

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ-ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ.
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Աղոնց Ն. Տ., Ալեքսեևսկի Վ. Վ., Փաստարյան Ա. Մ., Եղիազարյան Ի. Վ., Կասյան Մ. Վ., Նազարով Ա. Ի. (պատ. խմբագիր), Սիմոնով Մ. Զ., Տեր-Ստեփանյան Գ. Ի., Փինաջյան Վ. Վ., Մանասյան Ա. Ս. (պատ. քարտուղար):

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Авоиц Г. Т., Алексеевский В. В., Гаспанян А. М., Егиазаров И. В., Касьян М. В., Назаров А. И. (ответ. редактор), Пинджян В. В., Симонов М. З., Тер-Степанян Г. И., Манасян А. С. (ответ. секретарь).

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Г. Т. АДОНЦ, Г. Д. АКОПДЖАНЫАН, К. А. ГАМБУРЯН, М. А. МАРТИРОСЯН

МОДЕЛЬ СЕТЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА АКАДЕМИИ НАУК
АРМЯНСКОЙ ССР

В связи с непрерывным развитием электроэнергетических систем, выражающимся в увеличении протяженности сетей, дальности и уровня напряжения внутрисистемных и межсистемных линий электропередачи, росте числа и мощности генерирующих, трансформирующих и потребляющих элементов энергосистемы, с одной стороны, и необходимостью обеспечения наивыгоднейших режимов энергосистемы и их устойчивости, с другой, имеется острая необходимость использования в работах по проектированию развития энергосистемы и управлению их режимами специализированных вычислительных устройств. Наиболее полно этим требованиям могут удовлетворить быстродействующие электронные цифровые машины. Однако в целом ряде случаев, например для расчета динамической устойчивости энергосистемы сложной структуры, когда необходимо получить инженерные решения исследуемых задач, оказываются весьма эффективными математические машины непрерывного действия, модели сетей переменного тока и др. аналоговые и моделирующие вычислительные устройства. По существу, только на базе развития различных типов математических машин можно добиться создания автоматических управляющих режимами энергосистем машин.

Прямое назначение модели сетей переменного тока (МСПТ) заключается в том, что с ее помощью можно рассчитывать токи, напряжения, мощности, устойчивость различных нормальных и аварийных режимов систем, состоящих из нескольких генераторных станций и десятков пассивных элементов - трансформаторов, линий электропередачи, нагрузок. Кроме того, МСПТ получают применение и в качестве вспомогательных вычислительных устройств, и в частности, для расчетов: амплитудно-частотных, фазово-частотных характеристик и других параметров многополюсников, коэффициентов потокораспределения системы. Эти данные используются как для аналитических расчетов переходных процессов в электрических системах, так и для весьма сложных расчетов режимов энергосистем, выполняемых с помощью машин дискретного и непрерывного действия. В связи с таким расширением области применения МСПТ возрастают технические требования, предъявляемые к ним для целей обеспечения более высокого класса точности и быстроты производимых с их помощью расчетов и надежности работы модели в целом.

Вот почему, несмотря на быстрое развитие производства и применение различного рода математических машин, совершенствуются и получают все большее распространение также и вычислительные средства, работа которых основывается на принципах электрического моделирования математических уравнений, описывающих процессы в моделируемых системах. К такому типу вычислительных средств относятся также и модели сетей переменного тока. К настоящему времени изготовлены и находятся в эксплуатации за рубежом свыше 50 различных типов МСПТ, работающих на частотах от 400 до 500 гц. Моделей, работающих на частотах до 400 гц и свыше 500гц имеется более 30 шт. В Советском Союзе также работает несколько моделей переменного тока. В Академии наук АрмССР в результате работ за 1957—1959 гг. была создана новая МСПТ на 400 гц, построение которой базировалось на имеющихся в этой области достижениях, в частности на данных МСПТ на 400 гц, построенной в Энергетическом институте им. Г. М. Кржижановского под руководством И. С. Брука [1, 2].

В настоящей работе приводятся описания отличительных особенностей МСПТ Академии наук Армянской ССР и некоторые результаты, связанные с успешной ее эксплуатацией в течение 1960 и 1961 гг.

1. Общая характеристика модели

Модель построена таким образом, что она легко делится на две самостоятельно работающие части (модели). Рабочая частота источника, питающего схему модели, 400 гц. Общее число генераторных элементов—20, из них по 10 шт. в каждой части. Общее число элементов для набора пассивных частей однофазных схем замещения электрических систем—200. В том числе: а) элементов типа «емкость»—30 шт.; б) элементов типа «индуктивность» в виде катушек самоиндукции с сердечником из пермоллоя—20 шт.; в) элементов типа «безындуктивное сопротивление» и «индуктивность» в виде катушек с сердечником из специальной трансформаторной стали, построенные в различных параметрах—150 шт.

Каждый из этих 200 элементов состоит в свою очередь из восьми или 12 отдельных конденсаторов, катушек индуктивности и 8 или 12 катушек сопротивления, при помощи которых оказывается возможным набор пассивного элемента схемы замещения, активное и реактивное сопротивления которого могут находиться в различных пределах от 0,1% до 100% от номинала сопротивления.

Номинальное напряжение модели 15в, номинальный ток—30 ма. Питание модели осуществляется от трехфазного агрегата типа АМГ-17-П1, 400 гц, 220/127 в, мощностью 10 ква $\cos \varphi = 0,2$, снабженного электронным регулятором напряжения и камертонным регулятором частоты, питаемых от аккумуляторной станции. От последней питаются также усилители тока и напряжения измерительного комплекта модели. С целью обеспечения синусоидальности напряжения, подаваемого на генераторные элементы модели, на выходе силового агрегата установлены трехфазные

резонансные фильтры, построенные на ряд гармоник, включая 15-ю. Генераторные элементы представляют собой синус-косинусные вращающиеся трансформаторы, при помощи которых обеспечиваются непрерывные повороты неизменного по величине вектора напряжения на углы от 0° до 360° и изменения величины вектора напряжения с заданной начальной фазой от 0 до $6,0 U_{ном}$.

Коммутационные поля модели обеспечивают электрическую связь (параллельную и последовательную) любого из элементов модели с любым другим. Источники ЭДС, т. е. генераторные элементы, набираются в схемы замещения только в качестве поперечных элементов.

Измерительные комплекты, состоящие из миллиамперметров на 20 ма, классе точности 0,2 на 400 гц с выходными сопротивлениями порядка 2,5 ком., подключаются через измерительные усилители тока и напряжения к любым узлам набранной на модели схемы замещения и позволяют измерять комплексы токов и напряжений, активную и реактивную мощности, а также углы сдвига фаз между током и напряжением в каждой из поперечных и продольных элементов исследуемой схемы. Подключение самих усилителей тока и напряжения к узлам схемы замещения производится через комплекты (магазины) шунтов и добавочных сопротивлений, параметры которых обеспечивают, во-первых, минимальный отбор мощности (порядка 0,5% от мощности ветви схемы замещения) и, во-вторых, возможность раздельного изменения масштабов измерения в кратностях от 0,1 до 15 по току и от 0,25 до 2,5 по напряжению. Подключение измерительного комплекта к узлам схемы автоматизировано, что позволяет осуществлять обслуживание каждой из двух частей установки одним оператором.

2. Генераторные элементы модели

В отличие от модели, описанной в Л. 1 и 2, где генераторные элементы сконструированы согласно схеме рис. 1, в модели АН АрмССР они выполнены по схеме, приведенной на рис. 2. При исследовании генераторных элементов, выполненных по схеме на рис. 1, было установлено, что вследствие неуравновешенности трехфазной системы генераторного элемента токи, питающие его, оказываются несимметричными и зависящими от фазы э. д. с. генераторного элемента. Несимметрия питающих токов и их зависимость от фазы э. д. с. приводили к тому, что при изменении фазы э. д. с. одного генераторного элемента значительно изменялись величины как э. д. с. на выходе данного элемента, так и других находящихся в работе генераторных элементов. Это обстоятельство является существенным недостатком сконструированных по схеме рис. 1 генераторных элементов модели и вызывает большие затруднения в установлении исходных режимов при производстве каждого этапа расчетов на МСПТ. От указанного выше недостатка избавлен генераторный элемент, выполненный по схеме, приведенной на рис. 2. Здесь соответствующим подбором сопротивления R и емкости C включенных в цепь косинусных обмоток

фазорегулятора и потенциал-регулятора неуравновешенная трехфазная система становится уравновешенной. В результате устраняются причины, приводившие к несимметрии питающих генераторный элемент токов, и сводятся к минимуму изменения э. д. с. на выходе элемента из-за вращения ротора фазорегулятора.

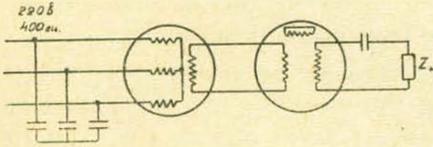


Рис. 1.

Таким образом, схема генераторного элемента по рис. 2 практически обеспечивает: а) независимость величины э. д. с. генераторного элемента от изменения его фазы; б) независимость величины и фазы э. д. с. генераторного элемента от изменения напряжения и фазы других, находящихся в работе, генераторных элементов; в) минимальную величину внутреннего сопротивления генераторного элемента; г) синусоидальность формы кривой э. д. с. на выходе элемента.

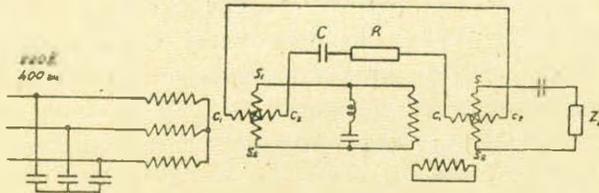


Рис. 2.

Здесь следует указать также на то обстоятельство, что цепь контрольного генераторного элемента (входящего в измерительный комплект МСПТ) также уравновешена путем присоединения к обеим обмоткам (синусная и косинусная) ротора совершенно одинаковых по своим параметрам цепей из сопротивлений R и емкостей C . Причем, нагрузкой контрольного генераторного элемента служит цепь, присоединенная к синусной ее обмотке. Указанная симметризация контрольного генераторного элемента произведена исходя из тех же соображений, что и симметризация генераторных элементов.

3. Регулятор частоты

Поддержание постоянства номинальной (400 гц) частоты источника питания МСПТ является важным фактором для обеспечения точности расчетов на модели. С этой целью используется камертонный регулятор частоты. Схема регулирования частоты (рис. 3), примененная в МСПТ АН АрмССР, отличается от схемы, приведенной в Л. 2, тем, что здесь в качестве выходного устройства применен электронный усилитель мощности взамен магнитного усилителя.

Напряжение, получаемое на выходе фазового дискриминатора, подается на сетки ламп 6Н5С, в цепь анодов которых последовательно

Выходное напряжение фазоинвертного каскада усиливается по мощности двухтактным усилителем (лампы 6С4С) и подается через выходной трансформатор и сопротивление обратной связи на приборы.

Глубокая отрицательная обратная связь по току предназначена для стабилизации коэффициента усиления усилителя при неизбежных изменениях параметров ламп и элементов схемы.

В усилителе тока предусмотрена возможность изменения фазы напряжения обратной связи для устранения угловых погрешностей в ваттметре (угол сдвига фаз между напряжением и током в параллельной цепи ваттметра, угол запаздывания между током в подвижной катушке и ее потоком).

Питание усилителей осуществляется от аккумуляторной станции, что приводит к высокой стабильности работы усилителей.

Описанные усилители обеспечивают:

- а) Линейную зависимость между выходным и входным токами.
- б) Минимальное искажение фазы при частоте 400 гц.
- в) Синусоидальность формы кривой выходного тока усилителя, нагруженного приборами.
- г) Независимость выходного тока от изменений сопротивления подключенных к усилителям приборов.

6. Примеры расчетов, выполненных на МСПТ АН АрмССР

Для оценки качества работы сооруженной модели и точности производимых на ней расчетов ниже приводятся примеры расчетов, выполненных на МСПТ, и сопоставление полученных данных с результатами соответствующих аналитических расчетов.

Пример 1. Задана схема замещения электропередачи (рис. 6), включающая в себе передающую и приемную энергосистемы, связанные между собой линией электропередачи.

Требуется определить активные и реактивные мощности, отдаваемые передающей и получаемые приемной энергосистемами в зависимости от угла расхождения (δ_{12}) векторов э. д. с. E_1 и E_2 .

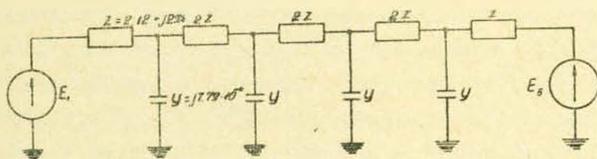


Рис. 6.

На модели была реализована схема замещения электропередачи, приведенная на рис. 6. Производились измерения мощностей P_1 , P_2 , Q_1 и Q_2 при разных значениях угла $\delta_{12} = \delta_2 - \delta_1$. Величины указанных мощностей были подсчитаны также аналитически по формулам:

$$P_1 = E_1^2 y_{11} \sin \alpha_{11} + E_1 E_2 y_{12} \sin (\delta_{12} - \alpha_{12}),$$

$$P_2 = E_2^2 y_{22} \sin \alpha_{22} + E_2 E_1 y_{21} \sin (\delta_{21} - \alpha_{21}),$$

$$Q_1 = E_1^2 y_{11} \cos \alpha_{11} - E_1 E_2 y_{12} \cos (\delta_{12} - \alpha_{12}),$$

$$Q_2 = E_2^2 y_{22} \cos \alpha_{22} - E_2 E_1 y_{21} \cos (\delta_{21} - \alpha_{21}),$$

где $y_{11} = y_{22} = \frac{1}{315} \frac{1}{\text{ом}}$ и $y_{12} = y_{21} = \frac{1}{206} \frac{1}{\text{ом}}$ — абсолютные значения

входных и взаимных проводимостей, $\alpha_{11} = \alpha_{22} = 5,65^\circ$ и $\alpha_{12} = \alpha_{21} = -3,57^\circ$ — углы, дополняющие фазовые углы входных и взаимных проводимостей до 90° .

Результаты аналитического расчета и данные измерений на модели сведены в табл. 1.

Таблица 1

δ_{12} градус	P_1 мвт		P_2 мвт		Q_1 мвар		Q_2 мвар	
	по расчету	по модели						
0	1,67	—	1,67	—	-270	-264	-270	-266
10	137	136	-132	-135	-266	-261	-249	-245
20	270	268	-261	-262	-239	-234	-206	-201
30	396	396	-379	-385	-190	-185	-142	-138
40	511	516	-485	-492	-119	-116	-57	-55
50	613	621	-575	-583	-29,8	—	44	—
60	697	705	-645	-650	76	75	160	161
70	762	768	-695	-697	195	200	286	285
80	805	813	-722	-722	323	330	419	417
90	825	836	-725	-725	457	460	554	553
100	822	834	-705	-705	592	601	688	690

Пример 2. Расчет параметров многополюсника.

На рис. 7 изображен многополюсник с девятью выведенными ветвями (восемнадцатиполусник). Там же приведены значения параметров схемы, входящей в многополюсник.

Требуется определить параметры заданного многополюсника.

$$U_k = Z_{k1} I_1 + Z_{k2} I_2 + \dots + Z_{k9} I_9 \quad (K = 1 \dots 9).$$

На модели была реализована схема многополюсника и на основании произведенных измерений вычислены параметры многополюсника ($Z_{11}, Z_{22}, \dots, Z_{12}, Z_{23}, \dots$). Эти же параметры были вычислены аналитически по методике, предложенной одним из авторов статьи. Результаты аналитического расчета и данных по модели сведены в табл. 2. Таблица составлена с учетом того, что $Z_{km} = Z_{mk}$, а также конкретно для данного многополюсника $Z_{55} = Z_{33}$, $Z_{99} = Z_{22}$, $Z_{5k} = Z_{3k}$ (при $K = 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9$), $Z_{7k} = Z_{6k}$ (при $K = 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9$) и $Z_{9k} = Z_{2k}$ (при $K = 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8$).

Пример 3. Расчет динамической устойчивости.

Произведен расчет динамической устойчивости объединенной энерго-

системы, состоящей из трех энергосистем, межсистемные связи которых составляют трехлучевую звезду. Объединенная энергосистема состоит из девяти генераторных станций, 12 нагрузок и более 30 сетевых элементов (ради сокращения объема статьи схема замещения энергосистемы не приводится).

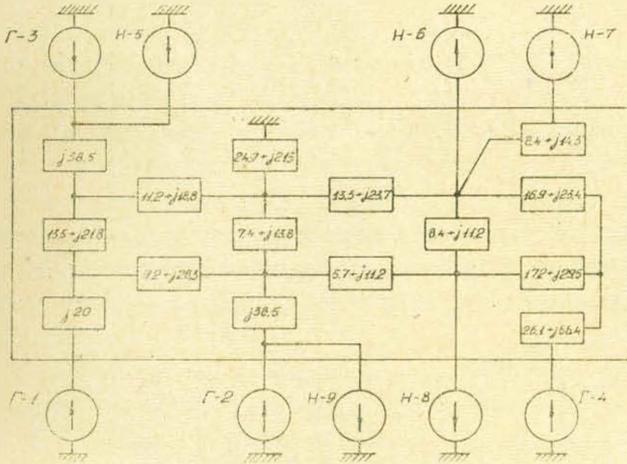


Рис. 7.

Таблица 2

Z_{km}	По расчету	По модели	Z_{km}	По расчету	По модели
Z_{11}	$258,8+j253,1$	$263,1+j253,1$	Z_{33}	$257,1+j265,9$	$261,5+j264,0$
Z_{12}	$252,5+j218,4$	$253,6+j218,3$	Z_{34}	$251,7+j216,8$	$250,6+j214,5$
Z_{13}	$255,1+j222,3$	$254,7+j221,9$	Z_{36}	$249,8+j214,3$	$250,4+j214,4$
Z_{14}	$251,3+j216,4$	$252,0+j216,3$	Z_{38}	$251,1+j214,9$	$250,8+j214,8$
Z_{16}	$250,8+j215,9$	$251,6+j215,9$	Z_{44}	$289,9+j304,1$	$297,2+j303,5$
Z_{18}	$251,8+j217,0$	$252,6+j216,9$	Z_{46}	$255,3+j224,9$	$252,7+j218,8$
Z_{22}	$253,9+j260,6$	$258,4+j260,3$	Z_{48}	$255,2+j224,3$	$256,3+j224,1$
Z_{23}	$250,6+j215,5$	$251,2+j215,4$	Z_{66}	$256,7+j226,6$	$257,8+j226,7$
Z_{25}	$252,2+j218,8$	$253,1+j218,7$	Z_{68}	$253,9+j222,6$	$254,8+j222,7$
Z_{26}	$251,5+j217,9$	$252,3+j217,9$	Z_{77}	$265,1+j240,9$	$267,9+j240,7$
Z_{28}	$252,8+j219,8$	$253,9+j219,7$	Z_{88}	$256,5+j226,5$	$257,9+j226,3$

Динамическая устойчивость энергосистемы проверялась предположением короткого замыкания в центре трехлучевой звезды. Продолжительность двухфазного к. з. на землю 0,2 сек. Данные нормального режима энергосистемы, полученные на модели, представлены в табл. 3.

