, изучены полностью. Имеются и такие, которые указаны лишь по месторождению и больше никаких данных о них не приводится.

Наиболее подробно изучены туфы арктического месторождения. Эти туфы испытаны на теплоемкость, теплопроводность, паро и воздухопроницаемость, теплоустойчивость, прочность на изгиб и т. д. Было бы желательно, чтобы туфы других типов, особенно ереванского, также изучались более подробно.

Среди вулканических туфов фельзитовые туфы своими декоративными качествами занимают особое место. Помимо общих характеристик фельзитовых туфов в книге приведены данные нормального сцепления раствора с фельзитовым камнем и даются некоторые рекомендации для повышения прочности этого сцепления.

Учитывая пониженную погодоустойчивость фельзитовых туфов автором даны специальные указания по применению фельзитовых туфов для облицовки фасадов. Эти указания относятся как к проектировщикам-архитекторам, так и строителям-производителям работ и имеют целью повышение долговечности фасадов, облицованных фельзитовыми туфами.

Вторая часть книги состоит из 2-х глав. Первая глава освещает общие характеристики мраморов, их свойства, область применения и технические требования предъявляемые к ним. Было бы не лишне здесь отметить также электротехнические свойства мраморов,

Во второй главе приводятся подробные данные о существующих в республике месторождений мраморов, мраморных ониксов, мраморовидных известняков и мраморных конгломератов. Для породы каждого месторождения даются химический и минералогический составы, структура и текстура породы, физико-механические и электротехнические свойства. Кроме того, для каждого месторождения приводятся данные о выходе блоков из горной массы.

Хочется особенно отметить богатство иллюстрационного материала и хорошее художественное оформление книги. Сопутствующие тексту многочисленные цветные фотографии видов камней — туфов и мраморов, в натуральную величину, а также общие виды и фрагменты зданий из этих камней дают возможность составить полное представление об описываемых материалах.

Почти в каждом удобном случае приводятся справки о применении данного камня как в настоящее время, так и в исторических памятниках.

В книге нашли место некоторые незначительные неточности, исправление которых желательно в последующих изданиях, а также в русском издании, которое выйдет в свет в скором будущем.

Отметим некоторые из них. На стр. 50 говорится о Кировском канале. Такого канала в Армении не существует.

На стр. 50 неточно определены границы распространения туфов под Ереваном — например вместо улицы Гюнянца указана ул. Пушкина, говорится о трамвайной линии без упоминания ее названия. Такая же описка в отношении указанных улиц допущена на стр. 49.

В таблице 61 имеется описка в соотношении деформаций, выражающих коэффициент Пуассона.

Желательно было бы на карте месторождений Армении, приведенной в конце книги, условные обозначения месторождений показать цветами добываемого в данном месте камня. Отметки месторождений над уровнем моря в большинстве случаев приводятся с точностью до 1 м. Правильнее было бы округлить их, как это сделано на стр. 81.

Указанные замечания не умаляют достоинства работы.

Рецензируемая книга является ценным трудом, имеющим большое практическое и научное значение, и, безусловно, станет настольной книгой строителей.

Л. В. ШАХСУВАРЯН

Բ Ո Վ Ա Ն Ի Ա Կ Ո Ւ Յ Ո Ւ Ն

Հիդրավիկա

68

Ա. Ս. Գապայրյան, Ռ. Ե. Հակոբյան. Պենմատիկ տրանսպորտը ախնդ ֆազայի բարձրը կոնցենտրացիաների դեպքում	3
--	---

Ինժեներական սեյսմոլոգիա

Ռ. Կ. Կարապետյան, Դ. Կ. Կարապետյան. Բնանոցի տատանման ապեկտրալ կազմի որոշումը երկրաշարժի դեպքում	11
---	----

Հիդրոսեյսմիկա

Վ. Ե. Ժամատչյան. Սևանի լիճը թափվող զեռերի րնդերկայանալան պրոֆիլի փոփոխությունը կախված նրա մակարդակի իջնցումից	19
Ս. Դ. Սարգսյան, Ս. Ա. Սիլվարյան. Հնեբրդ ետիկ սիստեմներում վիարային ուղեգրվի էներգո-տնտեսական գնահատականը	29
Վ. Հ. Թորմաշյան. Բեռի ամենաանպատակաշարժար բաշխումը օրվա կանոնադրում ունեցող գերիվացիոն խցրելվեզարգացանների միջև	43

ՄԷԼԵՆԱՊԼԱՍՏԻԿ

Կ. Ա. Մեչոյան. Մատուցման ուսումնասիրումը ջարի շարկապային սզոցման դեպքում	51
--	----

Գիտական նորեր

Ք. Հ. Ֆիստորյան. Պեղեցման պրոցեսի էքսպերիմենտալ հետազոտությունը	57
Կ. Խ. Հովսեփյան, Մ. Գ. Խաչիյան. Ներշնչի ու հաստատված ուժերի նամար	61

ՎճճԱՊԱՆՈՐՄԱՆ և ԲԻՆԻՍՈՐԳԱՓԻՍ

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Гидравлика

А. М. Гаспарян, Р. Е. Ахоян. Пневмотранспорт при высоких концентрациях твердой фазы	3
---	---

Инженерная сейсмология

Б. К. Карапетян, Н. К. Карапетян. Определение спектрального состава колебаний почвы при землетрясении	11
---	----

Гидротехника

<i>В. П. Жамагорцян.</i> Изменение продольных профилей рек плавящихся в озере Севан, в зависимости от понижения его уровня	19
<i>С. Г. Саркисян, С. А. Мхитарян.</i> Энерго-экономическая оценка аварийного резерва в энергетической системе	29
<i>В. О. Токмаджян.</i> Наиболее выгодное распределение нагрузки между суточно-регулирующими деривационными ГЭС	43

Машинное поведение

<i>К. А. Минасян.</i> Исследование подачи при штрипсовой расклевке камня . .	51
--	----

Научные заметки

<i>Х. А. Кисторян.</i> Экспериментальное исследование процесса затвердевания .	57
<i>К. Х. Овсепян, М. Г. Хачиян.</i> Прибор для регистрации расхода воды при нестационарных режимах	61

Критика и библиография