Расчет динамической устойчивости был произведен по методу последовательных интервалов с учетом форсировки возбуждения. Потребители с преобладающей асинхронной нагрузкой были выделены и при расчете представлялись своими динамическими характеристиками. Величина расчетного интервала времени была принята 0,1 сек.

Результаты расчета приведены на рис. 8 в виде кривых, дающих зависимость абсолютных углов э. д. с. генераторных станций во времени. Кривые показывают, что послеаварийный режим (отделение одной из систем от двух других) оказался устойчивым для всех трех систем. Был

Таблица 3

№ генератора	P_r	Q_r	E_d	E'_d	U_r	δ
1	5,8	2,0	30,0	27,3	24,6	325,0
2	18,6	23,8	37,0	31,2	24,4	310,5
3	5,5	5,0	30,8	27,0	24,3	311,5
4	27,5	-13,0	28,8	26,5	24,5	355,0
5	53,1	24,5	46,7	27,0	24,8	2,5
6	11,3	2,0	41,4	32,4	24,8	345,0
7	15,8	11,2	35,0	29,5	24,6	316,2
8	0,0	7,1	53,0	39,0	21,0	288,5
9	10,8	6,7	63,5	25,4	34,3	339,5

рассмотрен также ряд других режимов, в результате которых были даны рекомендации по вопросу о перетоках по межсистемным передачам по условиям динамической устойчивости.

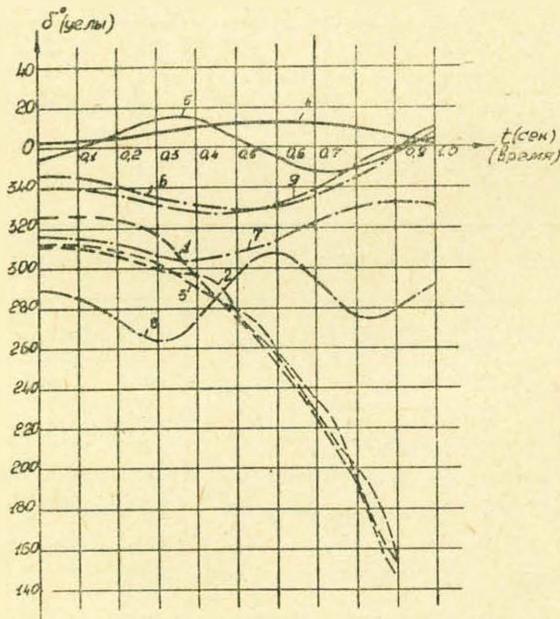


Рис. 8.

7. Работы, выполненные на модели

В течение 1960—1961 годов с помощью модели АН АрмССР были выполнены, кроме перечисленных выше, следующие работы:

1. Расчет потокораспределения Армянской энергосистемы с учетом ее межсистемных связей с Азербайджанской энергосистемой для уровней энергобаланса на каждое пятилетие периода 1960—1980 годов. Расчеты были выполнены для ряда вариантов развития высоковольтных сетей энергосистемы.

2. Расчеты пропускной способности линии электропередачи Алибайрамли—Татев—Атарбежян.

3. Расчеты и исследования несинхронных и быстродействующих АПВ для линий электропередач, связывающих Азербайджанскую, Армянскую и Грузинскую энергосистемы. В результате расчетов были получены кривые движения роторов для 7 эквивалентных станций объединенной Закавказской энергосистемы.

4. Расчеты потерь и сетевых коэффициентов для типовых энергосистем (методическая работа).

5. Расчеты предельных времен отключения поврежденных участков высоковольтных линий электропередач.

6. Расчеты динамической устойчивости и несинхронных АПВ для одной из ГЭС Армянской энергосистемы.

В заключении следует отметить, что благодаря описанным выше работам удалось получить с помощью модели расчеты с высоким классом точности. Так, например, на модели АН АрмССР достигнута точность ряда расчетов, определяемая средней погрешностью в пределах $\pm 1\%$ и максимальной — порядка $\pm 3\%$.

В работах по изготовлению отдельных элементов и блоков модели принимали участие также инженеры: Р. А. Чугурян, О. А. Галкин, В. Х. Бегларян, М. М. Мхитарян и ряд техников и монтажников Лаборатории электротехники АН АрмССР, ныне преобразованной в Институт энергетики АН Армянской ССР.

Институт энергетики АН Армянской ССР

Поступило 10 XI 1961

Հ. Տ. ԱՊՈՆՅ, Գ. Գ. ՀԱՆՈՐՋԱՆՅԱՆ, Կ. Հ. ԳԱՄԹՈՒԲՅԱՆ, Մ. Ա. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՆԱԳԵՄԻՍՅՈՒՅԻ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ
ՀՈՍԱՆՔԻ ՅԱՆՑԵՐԻ ՄՈՂԵԼ

Ա մ փ ո փ ո մ

Փոփոխական հոսանքի ցանցերի մոդելները ծառայում են բարդ էլեկտրական սխեմաների ինչպես նորմալ աշխատանքային ռեժիմների, այնպես և վթարային ռեժիմների հետազոտման համար: Բացի այդ, նրանք կիրառվում են նաև որպես օժանդակ հաշվիչ սարքավորումներ բազմաբևեռների պարամետրերի հաշվման, էներգոսխտանքի բաշխման գործակիցների որոշման համար: Վերջինները անհրաժեշտ են անընդհատ և դիսկրետ գործողության հաշվիչ մեքենաների օգնությամբ բարդ էլեկտրական սխեմաների աշխատանքային ռեժիմները հաշվելիս: Չնայած նրան, որ արագ կերպով զարգանում և մեծ կիրառություն են գտնում տարբեր տիպի մաթեմատիկական հաշվիչ մեքենաները, կատարելագործվում և լայն տարածում են ստանում նաև այնպիսի հաշվային միջոցներ, որոնց աշխատանքի սկզբունքն է՝ պրոցեսներ բնութագրող մաթեմատիկական հավասարումների էլեկտրական մոդելացումը: Այդ տիպի հաշվիչ սարքավորում է հանդիսանում փոփոխական հոսանքի ցանցերի մոդելը:

Հայկական ՍՍՌ Գիտությունների ակադեմիայում 1959 թ. շահագործման է հանձնված նոր փոփոխական հոսանքի ցանցերի մոդել (400 հերց հաճախականությամբ):

Հողվածում նկարագրված են վերոհիշյալ մոդելի առանձնահատկությունները:

Մոդելը կառուցված է այնպես, որ հեշտությամբ բաժանվում է երկու առանձին աշխատող մասերի: Այդ հնարավորություն է տալիս միաժամանակ իրականացնել երկու տարբեր խնդիրների հետադադում մոդելի միջոցով:

Մոդելն ունի 20 գեներատորային էլեմենտ և 200 պասսիվ էլեմենտ: Մոդելի նմանալ լարումն է 15 վոլտ, նմանալ հոսանքը՝ 30 միլիամպեր: Մոդելի գեներատորային էլեմենտների համար մշակված է նոր սխեմա (նկ. 2), որը տարբերվում է մինչ այժմ կիրառվող (նկ. 1) սխեմայից (զրակ. 1 և 2): Առաջարկված նոր սխեման ունի մի շարք առավելություններ նկ. 1 բերված սխեմայի համեմատ և հնարավորություն է տալիս բարձրացնել մոդելի օգնությամբ կատարվող հաշվումների ճշտությունը:

Փոփոխություններ են մտցված նաև մոդելը սնույ սխեմայում գեներատորի (400 հերց, 220 վոլտ) լարման (նկ. 4) և հաճախականության (նկ. 3) կարգավորիչների սխեմաներում: Այդ փոփոխությունների շնորհիվ լարումը և հաճախականությունը պահպանվում են հաստատուն մեծ ճշտությամբ:

Նոր սխեմաներ են առաջարկված նաև լարման և հոսանքի ուժեղացուցիչների համար (նկ. 5): Այդ սխեմաների կիրառումը հնարավոր է դարձնում բարձրացնել մոդելի վրա կատարվող չափումների ճշտությունը:

Մոդելի կայուն աշխատանքի համար մեծ նշանակություն ունի այն, որ բոլոր էլեկտրոնային լամպերի շիկացումը և անոդային շղթաների սնումը իրականացված է ինստիտուտի ակումուլյատորային կայանից:

Անհրաժեշտ է նշել, որ շնորհիվ վերը նշված մշակումների, հնարավոր եղավ մոդելի օգնությամբ կատարվող հաշվումների ճշտությունը հասցնել բարձր աստիճանի: Այսպես օրինակ, մոդելի օգնությամբ կատարված մի շարք հաշվումների միջին սխալը կազմում է $\pm 1\%$, բնդ սրում ամենամեծ սխալը չի գերազանցում $\pm 3\%$ -ից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Брук Н. С., Чугунов С. С., Либкинд М. С. Расчетный стол переменного тока. Эл-во, № 1, 1948.
2. Либкинд М. С. Расчетный стол типа РС-2, АН СССР ЭНИИ им. Г. М. Кржижковского, Информационное письмо, № 3, 1957.

Ю. М. ШАХНАЗАРЯН

УПРОЩЕННЫЕ ПРИЕМЫ ПРИБЛИЖЕННЫХ РАСЧЕТОВ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА СТАНЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ*

Современная методика расчетов переходных процессов в электрической системе при разных нарушениях режима должна заключаться не только в расчетах устойчивости при первом вылете угла (динамическая устойчивость), но и должна давать возможность более широкого исследования поведения системы при проведении в ней различных мероприятий по повышению устойчивости [1, 2]. Эта методика должна предусматривать возможность расчета асинхронного хода и ресинхронизации с целью обеспечения результирующей устойчивости системы**.

Электрические системы должны быть рассчитаны на допустимость таких режимов, при которых надо учитывать широкое применение автоматического регулирования пропорционального и сильного действия.

Эта методика должна принимать во внимание особенности современных регулируемых систем и должна возможно более полно и тщательно учитывать действие устройств автоматического регулирования возбуждения (АРВ), скорости (АРС) и других (например, торможения).

При расчетах токов и напряжений при асинхронном ходе в автоматически регулируемых системах возникает вопрос, какими параметрами необходимо замещать генератор в этом режиме, а именно: каким реактивным сопротивлением и какой э. д. с. за этим сопротивлением необходимо представить генератор в схеме замещения во время асинхронного хода. Надо заметить, что знание этой величины также необходимо для определения синхронной мощности входящей в общие выражения активной и реактивной мощности синхронной машины, работающей в асинхронном режиме.

Следовательно, при исследовании асинхронного хода в первую очередь необходимо определить величины реактивного сопротивления

* Н стоящая статья отражает работу, выполненную автором на кафедре электрических систем Московского энергетического института под руководством профессора В. А. Веникова.

** Под результирующей устойчивостью понимается способность системы продолжать работу и снабжать потребителя электрической энергией после аварий, сопровождающихся кратковременным асинхронным ходом отдельных станций с последующей их ресинхронизацией.

Δx и э. д. с. E_x за реактивным сопротивлением, замещающим машину при ее установившемся асинхронном режиме.

Уравнение тока гидрогенератора, работающего в установившемся асинхронном режиме через сложную связь с шинами неизменного напряжения, с известными допущениями может быть записано так:

$$\left. \begin{aligned} I_d &= \frac{E_d \cos \alpha_{11}}{Z_{11} \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} - A \sin (\delta - \alpha_{12} + \alpha) \\ I_q &= \frac{E_d}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} - B \sin (\delta - \alpha_{12} + \beta) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь в величинах A и B отражены все э. д. с., наведенные за счет носительных поворотов ротора машины. Графически это уравнение может быть представлено эллипсом, смещенным от начала координат (рис. 1) [3]. Величину максимального значения тока можно графически определить, строя этот эллипс при заданном значении скольжения и определяя расстояние от начала координат до наиболее удаленной точки эллипса.

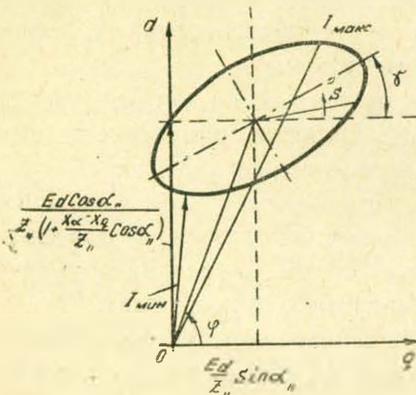


Рис. 1. Эллипс токов.

Зависимость $E_r = f(x_r)$, построенная для нормального режима, и графическое решение обоих уравнений дает искомые величины. В качестве исследуемой схемы была принята схема рис. 2. При данных параметрах генератора и передачи угол, определяющий положение эллипса к координатной оси q , $\gamma = 90^\circ$. Мал и импедансный угол α_{11} , при этом можем записать выражение максимального тока биения в виде:

$$I_{\max} = \left. \frac{E_x}{\sqrt{3} Z_{11}(\Delta x)} + \frac{U}{\sqrt{3} Z_{12}(\Delta x)} \dots \right\} \quad (2)$$

В величине I_{\max} , которая берется из осциллограмм, учтены все э. д. с. благодаря относительному движению ротора. Исследование проводилось как для генератора снабженного АРВ пропорционального дей-

* Экспериментальные исследования проводились в проблемной лаборатории энергосистем МЭИ автором совместно с инженером Хе Ян-Цзяном.

ствия, так и для АРВ сильного действия; параметры линии передачи и генератора оставались теми же самыми. Компаудирование принималось нормальным, т. е. обеспечивающим номинальный режим возбуждения при полной нагрузке. Регулятор сильного действия осуществлял регулирование возбуждения генератора по следующим параметрам: отклонению напряжения генератора и его первой производной, отклонению тока линии и его первой и второй производным. Коэффициенты регулирования выбирались по условиям наилучшего затухания при малых отклонениях. Изменение величины E_x и $Z_{11} = f(\Delta x)$ от скольжения решается просто: для генератора снабженного АРВ обоих типов величина максимального значения тока не меняется в довольно широком диапазоне скольжений ($s = 0.025 \div 0.10$)*.

Это показывает, что искомые величины от скольжения изменяются почти одинаково и их отношение остается постоянным.

Следовательно, величины E_x и Δx остаются неизменными на этом диапазоне скольжений. Второй член уравнения (2), как известно, от скольжения не зависит. Для генератора без АРВ величина максимального тока от изменения скольжения не остается постоянной, и для каждого скольжения необходимо брать свое значение максимального тока, что показывает непостоянство искомых величин от скольжения.

Для нормального режима определяются э. д. с. $E_q, E_d, E_d \dots \dots E_x$ за соответствующими сопротивлениями. Далее, на построенную зависимость $E_r = f(x_r)$, полученную из нормального режима, накладывается зависимость $E_x = f(\Delta x)$, найденная по данным установленного асинхронного режима в соответствии с формулой (2) при $I_{\text{макс}}$, U, Z_{11}, Z_{12} , взятых по данным опыта (с учетом Δx , которыми мы задались). Меняя Δx и полагая его соответственно x_q, x_d, x_d и т. д., находим E_x и строим характеристики, показанные на рис. 3 и 4, графически определяя искомое Δx .

Для схемы рис. 2 была проделана серия расчетов для случая, когда генератор снабжен АРВ сильного действия, пропорционального действия и без него. Результаты сведены в табл. 1, 2 и 3. В таблицах E_q, E_d, E_d и т. п. — э. д. с., найденные из нормального режима. $E_{\Delta x}$ — величина э. д. с., полученная из формулы (2) при подстановке в величины Z_{11} и Z_{12} соответствующих значений сопротивлений генератора.

В таблицах приведены наиболее характерные э. д. с., определяющие зону

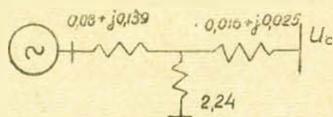
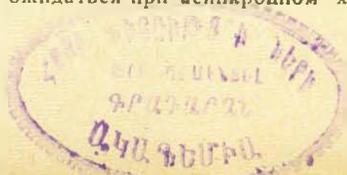


Рис. 2. Исследуемая схема электропередачи. Параметры генератора: $x_d = 0,516, x_q = 0,332, x'_d = 0,180, x'_q = 0,137, T_d = 5,5 \text{ сек}, T'_d = 0,0255 \text{ сек}, T'_q = 0,0112 \text{ сек}.$

Сопротивления отнесены к напряжению 430 вольт, данные нормального режима приведены в табл. 1, 2 и 3.

* Значения, которые могут ожидать при асинхронном ходе гидрогенератора в энергосистеме.



пересечения характеристик нормального и асинхронного режимов. Построение этих зависимостей приведено на упомянутых рис. 3 и рис. 4.

Как видно из таблиц, для генераторов, снабженных АРВ, при асинхронном ходе сохраняется постоянство переходного сопротивления и переходной э. д. с. за ним.

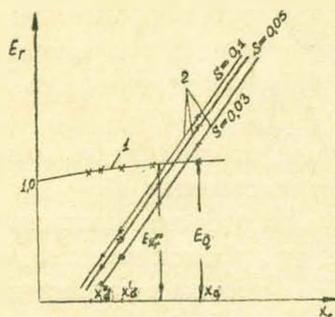


Рис. 3. Определение сопротивления и э. д. с., заменяющих генератор при асинхронном ходе при отсутствии АРВ (режим 2).

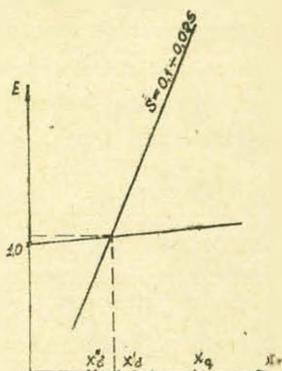


Рис. 4. Определение сопротивления и э. д. с., заменяющих генератор при асинхронном ходе при наличии АРВ сильного действия (режим 3).

Расчеты результирующей устойчивости в предположении постоянства э. д. с., за переходным сопротивлением (для генераторов с АРВ), что эквивалентно допущению постоянства потокосцепления обмотки возбуждения, будут тем больше справедливы, чем больше постоянная времени обмотки возбуждения.

Таблица 1

Номера режимов	P_r (в д/ед)	Q_r (в д/ед)	U_r (в д/ед)	U_c (в д/ед)	Генератор с сильным АРВ		
					$s = 0,025 - 0,10$		
					$\frac{E_q}{E_{\Delta x - x_q}}$	$\frac{E_d'}{E_{\Delta x - x'd}}$	$\frac{E_d^*}{E_{\Delta x - x''d}}$
1	0,640	0,345	1,12	1,01	$\frac{1,25}{1,69}$	$\frac{1,186}{1,12}$	$\frac{1,164}{0,930}$
2	0,640	0,152	1,04	0,997	$\frac{1,115}{1,56}$	$\frac{1,065}{1,03}$	$\frac{1,042}{0,853}$
3	0,576	0,09	1,035	1,01	$\frac{1,081}{1,61}$	$\frac{1,05}{1,07}$	$\frac{1,045}{0,880}$

Таблица 2

Номера режимов	P_r (в л/ед)	Q_r (в л/ед)	U_r (в л/ед)	U_c (в л/ед)	Генератор с пропорциональным АРВ		
					$z = 0,025 \div 0,1$		
					$\frac{E_q}{E_{\Delta x = x_q}}$	$\frac{E'_d}{E_{\Delta x = x'_d}}$	$\frac{E''_d}{E_{\Delta x = x''_d}}$
1	0,576	0,083	1,017	0,950	1,065	1,04	1,028
					1,69	1,06	0,89
2	0,368	0,207	1,13	1,037	1,20	1,16	1,15
					1,59	1,04	0,86
3	0,640	0,317	1,11	1,00	1,23	1,16	1,14
					1,75	1,18	0,98

Таблица 3

Номера режимов	P_r (в л/ед)	Q_r (в л/ед)	U_r (в л/ед)	U_c (в л/ед)	Генератор без АРВ		
					$s = 0,1$		
					$\frac{E_q}{E_{\Delta x = x_q}}$	$\frac{E_{x_r=0,25}}{E_{\Delta x=0,25}}$	$\frac{E'_d}{E_{\Delta x = x'_d}}$
1	0,433	-0,069	0,920	0,960	0,90	0,909	0,910
					1,12	0,820	0,640
2	0,486	0,093	1,020	0,996	1,062	1,056	1,039
					1,230	1,025	0,790
3	0,520	0,124	1,040	1,00	1,085	1,080	1,055
					1,160	0,940	0,745

Продол. табл. 3

Генератор без АРВ

$s = 0,05$			$s = 0,05$		
$\frac{E_q}{E_{\Delta x = x_q}}$	$\frac{E_{x_r=0,25}}{E_{\Delta x=0,25}}$	$\frac{E'_d}{E_{\Delta x = x'_d}}$	$\frac{E_q}{E_{\Delta x = x_q}}$	$\frac{E_{x_r=0,25}}{E_{\Delta x=0,25}}$	$\frac{E'_d}{E_{\Delta x = x'_d}}$
0,90	0,909	0,910	0,909	0,909	0,910
0,960	0,760	0,580	0,920	0,720	0,530
1,062	1,056	1,039	1,062	1,056	1,039
1,19	0,970	0,750	1,114	0,900	0,700
1,085	1,080	1,055	1,085	1,055	1,080
1,13	0,906	0,710	1,080	0,860	1,670

Для генератора снабженного АРВ в асинхронном режиме можно рекомендовать пользоваться уравнениями для определения токов.

$$\left. \begin{aligned} I_d &= \frac{E_d'}{Z_{11}(x_d)} \cos \alpha_{11} - A \sin (\delta - \alpha_{12} + \alpha) \\ I_q &= \frac{E_d'}{Z_{11}(x_d)} \sin \alpha_{11} - B \sin (\delta - \alpha_{12} + \beta) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Уравнение напряжения на нагрузке записывается в виде:

$$\left. \begin{aligned} U_{dн} &= E_d' - \frac{E_d'}{Z_{11}(x_d)} \cos \alpha_{11} \cdot Z_{вн} + A' \sin (\delta - \alpha'_{12} + \alpha') \\ U_{qн} &= E_q' - \frac{E_q'}{Z_{11}(x_d)} \sin \alpha_{11} \cdot Z_{вн} + B' \sin (\delta - \alpha'_{12} + \beta'). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Здесь $Z_{вн}$ — полное сопротивление до точки, где присоединена нагрузка, включая и реактанс генератора.

E_q' — поперечная составляющая вектора E' , обычно она мала и для практических расчетов ею можно пренебречь. Расчеты тока генератора и напряжения на нагрузке для исследуемой схемы с автоматически регулируемым генератором сведены в табл. 4 и 5. Результаты расчета во многих случаях близко сходятся с результатами эксперимента.

Метод расчета [3] показан на рис. 5 и 6 для режима 3 для случая, когда генератор снабжен АРВ сильного действия. Построены эллипсы тока и напряжения при скольжении $s = 0,10$. При других скольжениях эллипсы

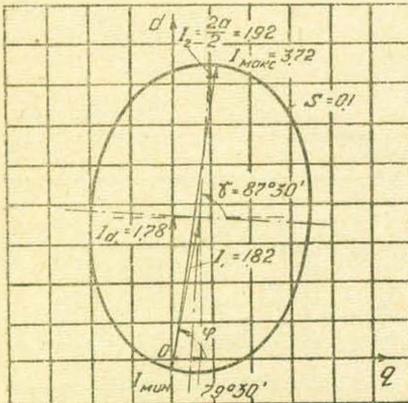


Рис. 5. Расчетная диаграмма тока генератора при асинхронном ходе с АРВ сильного действия (режим 3).

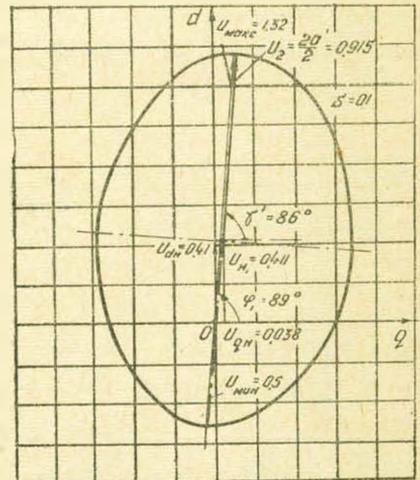


Рис. 6. Расчетная диаграмма напряжения нагрузки при асинхронном ходе генератора с АРВ сильного действия (режим 3).

очень близко расположены к данному (на рисунке не показаны), что показывает постоянство максимального тока от изменения скольжения.

Таблица 4

Расчет асинхронного хода системы с генератором, снабженным АРВ сильного действия

Номера режимов	s	φ град.	γ град.	I_1 при $U_c = 0$	I_2 при $E_r = 0$	I_{\max}		φ град.	γ град.	$U_{1н}$ при $U_c = 0$	$U_{2н}$ при $E_r = 0$	U_{\max}		U_{\min}	
						расчет	опыт					расчет	опыт	расчет	опыт
1	0,10	79°20'	87°30'	2,06	1,92	3,85	3,74	89°	86°	0,470	0,915	1,38	1,25	0,450	0,48
	0,05	79°20'	90°	2,06	1,89	3,80	3,74	89°	90°	0,490	0,895	1,37	1,25	0,430	0,48
	0,03	79°20'	90°	2,06	1,87	3,80	3,74	89°	90°	0,495	0,890	1,36	1,25	0,420	0,48
	0,01	79°20'	90°	2,06	1,85	8,70	—	89°	90°	0,495	0,890	1,36	—	0,420	—
	0,005	79°20'	90°	2,06	1,85	8,70	—	89°	90°	0,495	0,890	1,36	—	0,420	—
2	0,10	79°	97°30'	1,82	1,92	3,72	3,5	89°	86°	0,410	0,915	1,325	1,36	0,505	0,550
	0,05	79°	90°	1,82	1,89	3,60	3,5	89°	90°	0,440	0,895	1,330	1,36	0,450	0,550
	0,03	79°	90°	1,82	1,87	3,60	3,5	89°	90°	0,440	0,890	1,330	1,36	0,450	0,550
	0,01	79°	90°	1,32	1,85	3,60	—	89°	90°	0,440	0,890	1,330	—	0,450	—
	0,005	79°	90°	1,82	1,85	3,60	—	89°	90°	0,440	0,890	1,330	—	0,450	—

Таблица 5

Расчет асинхронного хода системы с генератором, снабженным АРВ пропорционального действия

Номера режимов	s	φ град.	γ град.	I_1 при $U_c = 0$	I_2 при $E_r = 0$	I_{\max}		φ град.	γ град.	$U_{1н}$ при $U_c = 0$	$U_{2н}$ при $E_r = 0$	U_{\max}		U_{\min}	
						расчет	опыт					расчет	опыт	расчет	опыт
2	0,10	79°20'	87°30'	1,8	1,90	3,65	3,50	89°	86°	0,405	0,910	1,310	1,24	0,505	0,57
	0,05	79°20'	90°	1,8	1,87	3,70	3,50	89°	86°	0,435	0,890	1,325	1,24	0,455	0,57
	0,03	74°20'	90°	1,8	1,86	3,70	3,50	89°	86°	0,435	0,880	1,323	1,24	0,453	0,57
	0,01	79°20'	90°	1,8	1,83	3,70	—	89°	86°	0,435	0,880	1,323	—	0,453	—
	0,005	79°20'	90°	1,8	1,83	3,70	—	89°	86°	0,435	0,880	1,323	—	0,453	—
3	0,10	79°20'	87°30'	2,0	1,92	3,35	3,65	89°	86°	0,450	0,915	1,360	1,27	0,465	0,48
	0,05	79°20'	90°	2,0	1,89	3,76	3,65	89°	90°	0,485	0,895	1,375	1,27	0,410	0,48
	0,03	79°20'	90°	2,0	1,87	3,76	3,65	89°	90°	0,495	0,890	3,385	1,27	0,395	0,48
	0,01	79°20'	90°	2,0	1,85	3,76	—	89°	90°	0,495	0,890	1,385	—	0,395	—
	0,005	79°20'	90°	2,0	1,85	3,76	—	89°	90°	0,495	0,890	1,385	—	0,395	—

На рис. 7 построены зависимости максимальных значений тока генератора и напряжения на нагрузке при разных скольжениях для случая режима 3 с генератором, снабженным АРВ сильного действия. Как видно, величины эти при сильном регулировании от скольжения не меняются.

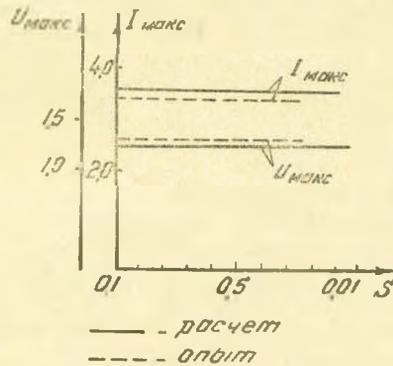


Рис. 7. Изменение величин максимального тока биения генератора и напряжения нагрузки от скольжения. Генератор снабжен АРВ сильного действия (режим 3).

Выводы

1. Генераторы, снабженные АРВ сильного и пропорционального действия, при расчетах асинхронного хода могут быть приближенно замещены переходным сопротивлением x_d и переходной э. д. с. за ним E_d . Такой расчет позволяет определить максимальные значения тока, мощности и соответственно напряжения в системе.

2. Генераторы, не имеющие АРВ, при больших скольжениях $s + 0.08 \div 0.20$ должны быть замещены сопротивлением, равным $(1.3 \div 1.4) x_d$, и соответствующей э. д. с., приложенной за ним.

3. При малых скольжениях меньше $s = 0.05$ генераторы могут приближенно замещаться синхронным сопротивлением x_d и э. д. с. за ним E_q .

Московский энергетический институт

Поступило 25.IV 1961

ՅՈՒ. Մ. ՇԱԽՆԱԶԱՐՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՍԵՍՏԵՄԻ ԿՈՅԱՆՆԵՐԻ ԱՍԻՆԿՐՈՆ ՌԵՃԻՄԻ ՄՈՏԱՎՈՐ ՀԱՇՎՈՒՄՆԵՐԻ ՊԱՐԶԵՑՐԱԾ ԶԵՎԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հողվածում բերված է միջանկյալ բեռնավորումով, անփոփոխ լարումով շինաների միացված, կանոնավորվող զենեհատորի կայունացած ասինխրոն սեծիմը:

Կարգավորումը կատարվում է համաչափ գործողության և ուժեղ դործողության կարգավորիչներով, ռեժիմի հետևյալ կարգավորող պարամետրերով՝ գեներատորի լարման շեղման, ըստ նրա առաջին ածանցյալի և զծի հոսանքի շեղման, ըստ նրա առաջին և երկրորդ ածանցյալների: Կարգավորման գործակիցները ընտրվում են ըստ լավագույն մարման պայմանների, փոքր շեղումների դեպքում:

Կայունացած ասինխրոն ուժիմի դեպքում, այսպիսի կարգավորվող գեներատորի համար առաջարկվում են (3) և (4) բանաձևերը, որոնք որոշում են ինչպես գեներատորի հոսանքը, այնպես էլ լարումը բեռնավորման սեղմակներում:

Աշխատանքում բերված է ուսուցիչ դիմադրության և էլեկտրաշարժիչ ուժի (այդ դիմադրությունից հետո) էքսպերիմենտալ որոշման արդյունքները, ուժի, որը էլեկտրական սխեմայում փոխարինվում է գեներատորին, նրա կայունացած ասինխրոն ռեժիմի դեպքում:

Ուսումնասիրության արդյունքները բերում են հետևյալ եզրակացություններին.

1. Համաչափ կամ ուժեղ գործողության АРВ (զրգոման ավտոմատիկ կարգավորիչ) ունեցող գեներատորները ասինխրոն քայլի հաշվման դեպքում կարող են փոխարինվել անցողական դիմադրությամբ X_{d} և անցողական էլեկտրաշարժիչ E_{d} ուժով:

Այսպիսի հաշվումը հնարավորություն է տալիս որոշել սխեմեմի մաքսիմալ հոսանքի արժեքը, հզորությունը և համապատասխան լարումը:

2. АРВ չունեցող գեներատորները $s = 0,08 \div 0,2$ մեծ սահմանների դեպքում, պետք է փոխարինվեն $(1,3 \div 1,4) X_{\text{d}}$ դիմադրությամբ և նրանից հետո կիրառված համապատասխան էլեկտրաշարժիչ ուժով:

3. $s = 0,05$ փոքր սահմանների դեպքում գեներատորները կարող են մոտավորապես փոխարինվել X_{d} սինխրոն դիմադրությամբ և E_{d} էլեկտրաշարժիչ ուժով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Веников В. А. Дальние электропередачи. Госэнергоиздат, 1960.
2. Веников В. А., Розанов М. Н. и Литкене И. В. Некоторые вопросы режимов и устойчивости современных автоматически регулируемых электрических систем. Техническая информация МЭИ, 1957.
3. Шахназарян Ю. М. Токи и напряжения в электрической системе при установившемся асинхронном режиме гидрогенератора. «Известия АН Армянской ССР» (сер. техн. н.), т. XIV, № 5, 1961.

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

С. А. ПИРУЗЯН

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ
В ЕСТЕСТВЕННОМ ЗАЛЕГАНИИ ПРИЕРЕВАНСКОГО РАЙОНА

В 1958 году в связи с изучением микросейсмических колебаний на одном из участков строительства в северо-западной части Еревана АИСМом параллельно были поставлены работы по инструментальному изучению динамических характеристик разновидностей грунтов, имеющих распространение в этой части города.

Изучались преобладающие периоды сейсмических колебаний грунтов участка, максимальные величины смещений и ускорений при слабых землетрясениях и взрывах различной силы, скорости распространения упругих волн, а также давались оценки сверху максимальных величин остаточных деформаций скального грунта при землетрясениях силой порядка 4—5 баллов [1].

В настоящей статье описываются методика и техника полевых работ по измерению скоростей распространения сейсмических волн в грунтах участка в естественном их залегании. На основе полученных результатов определены динамические модули упругости для разновидностей грунтов участка и относительное приращение сейсмической балльности на этих грунтах.

Эти данные представляют интерес с точки зрения инструментального сейсмического микрорайонирования территории г. Еревана. Кроме того, полученные величины модулей Юнга могут быть использованы при проектировании сооружений (в частности, гидротехнических) на этих грунтах.

1. Инженерно-геологическая характеристика участка работ. Изученная территория находится в северной части Еревана на правом берегу реки Раздан.

В орографическом отношении она является краевой частью относительно ровного, слегка всхолмленного плато, расположенного в пределах древней долины реки Раздан, залитой впоследствии несколькими потоками молодых лав, подстилаемых третичными осадочными отложениями. В районе строительства имеют распространение четвертичные андезитобазальты брекчиевидного и последнего потоков. Первые из них являются основанием фундаментов проектируемого сооружения; они и являлись объектом наших исследований.

Максимальная мощность всех потоков андезитобазальтовых лав района, согласно данным опорных скважин, равна около 230 м. Попереч-

ный геологический разрез района приведен в работе [1]. Невыветренные монолитные образцы андезито-базальтов характеризуются весьма благоприятными физико-механическими свойствами для любого типа капитальных сооружений. Допускаемое давление на эти скальные грунты можно принять равным не менее 12 кг/см^2 .

Самая верхняя часть исследуемого потока андезито-базальтов мощностью от 0,3 до 1,0 м представлена крупными валунами и обломками базальтов, перемешанными с суглинком и супесью. Ниже до глубины 3—6 м имеем брекчиевидного сложения, беспорядочной текстуры базальты, перебитые трещинами отдельности разных направлений. Трещины заполнены в основном суглинком. Ниже указанной отметки количество и размеры трещин уменьшаются*.

Грунтовые воды в этой части города отсутствуют. Согласно общегеологическим данным, они циркулируют лишь по контакту названных эффузивов с третичными осадочными образованиями.

Делювиально-элювиальный покров на участке представлен легкими суглинками или пылеватыми (на глубине плотными) супесями (так называемым белоземом) и чаще их смесью с обломками и щебнем андезито-базальтов различной степени цементации. Мощность этих отложений, согласно данным многочисленных разведочных выработок, колеблется в широких пределах от 0,3 до 4—5 м.

Согласно исследованиям П. С. Бошнагяна [2], белозем, или рыхлый карбонатный мелкозем, покрывающий на значительных площадях поверхность базальтов приреванского района, представляет из себя большей частью пылеватый, легкий суглинок, белесовато-желтого цвета. Этот грунт отличается большой просадочностью и подверженностью суффозионным явлениям.

Таким образом, на исследуемом участке имеют распространение две основные разновидности грунтов — современные рыхлые отложения, представленные белоземом, и скальные породы — трещиноватые, пористые андезито-базальты темно-серого цвета.

В табл. 1 приведены некоторые осредненные физико-механические показатели отмеченных грунтов на основе материалов инженерно-геологических изысканий на участке строительства.

Приведенные в таблице величины являются среднеарифметическими из четырех значений, полученных лабораторными испытаниями проб, отобранных из разведочных выработок указанных профилей.

2. *Методика и техника полевых работ.* В процессе производства полевых работ измерялись скорости распространения упругих волн по поверхностному элювиально-делювиальному слою и на глубине порядка 4—6 м в верхней части брекчиевидных андезито-базальтов.

Для измерения скоростей на такой глубине мы пользовались специально сооруженными четырьмя исследовательскими шахтами круглого

* Это обстоятельство нами зафиксировано засвидетельствованием вырытого под фундаментами котлована в 1960 году.

Таблица 1

Грунты	Глубина отбора проб в м	Объемный вес в г/см ³		Коефф. пористости	Примечание
		скелета	при естеств. влажн.		
Андезито-базальты	3,2	2,10	—	0,375	На профиле III
Супесь в твердом состоянии (белозем)	2,2	1,35	1,57	0,987	На профиле I

очертания с диаметром в 3 м. Глубина шахт разная (от 2,6 м до 5,9 м), но дно всех шахт находилось на приблизительно одинаковом уровне, на той отметке, где, согласно данным буровых скважин, начинается слой неветрелого андезито-базальта. На дне каждой шахты имелось круглое, изолированное от стен бетонное основание, заглубленное на 0,5 м в скалу.

На этом основании устанавливались сейсмоизмерительные приборы (три сейсмографа и три акселерографа), которые расставлялись в том или ином порядке в зависимости от направления прихода сейсмозврывной волны. Для оценки изменения параметров сейсмических колебаний в зависимости от грунтовых условий при взрывах, в северной стенке шахты № 2, на высоте 2,0 м от дна, в слое белоземистой супеси была оставлена ниша.

На рис. 1 приведены план и продольный разрез шахты № 2.

Для регистрации сейсмических колебаний на уровне дна шахт были применены электродинамические вибрографы ВЭГИК [3] и ртутные акселерографы конструкции М. Г. Хачияна [1, 4], работающие совместно со специально собранными электронными усилителями*. На рис. 2 показана фотография (вид сверху) измерительных приборов в рабочем положении на дне шахты. Источниками колебаний служили слабые и умеренной силы взрывы в шпурах и специально пройденных в базальте шурфах. Было осуществлено 26 взрывов (одновременно взрываемый заряд от 0,2 до 10,0 кг) в двух различных точках участка, на юге и на востоке. Глубина шурфов около 2,5 м.

Для измерения скоростей распространения волн в покрывающем элювиально-делювиальном слое использовались стандартные сейсмоприемники СПМ-16 [5, 6]. При этом колебания генерировались с помощью ударов груза весом в 8 кг, свободно падающего с высоты около 5 м.

Пункты наблюдений располагались на изучаемых профилях I и III на расстоянии от 30 м до 75 м друг от друга. Запись колебаний как при взрывах, так и при ударах грузом осуществлялась с помощью осциллографов

* Подробное описание аппаратуры смотри в научно-техническом отчете — А. Г. Назаров, Б. К. Карапетян, С. А. Пирузян «Изучение сейсмических колебаний на участке строительства ЭКУ ФИ АН АрмССР», Ереван, 1959 г. Фонды АИСМа.

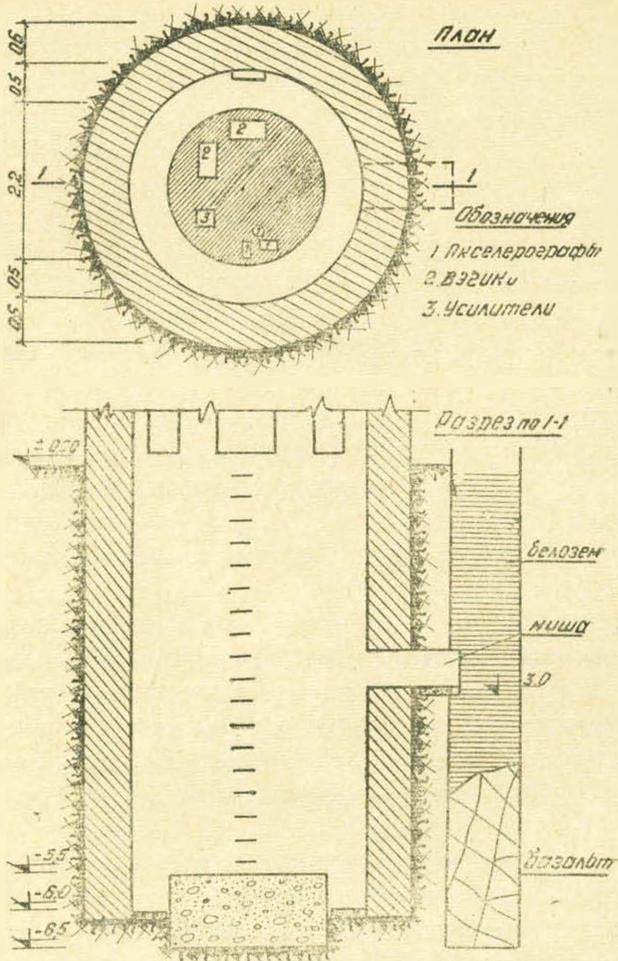


Рис. 1. План и продольный разрез шахты № 2

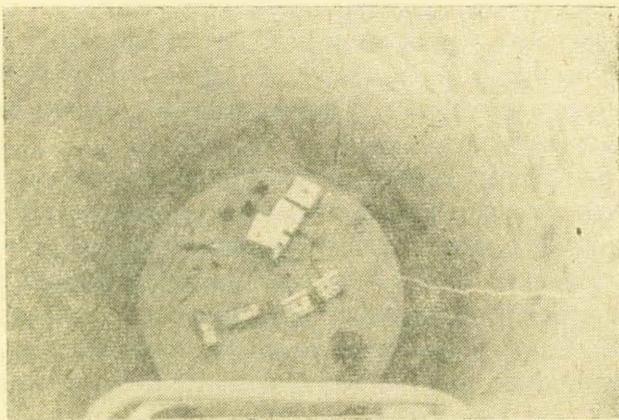


Рис. 2. Общий вид измерительных приборов в рабочем подожении на дне шахты № 2

«Геофизика» и ПОБ-12 [7], расположенных в специально построенной полевой сейсмической лаборатории.

На рис. 3 приведен схематический план участка работ. На рис. 4, 5 и 6 приведены геологические разрезы по профилям.

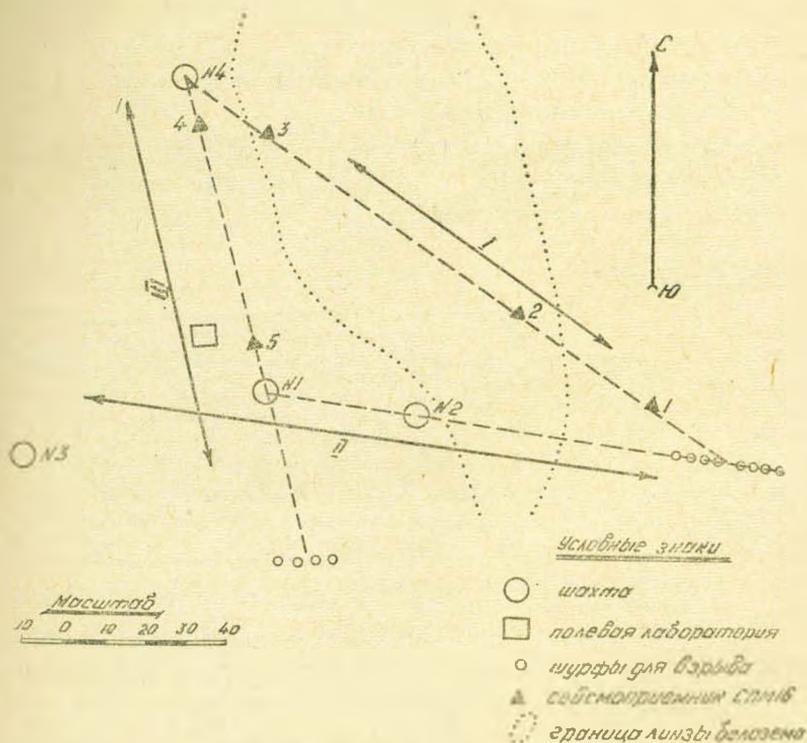


Рис. 3. Схематический план участка работ.

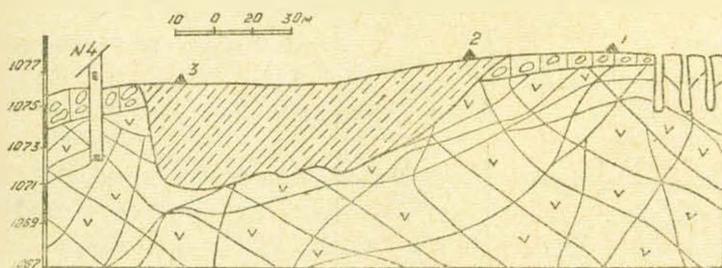


Рис. 4. Геологический разрез по профилю I, (обозначения см. рис. 6)

3. *Экспериментальные результаты и их обсуждение.* Для определения скоростей распространения обрабатывались осциллограммы, записавшие смещения, скорости или ускорения колебания частиц грунта в зависимости от фиксирующего прибора — датчика (ВЭГИК, СПМ-16 и ртутный акселерограф, соответственно).

На рис. 7 приведена фотокопия сейсмограммы взрыва. Обработка заключалась в фиксации и корреляции по времени моментов вступлений прямых продольных волн соответствующего направления.

Скорости подсчитывались по формуле

$$V = \frac{\Delta r}{\Delta t},$$

где V — скорость распространения продольной волны на участке между двумя пунктами измерений;

Δr — расстояние между этими пунктами измерений;

Δt — разность времен первых вступлений.

В андезито-базальтах (уровень дна шахт) определялись скорости в трех направлениях (профили I, II и III). По поверхностному же слою они определялись только по профилям I и III.

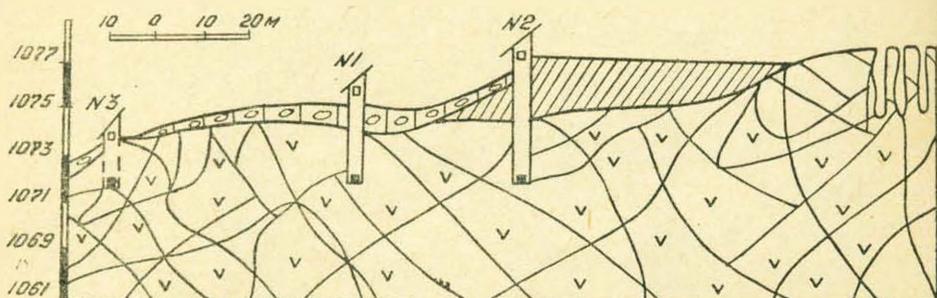


Рис. 5. Геологический разрез по профилю II (обозначения см. на рис. 6)

В табл. 2 сведены значения скоростей распространения волн по профилям, являющиеся среднеарифметическими от результатов многократных опытов (не менее трех).

Таблица 2

Профили	Скорости в м/сек		Примечание к графе 3
	на глубине 4—6 м	по поверхн. слою	
I	1500	800 510	Между пунктами 1 и 2 Между пунктами 2 и 3
II	1500	—	—
III	2500	650	Между пунктами 4 и 5

Как видно из таблицы, получены разные значения скоростей как для андезито-базальтов, так и элювиально-делювиального покрова. Причиной расхождения в скоростях упругой волны в андезито-базальтах служило, как показали дальнейшие многочисленные разведочные выработки и вскрышные работы, наличие линзы белозема мощностью 4,5—6,5 м на пути распространения сейсмозрывной волны от восточной группы шурфов (ВГШ) до шахт № 2 и № 4 (рис. 3)*.

* Подтвердилось предположение, высказанное нами по результатам сейсмометрических работ в вышеупомянутом научно-техническом отчете по работам.

На указанной глубине на профиле I проводящей средой служили андезито-базальты. Относительно небольшое для скальной породы значение скорости (2500 м/сек) обусловлено глыбово-плитчатой структурой и трещиноватой текстурой верхней части исследуемого брекчиевидного базальтового покрова.

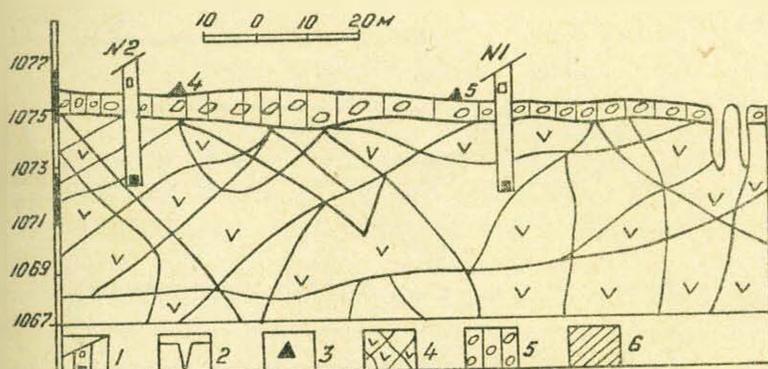


Рис. 6. Геологический разрез по профилю III:

1—Исследовательская шахта; 2—шурфы для взрыва; 3—сейсмоприемник СПМ-16; 4—глыбовые трещиноватые базальты; 5—обломки и валуны базальта с суглинистым заполнителем; 6—твердая супесь (белозем)

Для элювиально-делювиального покрова (на профилях I и III) получены три значения скорости — 510 м/сек, 650 м/сек и 800 м/сек.

Последние два значения относятся к слою с мощностью от 0,3 до 1,7 м, представленному щебенкой, обломками и валунами базальтов с суглинистым заполнителем различной степени цементации. На профиле II по техническим причинам не удалось получить значения скоростей для этого слоя. Однако, судя по сходству литологического состава и структуры элювиально-делювиального покрова, здесь, как и на профилях I и III, значения скоростей должны варьировать в пределах 650—800 м/сек.

Первое значение скорости относится к слою плотной супеси (белозем) средней мощностью в 5 м.

Таким образом, описанные выше трещиноватые андезито-базальты и покрывающий их местами белозем характеризуются скоростями распространения сейсмических волн в 2500 м/сек и 510 м/сек соответственно.

Г. А. Лямзиной [7] с помощью сейморазведочной станции определены скорости распространения упругих волн в коренных осадочных породах и современных рыхлых отложениях. Значения скоростей колеблются от 180—220 м/сек (насыпной грунт) до 2400—2600 м/сек (коренные глины). Эти данные использованы А. З. Кацем [8] для производства сейсмического микрорайонирования Сочи-Мацестинской зоны.

* Детальные данные многочисленных разведочных выработок и результаты лабораторных испытаний имеются в отчете „Заключение об инженерно-геологических условиях площадок зданий №№ 1—4, 7—10“. МПИ, Москва, 1960, фонды АИСМа.

4. *Определение динамического модуля упругости и приращения сейсмической балльности.* Как известно, между скоростями сейсмических волн и упругими постоянными среды существует однозначная связь, что дает возможность определения динамического модуля упругости по данным динамических испытаний грунтов в естественном их залегании.

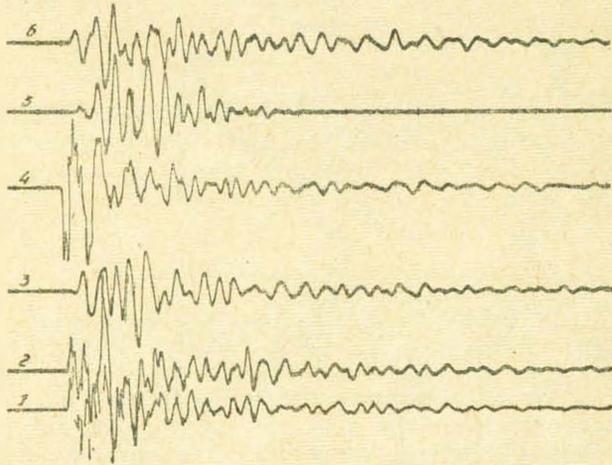


Рис. 7. Сейсмограмма взрыва 20.XI 1958 г. Одновременно взрываемый заряд 15 кг, точка взрыва — ВГШ, датчики — ВЭГиКи, 1—шахта № 1 (З-В); 2—на поверхности у шахты № 1 (З-В); 3—шахта № 4 (З-В); 4—шахта № 2 (З-В); 5—шахта № 4 (С-Ю); 6—шахта № 3 (З-В).

а) Динамические модули упругости грунтов подсчитывались по формуле (1), выведенной для случая распространения волны в упругом полупространстве (5).

$$E = \frac{\rho v_n^2 (1 + \delta) (1 - 2\delta)}{1 - \delta}, \quad (1)$$

где E — модуль упругости (Юнга);

ρ — плотность, т. е. масса в единице объема среды;

v_n — скорость распространения продольных волн;

δ — модуль поперечного сжатия, как и для большинства горных пород, принят равным 0,25.

Полученные значения модуля Юнга для белозема и андезито-базальтов сведены в табл. 3. Здесь же приведены значения модулей упругости для базальтов Комсомольского парка и капутанских андезитов и дацитов*, определенные статическим и резонансным [10] методами над образцами—монолитами этих пород.

Как видно из таблицы, значение модуля Юнга андезито-базальтов около 2—5 раз меньше значений, полученных для родственных эффузивных скальных пород в результате лабораторных испытаний. Причиной

* Данные эти были любезно нам представлены З. А. Ацагорцяном.

Таблица 3

Породы	Белозем	Исследов. андезитобазальты	Базальты комсомольск. парка	Капунтанск. дациты	Капунтанск. андезиты	Паракарские базальты
Объемн. вес в $г/см^3$	1,57	2,10	2,76	2,23	2,26	2,65
Модуль Юнга в $кг/см^2$	3000	111600	500000	258000	277000	450000

такого резкого расхождения служит глыбовое залегание и трещиноватая текстура и структура исследованных андезитобазальтов.

Интересно сравнить полученную величину модуля Юнга с данными Рейха [11]. Им собраны из десяти работ значения модулей Юнга и соответствующих скоростей прохождения продольных волн (сжатия) для широкого диапазона осадочных, метаморфических и изверженных горных пород, определенных экспериментально различными динамическими и статическими методами и для наглядности нанесены на график.

На этот график, повзаимствованной из работы [12], большой точкой нанесено полученное нами значение модуля упругости для андезитобазальтов (рис. 8).

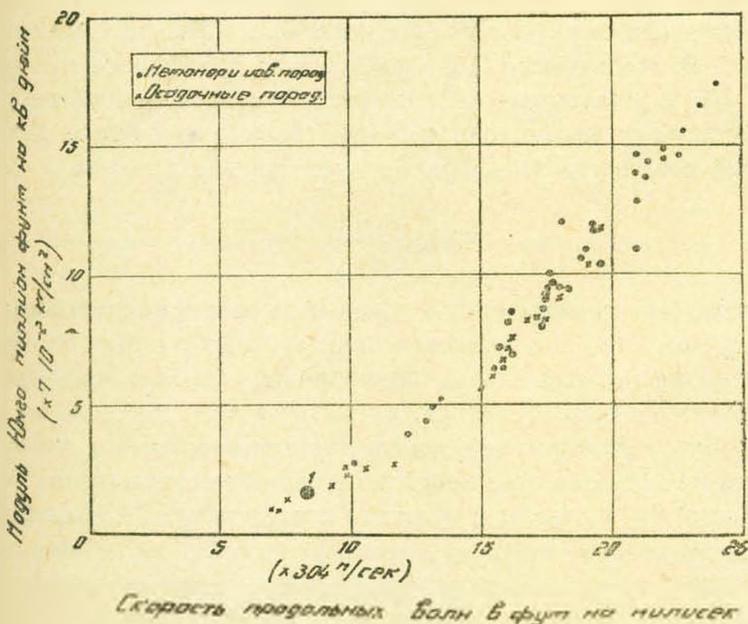


Рис. 8. График зависимости модуля Юнга от скорости распространения продольной волны. Повзаимствован из работы [12].
 1. Наше экспериментальное значение для андезитобазальтов.

Как видно из графика наша экспериментальная точка находится на кривой и соответствует наименьшему значению модуля Юнга для изверженных пород.

Влияние текстуры и структуры осадочных пород на значение модуля

3 Изв. ТН, № 6

Юнга, полученное с помощью полевых динамических испытаний, проведенных в северном Ираке, показано в той же работе. Получено, что для доломитов значение динамического модуля упругости вдоль плоскостей напластований ($525 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$) два с лишним раза больше по сравнению со значением в перпендикулярном направлении ($245 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$).

Приведенный фактический материал говорит в пользу необходимости определения модуля Юнга грунтов оснований в естественном их залегании при возведении на этих грунтах ответственных капитальных сооружений. Это особенно важно для гидротехнических сооружений, возводимых в сейсмических районах.

б) Для проведения сейсмического микрорайонирования какой-либо территории необходимо, во-первых, знание точной исходной балльности района* и, во-вторых, умение определить приращения сейсмического балла при будущих сильных и разрушительных землетрясениях для всех разновидностей грунтовых условий** по отношению к условиям, характеризующим исходную балльность.

До последнего десятилетия единственным методом определения приращения сейсмической балльности был метод инженерно-геологических аналогий. В последнее время стали развиваться инструментальные и аналитические методы.

На основе данных обследования последствий разрушительных землетрясений С. В. Медведевым [13] впервые была предложена эмпирическая формула (2), устанавливающая аналитическую зависимость между упругими свойствами грунтов и приращением сейсмического балла. Для случая нормальной влажности эта формула представлена автором в виде

$$n = 1,67 \lg \left(\frac{\nu_n \rho_n}{\nu_0 \rho_0} \right), \quad (2)$$

где n — приращение балльности; $\nu_n \rho_n$ — акустическая жесткость исследуемого грунта, представляющая произведение плотности на скорость распространения продольных волн; $\nu_0 \rho_0$ — акустическая жесткость гранита, принятая в качестве эталона.

Пользуясь этой формулой, мы подсчитали приращение сейсмической балльности на белоземе по отношению к подстилающим андезито-базальтам. При этом были учтены результаты исследований А. З. Каца [14], согласно которым, при отношении толщины слоя H к длине волны λ , равном $1/20$ ***, спектральные характеристики слоя не влияют на интенсивность колебаний на поверхности.

Подсчеты показали, что $n = 1,02$ балла.

* Здесь не касаемся вопросов определения исходной сейсмической балльности.

** Подразумевается комплекс грунтовых, гидрогеологических и геоморфологических условий.

*** В нашем случае $H/\lambda < 1/20$ [1].

Интересно отметить, что при одном из взрывов, осуществленном в ВГШ (единовременно взрываемый заряд 100 кг), в шахте № 2 удалось одновременно зарегистрировать ускорения колебаний в андезито-базальтах и в белоземе с помощью ртутных акселерографов, установленных на дне шахты и в нише. Значения максимальных ускорений оказались равны соответственно $\sigma_1 = 432 \text{ мм/сек}^2$ и $\tau_2 = 803 \text{ мм/сек}^2$. Отношение этих величин равно около 1,6.

Если учесть, что в общепринятых сейсмических шкалах ускорения, соответствующие соседним баллам, отличаются в два раза, то можно утверждать, что приращение балла, полученное в нашем случае от непосредственных измерений сейсмозрывных волн, равно 0,8. Как видим полученные расчетные и экспериментальные значения оказались довольно близкими.

В табл. 4 сведены все величины, характеризующие сейсмические свойства андезито-базальтов и белоземов.

Таблица 4

Грунты	ρ $10^{-6} \frac{\text{кг/сек}^2}{\text{см}^3}$	H м	V_n м/сек	E кг/см ²	$\sigma_{1,2}$ $\frac{\text{мм}}{\text{сек}^2}$	$\frac{\tau_2}{\tau_1}$	n баллы
Андезито-базальт	2,10	200	2500	111600	432	—	—
Белозем	1,57	5	510	3000	703	1,6	1

5. *Заключение.* В работе подтверждена целесообразность определения сейсмических свойств грунтов путем измерения скоростей распространения прямых продольных волн, вызванных мелкими взрывами или ударами.

Описана методика и техника полевых работ по определению скоростей.

Детально описаны инженерно-геологические условия участка работ, на основе чего четко выделены три разновидности грунтов, для которых определены сейсмические характеристики.

Для двух основных разновидностей грунтов—андезито-базальтов и покрывающих их легких белоземистых суглинков (твердых супесей), кроме скоростей распространения волн, определены также динамические модули упругости. Определено приращение сейсмического балла на белоземе по отношению к базальтам. Эти грунты имеют большое распространение в приерванском районе.

Показано сильное влияние условий залегания и структуры горных пород на величину динамического модуля упругости.

Приведенными фактическими данными подчеркивается важность определения во всех необходимых случаях (например, при проекти-

ровании крупных промышленных и гидротехнических объектов) динамического модуля упругости грунтов оснований в естественном их залегании.

Это обстоятельство особенно надо учесть в условиях сейсмически активного Армянского нагорья, где породы большинства изверженных и осадочных комплексов разбиты трещинами отдельности, а сильно расчлененный горный рельеф усиливает интенсивность процессов физико-механического выветривания.

По описанной здесь методике в ближайшее время нами будут определены, с использованием передвижной сейсморазведочной станции, скорости распространения упругих волн во всех разновидностях грунтов, распространяющихся на территории Большого Еревана. Эти данные совместно с материалами фиксации слабых и сильных землетрясений инженерно сейсмологической сетью Еревана* будут служить хорошим инструментальным подспорьем для составления в сжатые сроки детальной карты сейсмического микрорайонирования города.

Пользуюсь случаем выразить благодарность А. Г. Назарову и Б. К. Карапетяну за ценные советы, а также Р. С. Вартаняну и М. Г. Хачияну за помощь при проведении измерений.

Армянский научно-исследовательский
институт стройматериалов и сооружений

Поступило 12.XII 1960

Ս. Ա. ՓԻՐՈՒՋՅԱՆ

ՄԵՐՁԵՐԵՎԱՆՅԱՆ ՇՐՋԱՆԻ ԳՐՈՒՆՏՆԵՐԻ ԲՆԱԿԱՆ ՏԵՂԱԴԻՐՔԻ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ՍԵՅՍՄԻԿ ԶԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա մ ֆ ո փ ու մ

Աշխատանքում հիմնավորվում է գրոնտների սեյսմիկ հատկությունները բնական պայմաններում որոշելու նպատակահարմարությունը՝ փոքր պայթեցումներից կամ հարվածներից առաջացած առաձգական ալիքների տարածման արագության չափման միջոցով: Նկարագրվում են սեյսմիկ երկայնական ալիքների տարածման արագության որոշման մեթոդիկան ու տեխնիկան: Դաշտային աշխատանքները կատարվել են 1958 թ. ընթացքում Երևանի հյուսիսային մասում նախագծվող խոշոր կառուցվածքի շինարարական հրապարակում՝ միկրոսեյսմիկ տատանումների ռեժիմի ուսումնասիրությանը զուգահեռ [1]: Սեյսմիկ ալիքները չափվել են մակերեսային՝ զեյլովիալ-էլյուվիալ շերտում և 3—6 մետր խորության վրա՝ ասպառժե մայր-ասպառներում: Այդ նպատակով կառուցվել էին շրտ հատուկ հետազոտական հորեր, որոնցից մեկի՝ № 2-ի հատակագիծը և երկայնական կտրվածքը բերված է 1 գծադրի վրա:

* См. работу [15], а также научно-технические отчеты за 1959 и 1960 гг. С. А. Пирузян „Сейсмическое микрорайонирование на инструментальной основе“. Фонды АИСМа.

Հողվածում մանրամասն նկարագրված են աշխատանքային տեղամասի ինժեներա-երկրաբանական պայմանները, որը հնարավորություն է տալիս առանձնացնել գրունտների երեք տարատեսակներ—տարբեր չափսերի ապա-ռած բեկորներ կավավազային լցանյութով, սպիտակահողային տիպի ամուր ավազակավեր և նրանց ներքնաշերտը հանդիսացող ճեղքավոր անդեղիտո-րազալտներ:

Սեյսմիկ ալիքների դրանցում տարածման արագությունները ստացվել են համապատասխանաբար հավասար 650, 510 և 2500 մ/վրկ: Օգտվելով այդ տվյալներից, ինչպես նաև ինժեներա-երկրաբանական հետազոտությունների արդյունքներից (աղյուսակ 1) նշված գրունտների վերջին երկու տարատեսակ-ների համար որոշվել են նաև առաձգականության դինամիկ մոդուլի արժեք-ները, որոնք բերված են 3-րդ աղյուսակում: Այդ նույն աղյուսակում բերված փաստական նյութերի հիման վրա ցույց է տրված լեռնային ապառների ստրուկտուրայի և տեղադրման պայմանների խիստ ազդեցությունը առաձգա-կանության դինամիկ մոդուլի արժեքի վրա: Այդ տեսակետից ընդգծվում է հիդ-րոտեխնիկական և արդյունաբերական խոշոր կառուցվածքների նախագծման ղեկավարում հիմնատակի գրունտների՝ բնական տեղադիրքի պայմաններում առաձգականության դինամիկ մոդուլի սրուշման անհրաժեշտությունը: Որոշ-ված է նաև սպիտակահողային ամուր ավազակավերում՝ անդեղիտորազալտ-ների համեմատությամբ սեյսմիկ բալի աճը, օգտվելով Ս. Վ. Մեդվեդևի [13] էմպիրիկ բանաձևից (2): Ըստ որում հաշվի են առնված Ա. Զ. Կացի հե-տազոտության արդյունքները [14], որոնց համաձայն սեյսմիկ ալիքի երկա-րության հետ համեմատած բարակ շերտի ղեկավարում $\left(\frac{H}{\lambda} \leq 20\right)$ վերջինիս սպեկտրալ հատկանիշները չեն ազդում սեյսմիկ բալի աճի վրա: Բերված են նույն գրունտներում՝ սպիտակահողային ամուր ավազակավերում և անդեղիտո-րազալտներում պայթյունից առաջացած սեյսմիկ արագացումների՝ սնդիկա-յին ակսելերոգրաֆների միջոցով ուղղակի չափման արդյունքները (տե՛ս 4-րդ ամփոփիչ աղյուսակ): Վերջում նշված է, որ ամենամոտ ժամանակներում նշված եղանակով՝ շարժական սեյսմոհետախուզական կայանի օգնությամբ պետք է որոշվի Մեծ Սրեանի բոլոր բնորոշ ինժեներա-երկրաբանական դատի-ները կազմող գրունտների մեջ սեյսմիկ ալիքների ստրածման արագություն-ները:

Այդ տվյալները նրևանի ինժեներա-սեյսմոլոգիական ցանցի կայաննե-րում [15] թույլ և ուժեղ երկրաշարժերից առաջացած տատանումների գրանց-ման տվյալների հետ համատեղ կլինեն հուսալի փաստական նյութ՝ գործի-քային հիմքի վրա մայրաքաղաքի սեյսմիկ միկրոշրջայնացման քարտեզը կազմելու համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Назаров А. Г., Каранетян Б. К., Пурюзян С. А. Изучение сейсмических колебаний участка строительства объекта АН АрмССР. Сборник статей. Закавказская конференция НИ строительных институтов в Ереване, в 1959 г. Издание АИСМа, Ереван, 1960.
2. Бошнаган П. С. О просадочности белоземов Армении. Вопросы геологии и гидрогеологии Армянской ССР. Сборник статей. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1956.

3. *Кирнос Г. П., Харин Д. А.* Сейсмограф для изучения колебаний сооружений, сейсмического эффекта взрывов и регистрации близких землетрясений. *Studia geoph. et geodet.*, II, 2, 1958.
4. *Хачиян М. Г.* Жидкостный акселерограф. ДАН АрмССР, № 1, 1958.
5. *Токмаков В. А., Харин Д. А.* Видоизменение сейсмоприемника СПМ-16 для записи ускорений при низкочастотных колебаниях. Труды Института физики Земли, АН СССР, № 5 (172), М., 1959.
6. *Борисевич Е. С.* Новые зеркальные гальванометры и магнитоэлектрические осциллографы. Труды Геофиз. ин-та АН СССР, № 29, М., 1955.
7. *Лямзина Г. А.* Об определении сейсмических свойств грунтов при помощи передвижной сейсмической станции. Труды Института физики Земли АН СССР, № 10 (177), 1960.
8. *Кац А. Э.* Сейсмическое микрорайонирование зоны Сочи-Хоста. Труды Института физики Земли АН СССР, № 10 (177), 1960.
9. *Гурвич И. И.* Сейсморазведка. Госгеолтехиздат, М., 1954.
10. *Хачиян М. Г.* Резонансный метод определения динамического модуля упругости твердых тел. Известия АН Армянской ССР*, (сер. техн. наук), т. XII, № 3 1958.
11. *Reich H.* Geologische Unterlagen der Angewanten Geophysik. Handbuch der Experimentalphysik, vol 25, part 3, 1930.
12. *Brown P. D. and Robertshaw Tack.* The in-situ Measurment of Javg's modulus for rock by a dynamic method. Geotechnique, vol III, № 7, 1953.
13. *Медведев С. В.* Оценка сейсмической балльности в зависимости от грунтовых условий. Труды Геофизического института АН СССР, № 14 (141), М., 1952.
14. *Кац А. Э.* Некоторые вопросы методики сейсмического микрорайонирования. Труды Института физики Земли АН СССР, № 5 (172), М., 1960.
15. *Пирузян С. А.* Фиксация землетрясения 14 февраля 1957 г. в г. Ереване многоярными сейсмометрами АИС-2. Известия АН Армянской ССР* (сер. техн. наук), т. XI, № 5, 1958.

ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНА

В. М. ХУДАВЕРДЯН

К ВОПРОСУ О ВТОРИЧНОМ ТВЕРДЕНИИ БЕТОНОВ,
ВЫСОХШИХ В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ

В работе [1] нами было показано, что бетоны, высохшие в раннем возрасте и прекратившие рост прочности, при последующем обводнении возобновляют этот рост и существенно упрочняются в результате вторичного твердения, что объясняется гидратацией резервов цемента, не успевших гидратироваться ввиду раннего высыхания бетона.

За последние годы в журнальной литературе появились статьи, относящиеся к указанной теме. В журнале «Бетон и железобетон» появилась небольшая заметка [2], являющаяся рефератом статьи, помещенной в «Zement—Kalk-Gips» (1956, № 2). В этой заметке утверждается, что, по новейшим английским исследованиям, «выдержка бетона во влажных условиях может быть без вреда для него прервана, а затем возобновлена в любое время. По этим данным высохший бетон после повторного увлажнения снова продолжает наращивать прочность, как если бы он вовсе не подвергался высушиванию».

В работе [1] мы писали, что нельзя согласиться с указанным утверждением.

Действительно, как вытекает из наших исследований, подобное утверждение является безапелляционным, и возможности упрочнения высохшего бетона при обводнении в [2] переоценены.

В том же журнале «Бетон и железобетон» появилась статья [3] на ту же тему. Проанализировав результаты английских опытов, описанных в указанном немецком журнале, автор статьи справедливо критикует вышеприведенное утверждение о том, что влажный режим твердения бетона можно без ущерба для него прервать и возобновить в любое время, подчеркнув решающее значение для качества бетона обеспечения влажных условий твердения в ранний период. Эта критика является трезвой и полезной. К сожалению, автор при этом недооценивал эффект вторичного твердения бетона при его обводнении.

В настоящей статье излагаются результаты наших исследований, проведенных в 1957—1958 гг. в Армянском научно-исследовательском институте стройматериалов и сооружений (АИСМ) и являющихся продолжением и развитием работы [1]. Эти исследования касались одного основного вопроса — меры вторичного твердения бетонов, высохших в раннем возрасте, в зависимости от срока их начального нормального твердения и продолжительности последующего обводнения.

Постановка опытов и экспериментальная часть. Опыты проводились над призмами $10 \times 10 \times 40$ см, приготовленными из тяжелого бетона, литоидпемзобетона и туфобетона. Бетоны были подобраны с удобоукладываемостью в 15 сек, с одинаковым расходом цемента — 250 кг/м^3 .

В опытах был применен цемент, представляющий смесь из 75 весовых частей чистого клинкерного цемента Араратского завода и 25 весовых частей вибромолотой анийской пемзы. Перемешивание компонентов цемента производилось на лабораторной шаровой мельнице в течение 1 часа при уменьшенном количестве шаров.

Активность цемента по ГОСТу 310-41 $R_{II} = 348 \text{ кг/см}^2$.

Расчетный минералогический состав исходного чистого клинкерного цемента:

трехкальциевый силикат C_3S	= 46,8,
двухкальциевый силикат C_2S	= 29,2,
трехкальциевый алюминат C_3A	= 8,2,
четырекальциевый алюмоферит C_4AF	= 11,9.

В качестве заполнителей для тяжелого бетона были применены базальтовый щебень и речной кварцевый песок. Заполнителями для литоидпемзобетона служили щебень и песок из литоидной пемзы Лусаванского месторождения. Для туфобетона применялись щебень и песок, дробленные из туфа ереванского типа Аринджского месторождения. Для всех бетонов щебень был разбит на фракции 5—15 и 15—30 мм, песок просеян через сито с отверстиями $d = 5$ мм. Содержание пылевидной фракции (частиц $< 0,15$ мм) в примененных в опытах кварцевом, литоидпемзовом и туфовом песках составляло соответственно 6,4, 43,7 и 32,8% по весу. Все заполнители применялись в воздушно-сухом состоянии и дозировались по весу.

По каждому виду бетона было приготовлено 5 групп призм по 3 призмы в группе. После приготовления образцы оставались в формах одни сутки, при этом сверху они прикрывались влажными опилками. После расформовки образцы твердели при различных режимах, указанных в табл. 1.

Образцы групп I, VI и XI после расформовки сразу помещались в летнюю камеру, затем выносились на летний стенд и, наконец, обводнялись. Образцы групп V, X и XV являлись эталонными и после расформовки постоянно хранились в воде. Наконец, образцы промежуточных групп после расформовки помещались в воду на 2, 6 и 13 суток, после чего переводились в летнюю камеру, далее выносились на летний стенд и затем обводнялись. Таким образом, для первых 4 групп каждого вида бетона начальный срок t_0 нормального вызревания составлял соответственно 1, 3, 7 и 14 дней.

Температура в летней камере поддерживалась при помощи калорифера и терморегулятора на уровне 30°C . Относительная влажность воздуха в камере колебалась в пределах 40—50%.

Среднемесячная температура воздуха в тени на открытом летнем

Таблица 1

Режим хранения бетонных призм

Группа образцов	Количество призм 10·10·40 см	Продолжительность хранения в днях				
		в формах прик. влажн. опилками	в воде	в летней камере	на летнем стенде	в воде (вторичное твердение)
Призмы из тяжелого бетона						
I	3	1	—	52	28	постоянно
II	3	1	2	50	28	•
III	3	1	6	46	28	•
IV	3	1	13	39	28	•
V	3	1	постоянно	—	—	—
Призмы из литоидпемзобетона						
VI	3	1	—	49	28	постоянно
VII	3	1	2	47	28	•
VIII	3	1	6	43	28	•
IX	3	1	13	36	28	•
X	3	1	постоянно	—	—	—
Призмы из туфобетона						
XI	3	1	—	48	28	постоянно
XII	3	1	2	46	28	•
XIII	3	1	6	42	28	•
XIV	3	1	13	35	28	•
XV	3	1	постоянно	—	—	—

стенде за август и сентябрь, замеренная в 8, 12 и 16 часов, колебалась в пределах 17, 8—31,6°C. Наибольшая максимальная температура на солнце за указанный период на стенде —54,5°C.

Относительная влажность воздуха на стенде за тот же период колебалась в средних пределах 30—70%, с размахом колебаний 20—80%.

Результаты испытания образцов на динамический модуль упругости.

Испытания образцов на динамический модуль упругости E_d проводились периодически, при этом максимальный возраст образцов составлял 507—511 дней.

Частота свободных колебаний призматических образцов определялась на установках, разработанных в АИСМе [4, 5]. Определение динамического модуля упругости проводилось по формулам, приведенным в [6].

Результаты всех испытаний и определений приведены в табл. 2, 3 и 4.

В дробных числах табл. 2—4 числители означают продолжительность обводнения в днях образцов групп I—IV, VI—IX и XI—XIV, а знаменатели—возраст этих образцов при испытании, или, что то же—продолжительность хранения в воде образцов эталонных групп до испытания.

В гр. 29 этих таблиц даны в процентах отношения E_d первых четырех групп образцов к E_d^0 образцов пятой эталонной группы для максимального возраста бетона.

По данным табл. 2—4 соответственно построены рис. 1—3.

Таблица 2

Вторичное твердение тяжелого бетона, высушенного в раннем возрасте, в зависимости от срока его начального нормального твердения и продолжительности последующего обводнения. Рост динамического модуля упругости

Группа	Образец	Продолжит. начального нормального твердения в днях	Продолжит. хранения в летних условиях в днях	Продолжительность обводнения в днях																								E_d E_d^0 в %	
				Возраст образца при испытании в днях																									
				0	0	15	21	29	36	51	65	90	144	192	430														
				28	81	96	102	110	117	132	146	171	225	273	511														
Динамический модуль упругости E_d в тыс. кг/см ²																													
		часть.		часть.		часть.		часть.		часть.		часть.		часть.		часть.		часть.		часть.		часть.		часть.		часть.			
		ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.	ср.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
I	1	1	80			155,5		254		267		262		289		295		295		321		337,5		337		351,5			
	2	1	80			199,5	176	296	273	296	282	305	294	312	304	321	308	328	310	351	335	262	346	371	352	384	366	94	
	3	1	80			174		269		284		296		312		308		308		332		340		349,3		363			
II	1	3	78			188		267		280		289		292		300		304		322		338,5		344		362			
	2	3	78			180	181	270	271	279	279	288	290	288	293	301	301	304	305	318,5	322	343	341	344	348	358	362	93	
	3	3	78			175,5		275		277		292		298		302		307		325		342		351		366			
III	1	7	74			247		299		303		309		315		335		342		352		359		373		384			
	2	7	74			229	227	306	293	313	302	330	314	337	320	346	330	346	335	357	350	364	357	382	370	396	384	98	
	3	7	74			204		274		290		302		307		309		316		340		348		356		372			
IV	1	14	67			240		316		339		353		353		363		363		374		374		397		408			
	2	14	67			257	238	307	302	307	315	322	325	330	330	347	341	347	345	358	360	364	365	372	376	386,5	389	99,5	
	3	14	67			216		282		298		299		307		314		324		347		355		358		372,8			
V	1	посто- янно в воде	—	292		333		340		349		359		356		356		356		367		367		363,5		374			
	2	—	—	301	299	355	347	362	357	363	360	362	263	362	362	362	362	362	362	362	363	363	381	378	386	382	396	391	100
	3	—	—	315		353		369		369		369		369		369		369		369		387		395		402,5			

Таблица 3

Вторичное твердение диглоддемзобегона, высохшего в раннем возрасте, в зависимости от срока его начального нормального твердения и продолжительности последующего обводнения. Рост динамического модуля упругости

Группа	Образец	Продолжит. начальной нормальн. твердения в днях	Продолжит. хранения в летних условиях в днях	Продолжительность обводнения в днях																								E_d E_n в %	
				Возраст образца при испытании в днях																									
				0		0		14		20		29		36		51		65		90		144		192		430			
				28	78	92	98	107	114	129	143	168	222	270	508														
Динамический модуль упругости E_d в тыс. кг/см ²																													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
				частн.	ср.	частн.		ср.	частн.		ср.	частн.		ср.	частн.		ср.	частн.		ср.	частн.		ср.	частн.		ср.			
VI	1	1	77			104		140		144,4		150		154		154		154		159		159,8		159,6		167,2			
	2	1	77			107	104	141,5	141	143,5	144	148,5	149	150	152	150	152	150,7	153	154	159	154,9	159	156,6	160	161,3	166		89
	3	1	77			102		142,5		145		148,7		153		152,6		153		163		163,2		163,5		168,5			
VII	1	3	75			111		148,4		153,5		157,2		157		159		159,3		161,5		163,6		165,6		169,6			
	2	3	75			107	107	141	142	146,5	147	153,6	153	153,7	153	154	154	154	154	158	158	160	160	160	160	164,5	165		88
	3	3	75			102		136,5		141,6		149		149		149		149,6		153,2		155,5		155,6		160			
VIII	1	7	71			113,6		148,5		153		153,8		157,4		158		158		160,2		163,3		164,2		169,1			
	2	7	71			113,5	113	144	145	148,5	150	150,6	152	150,5	153	150,6	153	151	153	154,9	157	156	158	159,2	160	164	165		88
	3	7	71			111,7		144		148		150,3		150,2		150,5		151		154,6		156,1		156,2		160,6			
IX	1	14	64			114		141,5		143,7		147,4		149,4		148		148		152		152,5		154		160,6			
	2	14	64			120,8	118	151	148	151,5	149	155	153	155,4	154	153,8	152	154	152	158	158	158,4	159	158,8	159	164,5	165		88
	3	14	64			120,6		153		153		156,5		157		155		155,3		165		165,4		163,8		168,9			
X	1	посто- янно в воде	—	157		179		181		183,3		183,5		183,3		181		179,5		179		179		183,6		189			
	2	—	—	152	157	169,3	178	171	180	171	179	173,5	182	173	182	172	181	173,5	180	173,5	179	173,2	179	173,6	182	178,8	187		100
	3	—	—	163		185,6		188		184		189,8		189,6		188		186		185,5		185,5		189,5		192,2			

Таблица 4

Вторичное твердение туфобетона, высохшего в раннем возрасте, в зависимости от срока его начального нормального твердения и продолжительности последующего обводнения. Рост динамического модуля упругости

Группа	Образец	Продолжит. начальной нормальн. твердения в днях	Продолжит. хранения в легких условиях в днях	Продолжительность обводнения в днях																								E_d E_d^* в %		
				Возраст образца при испытании в днях																										
				0	0	14	21	29	36	51	65	90	146	192	430															
				28	77	91	98	106	113	128	142	167	223	269	507															
Динамический модуль упругости E_d в тыс. кг/см ²																														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		
		частн.		ср.		частн.		ср.		частн.		ср.		частн.		ср.		частн.		ср.		частн.		ср.		частн.		ср.		
XI	1	1	76			95		142		144		150,6		150,8		154		155,3		161,2		164,4		163,6		168		161,2	165	81
	2	1	76			106	100	137,2	138	141,2	142	146,8	149	147	149	151	152	151,3	153	158	159	159,5	162	157,6	161	168		166,7		
	3	1	76			105		136		140,7		149,6		150		152		152,6		158,5		161		162		164,8		166,7		
XII	1	3	74			98,5		140		145,5		149		149,5		149,5		149,8		158		160,2		160,3		166		166,7		
	2	3	74			104	100	144,4	142	151	149	157,2	154	157,8	154	157,8	155	163	157	166,5	162	168,5	164	168,9	164	172,5	168	166,7		82
	3	3	74			98,6		141,2		150		155		157		157		158,2		161,6		164		164		166,7		166,7		
XIII	1	7	70			105,5		139		145,5		150,3		150,6		154,7		157		161,2		165,6		166		167,6		167,6		
	2	7	70			97	101	148	145	151,5	149	160,4	157	161	157	163	159	163,3	161	167,8	166	173	170	173	170	175	173	175	173	85
	3	7	70			101		147,5		149,7		159,6		160		160		162,5		169		171,5		171,6		175,5		175,5		
XIV	1	14	63			109		137,6		144,6		153,5		153		154		154,6		161		163		164,2		168		168		
	2	14	63			112	112	143	142	148	148	155	155	155	155	158	157	159,6	158	166	164	168,6	166	170	167	175,6	172	173,6		84
	3	14	63			114		146		152		156		156,2		158,5		160,6		165,2		167,5		167,8		173,6		173,6		
XV	1	посто- янно в воде	—	161		189		190,7		195		190,7		190,7		195		195		196,4		199,5		199,9		204,8		204,8		
	2	—	—	160	160	187	187	190	188	189	190	193,8	191	193,8	190	194	192	194	192	194	193	199,6	197	199,2	198	205,8	204	204	100	
	3	—	—	160		183,6		184,5		185,2		187,6		186,6		186,2		186,2		190		192,8		193,5		200,8		200,8		

Рассматривая рис. 1—3, мы видим существенную разницу в характере кривых рис. 1 и рис. 2 и 3. В то время как кривые на рис. 1 идут разобщенно, с известными дистанциями между ними, кривые легких бетонов на рис. 2 и 3 идут скученно. Это говорит о слабой зависимости упругих свойств легких бетонов от срока их начального нормального твердения, что объясняется сглаживающим действием влаги, аккумулированной пористым заполнителем при затворении бетона. Разобщенное расположение кривых тяжелого бетона свидетельствует, наоборот, о чувствительной зависимости этого вида бетона от срока его начального нормального твердения.

При рассмотрении рис. 1—3 обращает на себя внимание также следующее обстоятельство. В результате 430-дневного обводнения образцов кривые $t_0 = 7$ и $t_0 = 14$ тяжелого бетона (рис. 1) почти догнали кривую водного хранения эталонной группы образцов.

Из табл. 2 видно, что разница между E_d^e образцов эталонной группы V и E_d образцов групп IV и III составляет всего лишь 0,5—2%. Для образцов групп I и II эта разница составляет 6—7%, что не так много.

Что же касается легких бетонов, то, как видно из рис. 2 и 3, кривые E_d этих бетонов в результате 430-дневного обводнения образцов все еще явственно отстают от кривой E_d^e эталонной группы образцов водного хранения, причем это отставание является как бы постоянным. Из табл. 3 и 4 видно, что разница между E_d^e и E_d остальных групп образцов легких бетонов находится в пределах около 10—20%.

Различия в поведении тяжелого и легких бетонов во вторичном твердении должно быть объяснено тем, что, как было сказано в [1], при одинаковом содержании вяжущего негидратированного цемента в тяжелом бетоне должно быть значительно больше, нежели в легких бетонах. Помимо того, пылевидной фракции ($< 0,15$ мм) в легких песках в несколько раз больше, чем в тяжелом песке, вследствие чего доступ воды к негидратированным зернам цемента в легких бетонах труднее, чем в тяжелом бетоне.

Результаты испытания образцов на растяжение и сжатие. Для получения прочностных характеристик бетонов, прошедших вторичное твердение, было отобрано 15 призм $10 \times 10 \times 40$ см, по одной призме из каждой группы бетона, и все призмы были испытаны на растяжение путем раскалывания, а отколотые кубики — на сжатие [7, 8]. Возраст призм при раскалывании—549—553 дня, продолжительность обводнения—472 дня. Перед испытанием призмы снимались из воды и выдерживались на воздухе в комнатных условиях в течение одних суток. Раскалывание призм производилось на 10-тонном гидравлическом прессе с помощью вдавливания в бетон 2 остальных стержней диаметром 3 мм. Призмы раскалывались по 3 сечениям на 4 кубика. Из каждой призмы испытывались на сжатие по 3 кубика.

Результаты раскалывания призм и сжатия отколотых кубиков приведены в табл. 5—7. Для сопоставления в графе 12 этих таблиц приведе-

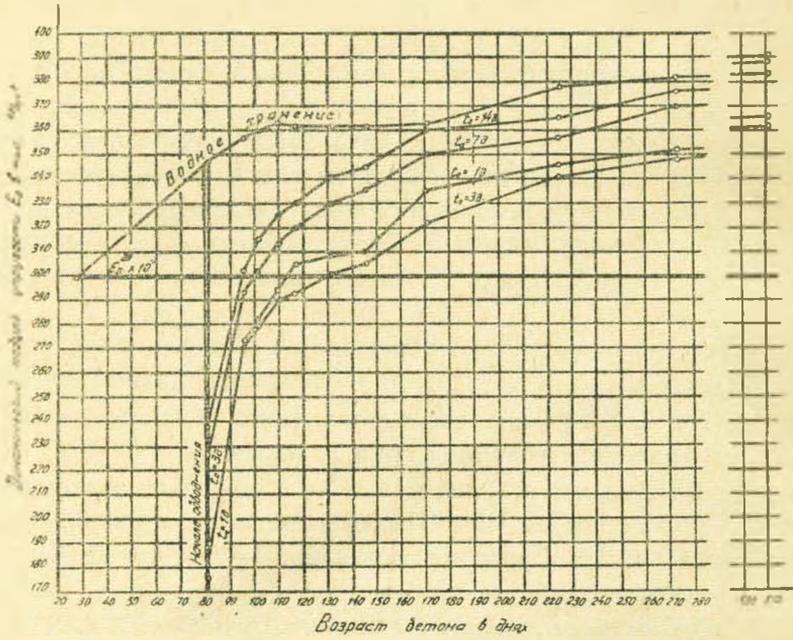


Рис. 1. Тяжелый бетон

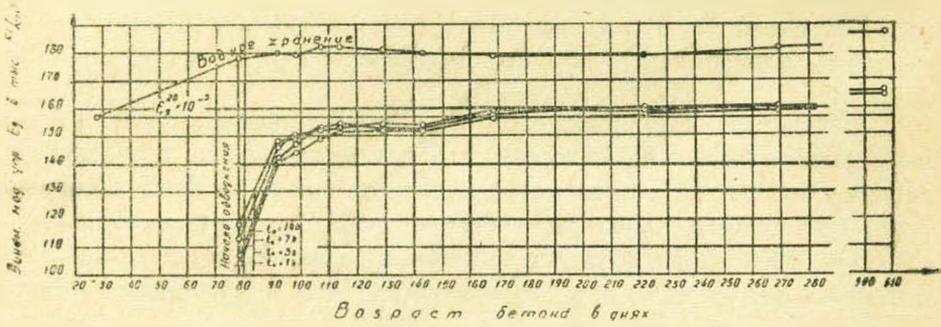


Рис. 2. Литонитрозобетон

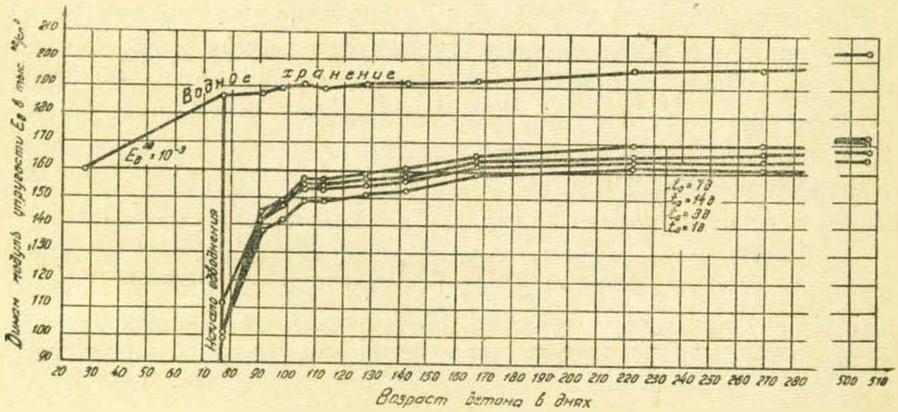


Рис. 3. Туфобетон

Таблица 5

Вторичное твердение тяжелого бетона, высохшего в раннем возрасте, при обводнении — в зависимости от срока его начального нормального твердения. Прочность на растяжение при раскалывании призм $10 \times 10 \times 40$ см и прочность на сжатие отколотых кубиков

Группа	Призма №	Продолжительность в днях			Возраст призм в днях при испытании	Объемн. вес бетона в волонасыщ. состоянии в кг/л	Прочность на растяжение при раскалывании в кг/см ²		Прочность на сжатие отколотых кубиков в кг/см ²		Прочность на растяж. по формуле $R_p = 0,5 \sqrt[3]{R_c^2}$	$\frac{R_p}{R_c}$ в %	$\frac{R_p}{R_p^3}$ в %	$\frac{R_c}{R_c^3}$ в %
		начального норм. твердения	в хранения в летних условиях	обводнения			по трем сечениям	средн. R_p	частн.	средн. R_c				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I	265	1	80	472	553	2,41	19,7 19,4 22,5	21,1	171,2 181,1 181,6	181	16,0	11,6	78	70
II	269	3	78	472	553	2,41	21,4 19,4 25	23,2	180,6 161,6 184,2	182	16,0	12,7	86	71
III	273	7	74	472	553	2,41	26 25,2 26,8	26,4	224 242 227	234	19,0	11,3	98	91
IV	276	14	67	472	553	2,41	27,6 25,1 20,9	26,4	210 247 254	250	19,8	10,5	98	97
V	277	Постоянно в воде			553	2,41	23,7 26,4 27,3	26,9	255,5 255 261,5	258	20,3	10,4	100	100

Таблица 6

Вторичное твердение литоидемзобетона, высушенного в раннем возрасте, при обводнении — в зависимости от срока его начального нормального твердения. Прочность на растяжение при раскалывании призм $10 \times 10 \times 40$ см и прочность на сжатие отколотых кубиков

Группа	Призма №	Продолжительность в днях				Возраст призм в днях при испытании	Объемн. вес бетон. в водонасыщ. сост. в кг/л	Прочность на растяжение при раскалывании в кг/см ²		Прочность на сжатие отколотых кубиков в кг/см ²		Прочность на растяжение по формуле $R_p' = 0,5 \sqrt[3]{R_c^2}$	$\frac{R_p}{R_c}$ в %	$\frac{R_p}{R_p^3}$ в %	$\frac{R_c}{R_c^5}$ в %
		начального норм. твердения	хранения в летних условиях	обводнения	по трем сечениям			средн. R_p	частн.	средн. R_c					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
VI	284	1	77	472	550	1,72	14,5 14,3 17,2	15,8	148 179,5 168	174	15,6	9,1	79	77	
VII	288	3	75	472	550	1,72	15,8 14,7 12,1	15,2	170 186,7 211,2	199	17,0	7,6	76	88	
VIII	291	7	71	472	550	1,73	19 17,4 16,4	18,2	210 205 194	207	17,5	8,8	91	92	
IX	292	14	64	472	550	1,74	18,4 17,8 19,7	19	220 217,2 215	216	18,0	8,8	95	96	
X	296	Постоянно в воде			550	1,73	19,9 17,3 20,1	20	160,6 236 214	225	18,5	8,9	100	100	

Вторичное твердение туфобетона, высохшего в раннем возрасте, при обводнении — в зависимости от срока его начального нормального твердения. Прочность на растяжение при раскалывании призм $10 \times 10 \times 40$ см и прочность на сжатие отколотых кубиков

Группа	Призма №	Продолжительность в днях			Возраст призм при испытании	Объемн. вес бетона в водонасыщ. сост. в кг/л	Прочность на растяжение при раскалывании в кг/см ²		Прочность на сжатие отколотых кубиков в кг/см ²		Прочность на растяжение по формуле $R_p = 0,5 \sqrt{R_c^2}$	$\frac{R_p}{R_c}$ в %	$\frac{R_2}{R_p^2}$ в %	$\frac{R_c}{R_c^2}$ в %
		начального норм. твердения	хранения в летних условиях	обводнения			по трем сечениям	средн. R_p	частн.	средн. R_c				
XI	302	1	76	472	549	1,90	16,6 13,1 14,3	15,5	175 206 196,5	201	17,1	7,7	80	92
XII	304	3	74	472	549	1,92	14,4 17,6 13,4	16,0	202,5 156,2 164	199	17,0	8,0	83	91
XIII	307	7	70	472	549	1,93	13,4 16,8 17,4	17,1	183,3 209 191	200	17,1	8,5	89	92
XIV	310	14	63	472	549	1,93	18,0 17,4 14,8	17,7	203 216 173	210	17,7	8,8	92	96
XV	315	Постоянно в воде			549	1,92	17,6 17,8 20,8	19,3	216 220 192	218	18,1	8,8	100	100

ны значения прочности на растяжения, вычисленные по формуле $R_p = 0,5\sqrt[3]{R_c^3}$. В последующих графах 13—15 даны в процентах отношения растяжения к сжатию и растяжения и сжатия бетона образцов первых четырех групп к растяжению и сжатию бетона образцов эталонной группы.

Рассматривая данные таблиц 5—7 для литоидпемзобетона и туфобетона, можно отметить удовлетворительное соответствие между экспериментальными величинами прочности на растяжение и вычисленными по вышеприведенной формуле. Для тяжелого бетона бросается в глаза некоторая завышенность экспериментальных величин прочности на растяжение.

Из данных граф 14—15 таблиц можно усмотреть, что тяжелые бетоны групп III и IV ($t_0 = 7$ дн. и $t_0 = 14$ дн.) по прочности на растяжение набрали 98% от эталонной величины, по прочности на сжатие—91—97%, т. е. по прочностным показателям эти бетоны подошли вплотную к бетону постоянного водного хранения (группа V), что находится в соответствии с упругой характеристикой этих бетонов (табл. 2).

Легкие бетоны аналогичных групп—VIII—IX и XIII—XIV ($t_0 = 7$ дн. и $t_0 = 14$ дн.) по своим прочностным показателям также близко подходят к эталонным бетонам постоянного водного хранения (X и XV), хотя и не столь близко, как в случае тяжелого бетона. Обводненные в течение почти 16 месяцев легкие бетоны указанных групп по прочностным показателям набрали 39—96% от эталонных величин. Эти проценты несколько выше соответствующих цифр, относящихся к упругим характеристикам этих бетонов (табл. 3—4).

Что же касается бетонов со сроком начального нормального твердения $t_0 = 1$ д. и $t_0 = 3$ дня, то как тяжелый, так и легкие бетоны при той же продолжительности обводнения (~ 16 мес.) по прочностным показателям набрали 70—90% от эталонных величин, если не считать несколько более высокие показатели у туфобетона.

В ы в о д ы

На основании результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Бетоны, высохшие в раннем возрасте, при последующем продолжительном обводнении в существенной мере восстанавливают свои упругие и прочностные характеристики, утраченные вследствие раннего высыхания.

Следует подчеркнуть, что здесь речь идет именно об обводнении бетона, т. е. об обеспечении бетону водной среды для твердения, но не о поливке или укрытии его увлажненными влагоемкими материалами.

2. Тяжелый бетон на базальтовом щебне и кварцевом песке с начальным сроком нормального твердения 7—14 дней, высохший затем 2—2,5 месяца, при последующем обводнении в течение 14—16 месяцев почти до

гоняет эталонный бетон постоянного водного твердения как по упругой характеристике, так и по прочностным показателям.

3. В тех же условиях литоидпемзобетон и туфобетон по своим упругим и прочностным характеристикам также довольно близко подходят к своим эталонным бетонам постоянного водного твердения, хотя и не столь близко, как тяжелые бетоны. Однако, в отличие от тяжелого бетона, отставание физико-механических показателей легких бетонов от их эталонных величин после известного срока обводнения остается постоянным, независимо от продолжительности дальнейшего обводнения.

4. При малом сроке начального нормального твердения 1—3 дня, затем высыхании 2,5 месяца и, наконец, обводнении в течение 14—16 месяцев как тяжелый, так и легкие бетоны по своим упругим и прочностным характеристикам заметно отстают от соответствующих эталонных бетонов постоянного водного твердения.

5. Можно отметить слабую зависимость свойств легких бетонов от продолжительности их начального твердения, что объясняется сглаживающим действием влаги, аккумулированной пористым заполнителем при затворении бетона. Наоборот, тяжелый бетон к указанному сроку довольно чувствителен.

6. Некоторое отставание упругих и прочностных показателей бетонов, высохших в раннем возрасте, от их эталонных величин, даже при продолжительном обводнении их, следует объяснить, по-видимому, происходящими в этих бетонах необратимыми явлениями, усиливающимися при сокращении срока начального нормального твердения бетона. Надо полагать, что указанные явления в легких бетонах оставляют более глубокий след, нежели в тяжелых. Поэтому следует заключить, что, несмотря на существенное улучшение упругих и прочностных характеристик бетонов, высохших в раннем возрасте, при их обводнении продолжительность начального нормального твердения бетона имеет важное значение для дальнейшей жизни бетона, на что должно быть обращено особое внимание.

7. В свете полученных результатов необходимо критически пересмотреть и откорректировать методику различных испытаний во всех тех случаях, когда она связана с выдерживанием цементных или бетонных образцов в воде, и это может вызвать их упрочение в результате вторичного твердения. Напр., это положение касается ГОСТа на определение морозостойкости бетонов, методику которого надлежит соответственно откорректировать, о чем нами было указано в [1].

В заключении считаем необходимым отметить, что наше исследование должно быть дополнено изучением вопроса возникновения трещин в бетоне при высыхании его в раннем возрасте и поведения этих трещин при последующем обводнении бетона, что имеет важное значение для строительства, в частности, для гидротехнического. Помимо того, вопросы вторичного твердения бетонов должны быть изучены и на других типах цементов.

Վ. Մ. ԽՈՒԿԱՎԵՐԴՅԱՆ

ՎԱՂ ՀԱՍԱԿՈՒՄ ՉՈՐԱՑԱԾ ԲԵՏՈՆՆԵՐԻ ԵՐԿՐՈՐԳԱՅԻՆ
ՊՆԴԱՑՄԱՆ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՋԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում շարադրված են Հայաստանի շինանյութերի և կառուցվածքների գիտահետազոտական ինստիտուտում 1958—59 թթ. հեղինակի կատարած հետազոտությունների արդյունքները, որոնք կազմում են [1] աշխատության շարունակությունը և զարգացումը: Նշված հետազոտությունները վերաբերում էին մյլ հիմնական հարցի՝ վաղ հասակում շորացած բետոնների երկրորդային պնդացման շտիֆին, կախված նրանց սկզբնական նորմալ պնդացման ժամանակամիջոցից և հետագա ջրավորման տևողությունից:

Կատարված հետազոտությունները ցույց են տվել, որ վաղ հասակում շորացած բետոնները հետագայում տեսական ջրավորման դեպքում էապես վերականգնում են իրենց առաձգական և ամրության ցուցանիշները, որոնց կորցրել էին վաղահասակ շորացման պատճառով, ըստ որում ծանր բետոնների նշված ցուցանիշների վերականգնման շափր ավելի մեծ է, քան թեթև բետոններինը: Չնայած դրան բետոնի սկզբնական նորմալ պնդացման տևողությունը կարևոր նշանակություն ունի նրա հետագա զոլություն համար, որի վրա լուրջ ուշադրություն պետք է դարձնել:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Худавердян В. М. Вторичное твердение летнего бетона при его обводнении. «Известия АН Армянской ССР» (серия техн. наук), т. X, № 2 1957. То же с некоторыми сокращениями и изменениями в сборнике: «Объединенная научная сессия институтов строительных материалов и сооружений Закавказских республик». Баку, 1958.
2. Влияние высыхания бетона на процесс его твердения. Журн. «Бетон и железобетон», № 10, 1956.
3. Бужевич Г. А. О возможности улучшения качества бетона после его высыхания в раннем возрасте. Журн. «Бетон и железобетон», № 6, 1958.
4. Худавердян В. М., Хачиян М. Г. Визуально-звукометрическое определение частоты свободных колебаний некоторых строительных материалов. Труды Армянского научно-исследовательского института стройматериалов и сооружений, № 1. Ереван, 1959.
5. Худавердян В. М. Установка для определения динамического модуля упругости материала резонансным методом. Труды Армянского научно-исследовательского института стройматериалов и сооружений, № 2 (в печати).
6. Худавердян В. М. Определение частоты свободных колебаний некоторых строительных материалов по унисону на слух. «Известия АН Армянской ССР» (серия техн. наук), т. X, № 1, 1957.
7. Скрамтаев Б. Г., Шубенкин П. Ф., Будилов А. А. О новом методе определения прочности бетона на растяжение. Журн. «Строительная промышленность», № 3, 1957.
8. Симонов М. З., Матузов Г. Г. Метод определения прочности бетона на сжатие и растяжение на бетонных призмах. «Известия АН Армянской ССР (серия техн. наук), т. XI, № 3, 1958.

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

Б. Е. САФАРОВ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСЕВЫХ ГИДРОТУРБИН ПРИ МАЛЫХ
ОТКРЫТИЯХ НАПРАВЛЯЮЩЕГО АППАРАТА

При исследовании характера протекания различных переходных процессов в гидротурбинах весьма существенным является поведение агрегата при работе в асинхронном режиме, режиме синхронного компенсатора, а также при пуске, остановке, аварии агрегата и других случаях. При этом возможна работа турбин в разгонных и насосных режимах.

Насосным называется такой режим, когда число оборотов турбины за счет энергии, отбираемой генератором из сети, превышает разгонное для данного напора открытия и угла установки лопастей рабочего колеса.

Несмотря на актуальность изучения разгонных и насосных режимов для исследования и управления некоторыми переходными процессами в гидроэнергосистеме при ресинхронизации, указанные режимы изучены недостаточно [1]. Необходимы сведения о характеристиках гидротурбин при малых открытиях направляющего аппарата, меньших открытий холостого хода, для различных скоростей вращения.

Так как турбостроительные заводы дают характеристики выпускаемых турбин только в зоне оптимального к. п. д., что сильно затрудняет исследование указанных режимов, обычно прибегают к линейной экстраполяции моментных кривых в функции открытия, что, как будет показано, искажает истинные характеристики.

Исследованию характеристик гидротурбин в насосных и разгонных режимах была посвящена диссертационная работа [2] Квятковской Е. В., экспериментальная часть которой была выполнена на вертикальной гидротурбинной установке МИСИ им. Куйбышева с колесами ПЛ 70 ($n_s = 625$) и ПЛ 587 ($n_s = 400$).

В Институте водных проблем АН Армянской ССР были поставлены аналогичные эксперименты на горизонтальной установке турбинного агрегата. Полученные опытные данные с колесом К-245 никоим образом не противоречат результатам работы Е. В. Квятковской, а дополняют ее в области полученных моментных характеристик при насосных режимах работы гидротурбины.

Некоторое различие в поведении моментных кривых объясняется различной быстротходностью колес. Кроме того, характеристики, снятые с колеса К-245, соответствуют более широкому диапазону изменения открытия направляющего аппарата и числа оборотов вала рабочего колеса.

Описание установки и характеристики гидротурбин. Вода к турбине подводится из напорного бака трубопроводом диаметром 0,64 м при напоре 5,5 м. Рабочее колесо пропеллерного типа К-245 диаметром 0,3 м, $n_s = 450$. На рис. 1 приведена общая схема установки, которая состоит из гидроагрегата (1), мотор-весов (2), (3) и машины переменного тока (4).

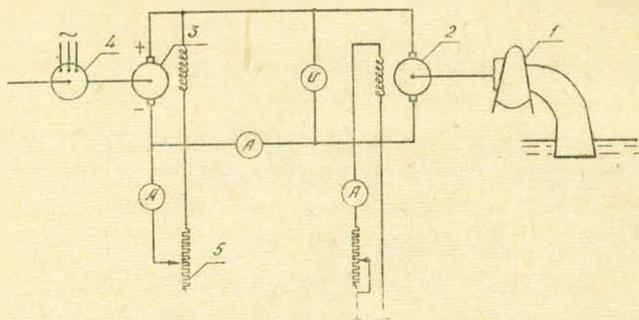


Рис. 1.

Машина (4) может работать асинхронным двигателем или генератором. Желаемый режим работы турбины устанавливается регулированием напряжения мотор-весов (3).

Опыты проводились при открытиях направляющего аппарата, равных $2,5 \div 60$ мм при максимально возможном открытии 80 мм.

Для фиксированных открытий устанавливались обороты турбинного вала, равные $600 \div 1600$ об/мин через каждые 100 об/мин. Для каждого режима замерялся расход воды через турбину — Q , напор — H , полезный момент на валу рабочего колеса — M путем уравнивания мотор-весов.

Полученные моментные кривые $M = f(n)$ для различных углов установки рабочего колеса — φ были пересчитаны на один метр напора.

На рис. 2 изображены кривые $M_1 = f(n_1)$ для $\varphi = -3^\circ$.

Аналогичные характеристики получены и для других φ . Точки кривых рис. 2 с нулевым значением момента соответствуют работе турбины в разгонном режиме, когда вся энергия протекающей воды расходуется на потери и на придание рабочему колесу определенной угловой скорости.

Для того чтобы турбина могла совершать более высокие обороты, необходимо из сети забирать дополнительную энергию, тогда турбина будет работать в насосном режиме. Момент при этом имеет отрицательное значение.

При насосном режиме вода течет в том же направлении, как и при нормальной работе установки. Рабочее колесо при этом как бы подгоняет воду и увеличивает расход принудительно. Как показала обработка экспериментальных расходных кривых $Q = f(n)$, их наклон не меняется при переходе турбины в насосную зону работы.

Рис. 2 и аналогичные им рисунки с другими φ показывают, что наклон моментных кривых для данного колеса в зоне малых открытий на-

правляющего аппарата сильно зависит от открытия и увеличивается с его увеличением. Поэтому кривые пересекаются в зоне отрицательных моментов и больших оборотов рабочего колеса.

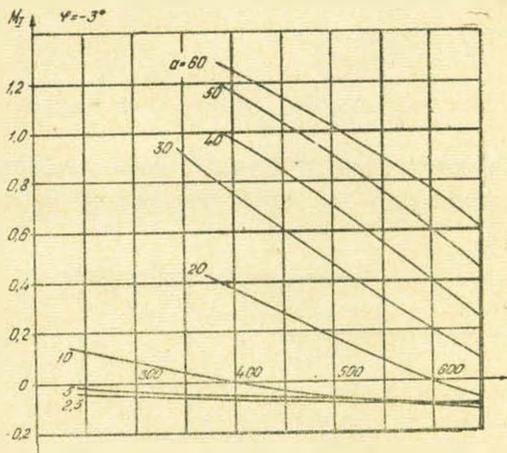


Рис. 2.

На рис. 3 приведены кривые к. п. д. $\eta = f(n)$ для $\varphi = -3^\circ$.

Как видно, η падает по абсолютной величине в насосной зоне при уменьшении открытия направляющего аппарата, увеличении угла установки лопастей рабочего колеса и повышении числа оборотов.

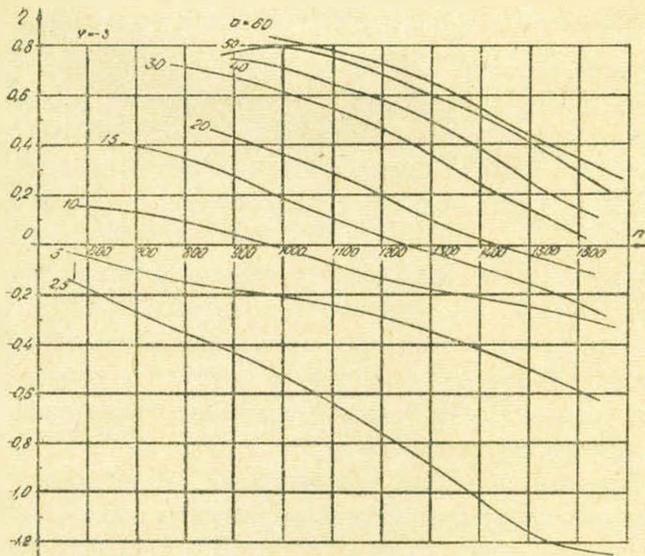


Рис. 3.

Особый интерес при изучении переходных процессов в случае ресинхронизации представляют кривые рис. 4, на котором показаны зависимости моментов при постоянных оборотах от относительного открытия направляющего аппарата.

Кривые рис. 4 построены по данным рис. 2 путем отсчета значений M_1 для разных открытий и имеющих постоянные обороты.

На рис. 4 обороты вала рабочего колеса указаны в отношении к $n_1 = 350$ об/мин — числу оборотов, соответствующих оптимальному к. п. д. Так, например, при $n_1 = 650$

$$\delta = \frac{n_1}{n_1} = 1,85.$$

Из рассмотрения кривых рис. 4 и аналогичных им кривых с другими φ можно заметить, что они в насосной зоне работы рабочего колеса не

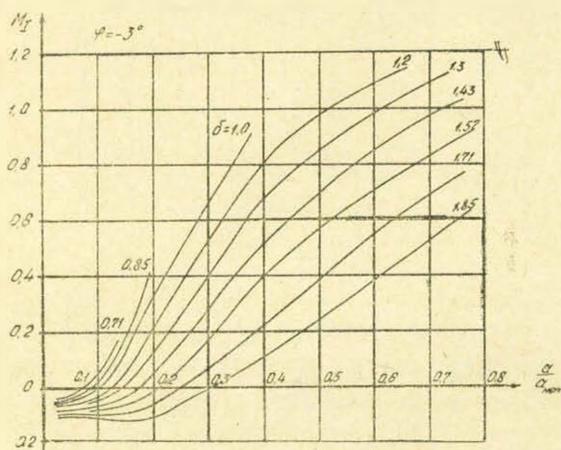


Рис. 4.

сохраняют наклон, который имели в турбинной зоне. Кривые изгибаются и становятся почти горизонтальными, что указывает на независимость момента от изменения открытия. Высказанное соображение справедливо лишь при отрицательных и малых положительных углах φ . При угле $\varphi = +10^\circ$ и выше и при некоторых промежуточных открытиях, в нашем примере $a = 20-25$ мм, отрицательный момент с большими числами оборотов внезапно сильно возрастает. Это хорошо видно на рис. 5, где все кривые имеют $\delta = 1,57$. При открытиях, меньших 20—25 мм, отрицательный момент по абсолютной величине уменьшается. Причина этого явления, очевидно, кроется в разрыве сплошности потока на выходе из рабочего колеса из-за сравнительно большой величины отсасывания, порядка 3,5 м, и изогнутости всасывающей трубы.

На рис. 5 также видно, что с увеличением φ при насосных режимах увеличивается отрицательный момент и уменьшаются разгонные числа оборотов. В режиме синхронного компенсатора выгоднее переходить на небольшие отрицательные углы φ когда потери наименьшие (3).

Все экспериментальные зависимости, полученные в данной работе, относятся к осевой модельной гидротурбине К-245 с $n_s = 250 \div 450$, поэтому выводы в основном относятся к этому типу турбин средней быстроходности.

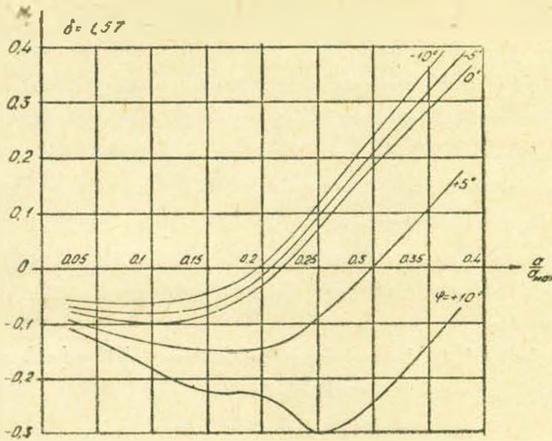


Рис. 5.

В ы в о д ы

1. Насосные и разгонные режимы работы гидротурбины могут возникнуть в процессе ее эксплуатации, откуда вытекает актуальность изучения этих режимов.
2. Весьма желательно, чтобы турбостроительные заводы давали характеристики выпускаемых турбин в гораздо более широкой зоне работы, охватывающей также насосные режимы.
3. При переходе с турбинного на насосный режим работы гидротурбины кривая расхода по оборотам сохраняет свой наклон.
4. Кривые моментов по открытию при постоянной скорости вращения в насосных режимах могут менять свой наклон.
5. Необходимо продолжить опыты для снятия характеристик в насосной области работы тихоходных, высоконапорных осевых и различных радиально-осевых турбин, а также исследовать насосные характеристики при переходных режимах.

Институт волных проблем
АН Армянской ССР

Поступило 12.X 1961

Բ. Ե. ՍԱՅՍՐՈՎ

ԱՌԱՆՅՔԱՅԻՆ ՀԻՒՐՈՏՈՒՐԲԻՆՆԵՐԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ ՈՒՂՂԻՉ ԱՊԱՐԱՏԻ ՓՈՔՐ ԲԱՅՎԱԾՔՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հիդրոէներգոսխատեմներում մի շարք փոփոխական պրոցեսներ հետազոտելու համար կարևոր նշանակություն ունեն նրանց պոմպային և թափառքային աշխատանքային բնութագրերը, որոնք ղեկ բավարար չափով ուսումնասիրված չեն:

Հոգվածը նվիրված է առանցքային հիդրոտուրբինների փոքր բացվածքների դեպքում նրա բնութագրերի հետազոտմանը, որոնք ստացվել են էներգետիկայի և Հիդրավլիկայի ինստիտուտի դինամիկ մոդելի վրա:

Ստացված փորձնական արդյունքները բերում են այն եզրակացության, որ մոմենտային, ելքային և ՕԳԳ-ի բնութագրերը աշխատանքի պոմպային ռեժիմներում համապատասխանորեն համարվում են իրենց տուրբինային ռեժիմների բնութագրերի անմիջական շարունակությունը: Բացի այդ, մոմենտի կորերի պայմանագումր տուրբինների պոմպային աշխատանքային ռեժիմների ժամանակ առաջ է բերում ռեալ բնութագրերի ազավազում:

Փորձերը կատարված են առանցքային К-245 տուրբինի վրա, որի $n_s = 250$: 450, այդ պատճառով էլ հզրակացությունները հիմնականում վերաբերում են այդ տիպի միջին արագընթացության գործակից ունեցող տուրբիններին:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Кривченко Г. И., Аршаневский Н. Н., Клобуков В. Н.* Режимы регулирования поворотнолопастных гидротурбин. Госэнергоиздат, 1960.
2. *Квятковская Е. В.* Работа осевых гидротурбин в разгонных и насосных режимах. Диссертация на соискание ученой степени к. т. н.
3. *Орахелашвили М. М.* Самоторможение поворотно-лопастной гидротурбины уменьшением разворота ее лопастей. Журнал „Гидротехническое строительство“ № 2, 1952.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

XVIV тома „Известий АН Армянской ССР“ (серия технических наук)

№—стр.

Н. С. Хрушев в Бюракане 4—3

И. А. Орбели 2—3

Строительная механика

Б. О. Геворкян. Расчет панелей перекрытия в виде пологих оболочек двойкой кривизны по методу предельного равновесия 4—17

А. Г. Назаров. О механическом подобии твердых тел и его применении к исследованию строительных конструкций и сейсмостойкости сооружений (сообщ. 5) 1—3

Инженерная сейсмология

Б. К. Карапетян. Результаты экспериментального исследования характерных зданий г. Еревана 5—39

Н. К. Карапетян. Определение преобладающих периодов и спектрального состава колебаний почвы на территории г. Еревана 4—7

С. А. Пирузян. Об определении сейсмических свойств грунтов в естественном залегании приереванского района 6—25

Л. В. Шахсуварян, С. А. Пирузян, О. В. Пештмалджян. Инженерное обследование Богдановского (Мадатапинского) землетрясения 8—9 декабря 1959 года 1—55

Гидравлика

Э. Т. Джрбашян. Об одном методе тарировки фотоэлектрической установки для измерения мутности по глубине открытого потока 2—25

Б. О. Егиазарян. О расчете отражения волны от места резкого изменения канала 1—27

Н. К. Иоаннисян. Аналитическое выражение уравнений гидравлического удара при закрытии в конце трубопровода 3—3

Г. А. Симонян. К вопросу гидравлического расчета боковых водосливов 1—17

Электротехника

Г. Т. Адоиц, Ю. Г. Григорян, М. М. Адоиц. Алгоритм, программа и пример расчета на ВМДД режима экономии топлива энергосистемы, связанного с выбором состояния агрегатов 3—13

Р. А. Чугурян. Об электрических процессах в ванне карбидной печи 3—27

Ю. М. Шахназарян. Токи и напряжения в электрической системе при установленном асинхронном режиме гидрогенератора 5—21

Ю. М. Шахназарян. Упрощенные приемы приближенных расчетов асинхронного режима станций электрической системы 6—15

Строительная теплотехника

Г. А. Каспарян. Метод определения теплофизических характеристик теплоизоляционных материалов 1—31

Энергетика

- Б. Л. Буниатян.* Упругий гидравлический удар в простом трубопроводе с задвижкой в середине 1—47

Гидроэнергетика

- А. А. Асламазян.* Работа гидротурбины на переходных процессах 3—25
Б. Е. Сафаров. Универсальная связь расхода с оборотностью и открытием направляющего аппарата пропеллерных турбин 5—29
Б. Е. Сафаров. Характеристики осевых гидротурбин при малых открытиях направляющего аппарата 6—53

Электроэнергетика

- Г. Т. Адоц, Г. Д. Аюпджанян, К. А. Гамбурян, М. А. Мартиросян.* Модель сетей переменного тока Академии наук Армянской ССР 6—3
В. Г. Бегляров. Способы определения постоянных коэффициентов λ гидростанций. Алгоритм для построения экономичного режима смешанной энергосистемы без учета потерь в сетях 5—7

Гидротехника

- А. А. Галфаян.* К определению невыгоднейшей длины водосливного фронта плотины при трансформации максимальных расходов водохранилищем 2—13
И. В. Егиазаров. Возможность значительной экономии водных ресурсов для народного хозяйства и одномолекулярная пленка для борьбы с испарением с поверхности водоемов, озер и водохранилищ (сообщ. 3) 2—7
В. С. Макарова, А. М. Мхитарян. Попыты по применению мономолекулярных пленок в целях сокращения испарения, проведенные на берегу оз. Севана 3—43
Г. Д. Тер-Акопов. Суперкавитирующие гидротурбины 4—25

Стройматериалы

- Г. А. Аюпян.* Экспериментальная проверка способов определения прочности пористых заполнителей 4—53
А. А. Аракелян. К теории прочности бетона 4—37

Технология бетона

- В. М. Хуавердян.* К вопросу о вторичном твердении бетонов, высохших в раннем возрасте 6—39

Химическая технология

- А. Г. Азизян, Р. А. Меликян, Н. И. Смирнов.* Гидродинамика барботажных процессов (сообщ. 1) 2—31
А. Г. Азизян, Р. А. Меликян, Н. И. Смирнов. Гидродинамика барботажных процессов (сообщ. 2) 3—59
М. Г. Манвелян, К. А. Костанян, Е. А. Ерзюкян. Переход огнеупора стекловаренной печи в стекломассу при электросварке стекла 5—55

Научные заметки

- Ю. Л. Аветикян.* О влиянии направления движения воды на результаты лабораторного изучения фильтрационных свойств грунтов 2—50
С. Г. Аджимамудов. Сборные железобетонные многопролетные сопряженные балки 2—57

- Ю. Г. Григорьян. Методика расчета пусковых расходов, связанных с выбором состояний агрегатов тепловых электростанций 3—71
- Р. А. Котикян. Приближенный метод расчета внецентренножатых, симметрично-армированных железобетонных коротких стоек с учетом ползучести бетона 4—67
- А. М. Марджанян. Проблема производства труб 2—47
- К. А. Мнджоян. К методике изучения абразивного износа 4—63
- С. М. Мусаелян. О значении гидрологических прогнозов в водноэнергетическом регулировании речного стока на примере Новосибирской ГЭС . . . 5—61
- А. Г. Назаров, Б. К. Карапетян, С. А. Пирузян. Способ приближенного сейсмического микрорайонирования 2—43
- Э. А. Наргизян. К вопросу о методике определения мощности и энергии многолетнего регулирования в зависимости от числа использования 5—67

Критика и библиография

- А. Г. Назаров, И. И. Казей. Динамический расчет пролетных строений железнодорожных мостов, М., 1960 2—59
- А. Г. Назаров. От редакции 5—3
- М. З. Симонов, Г. Д. Петров. Бетонное хозяйство на крупных строительных объектах, М.—Л., 1960 2—59
- В. В. Пинаджян. 60 лет со дня рождения Н. К. Снитко 5—73

**ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ ԳԱ ՏԵՂԵԿԱԳՐԻ» (ՏԵՆԵՆԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹԻՅՈՒՆՆԵՐԻ
ՍԵՐԻԱ) XIV ՀԱՏՈՐԻ ԲՈՎԱՆԳԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ**

№—էջ

Ն. Ս. Խրուշչովը Բյուրականում	4—3
Հ. Ս. Օրբելի	2—3

Շինարարական մեխանիկա

Բ. Հ. Գևորգյան. Կրկնակի կորույթյան տափակավուն թաղանթ-պանելների հաշ- վարկը սահմանային հավասարակշռության մեթոդով	4—17
Ա. Բ. Նազարով. Պինդ մարմինների մեխանիկական նմանություն և շինարարական կոնստրուկցիաների ու կառուցվածքների սեյսմակայունության մեջ նրա կի- րածան մասին	1—3

Ինժեներային սեյսմոլոգիա

Բ. Կ. Կարապետյան. Արևանի շենքերի տատանումների էքսպերիմենտալ ուսումնա- սիրությունները	5—39
Ն. Կ. Կարապետյան. Արևան քաղաքի տերիտորիայի բնահողի տատանման սպեկտ- րալ կազմի և դերակշռող պարբերությունների որոշումը	4—7
Հ. Վ. Շահսուվարյան, Ս. Ա. Փիրուլյան, Հ. Վ. Փեղտմալջյան. Բողոքանովսկու (Մա- դաթապինյան) 1959 թ. ղեկտեմբերի 8—9-ի երկրաշարժի ինժեներական ուսումնասիրությունը	1—55
Ս. Ա. Փիրուլյան. Մերձերևանյան շրջանի գրունտների բնական տեղադրիչի պայ- մաններում սեյսմիկ հատկությունների որոշման մասին	6—25

Հիդրավիկա

Բ. Հ. Եղիազարյան. Ջրանցքի կարվածքի փոփոխման անդից ալիքի անդրադարձ- ման հաշվման մասին	1—27
Ն. Կ. Իսանևիսյան. Հիդրավիկական հարվածի հավասարման անայլտիկ արտահայտու- թյունը ճնշման խողովակաշարի ծայրը փակելիս	3—3
Է. Տ. Ջրբաշյան. Բաց հոսանքներում պլազմոթյունը չափելու համար ֆոտո-էլեկ- տրական տեղակայման ստուգաչափման մի մեթոդի մասին	2—25
Հ. Ա. Սիմոնյան. Կողային ջրթափների հիդրավիկական հաշվարկի հարցի շուրջը	1—17

Էլեկտրասեյսիկա

Հ. Տ. Աղոնց, Յու. Բ. Գրիգորյան, Ս. Ս. Աղոնց. Ընեքոտոստեմի վառելանյութի տնտեսման ուղիների հաշվման համար ալգորիթմի ու ծրագրի կազմումը և ԴՖՀՄ միջոցով ազդեցությունների վիճակի ընտրության օրինակ	3—13
Յու. Մ. Շահնազարյան. Հոսանքները և յարումները էլեկտրական սխեմումում հիդրո- դենրատորների կայունացած ասինխրոն ակտիվի գեոլոգում	5—21
Յու. Մ. Շահնազարյան. Էլեկտրական սխեմումի կայանների տախնիստիկ անձի մո- տավոր հաշվումների պարզեցրած ձևերը	6—15
Ռ. Ա. Ճուղուրյան. Կարբիդի վառարաններում տեղի ունեցող էլեկտրական պրոցես- ների մասին	3—27

Շինարարական ցեմասեխնիկա

- Գ. Ա. Կասպարյան. Ջերմամեկուսիչ նյութերի ջերմաֆիզիկական բնութագրերի որոշման եղանակները 1—31

Էներգետիկա

- Բ. Լ. Իսենխայան. Առաձգական հիդրավիզիկական հարվածը սպարդ խողովակաշարում, երբ փականը գտնվում է նրա մեջտեղում 1—47

Հիդրոէներգետիկա

- Հ. Ա. Ասլամազյան. Հիդրոտուրբինի աշխատանքը անցման ռեժիմներում 3—35
- Բ. Ե. Սաֆարով. Պրոպելլերային տուրբինների էլքի, նրա պտույտների թվի և ուղղիչ ապարատի բացվածքի միջև եղած ունիվերսալ կապը 5—29
- Բ. Ե. Սաֆարով. Առանցքային հիդրոտուրբինների բնութագրերը ուղղիչ ապարատի փոքր բացվածքների դեպքում 6—53

Էլեկտրաէներգետիկա

- Հ. Տ. Ակոնց. Գ. Գ. Հակոբջանյան, Կ. Հ. Գամբուրյան, Ս. Ա. Մարտիրոսյան. Հայկական ՍՍՌ Գիտությունների ակադեմիայի փոփոխական հոսանքի ցանցերի մոդել 6—3
- Վ. Գ. Բեգլյարով. Հիդրոկայանների համար λ հաստատուն գործակցի սրուշման եղանակները: Էներգոօխտեմների էկոնոմիկ ռեժիմների համար ալգորիթմի կազմումը ցանցերում առանց կորուստների 5—7

Հիդրոսեխնիկա

- Հ. Ա. Գալֆայան. Պատվարի ջրթափային ֆրոնտի օպտիմալ երկարությունը որոշման մասին, ջրամբարի միջոցով մաքսիմալ էլքերի արանսֆորմացիայի դեպքում 2—13
- Ի. Վ. Եղիազարով. Ժողովրդական տնտեսության համար ջրային պաշարների զղայի տնտեսման հնարավորությունը և ջրավազանների, լճերի ու ջրամբարների մակերևույթից զոլորչիացման դեմ պայքարելու համար միամուկեկուլյար պաշտպանիչ թաղանթի (հաղորդաչություն 3) 2—7
- Վ. Ս. Մակարով, Ա. Մ. Միրիսյան. Գոյորչիացումը կրճատելու նպատակով Սևահա լճի ափին միամուկեկուլյար թաղանթների օպտացործման ուղղությամբ կատարած փորձարկումները 3—43
- Գ. Գ. Տեր-Ակոպով. Սուպերհափտացնող հիդրոտուրբիններ 4—25

Շինանյութեր

- Հ. Ա. Առաքելյան. Բետոնի ամրության տեսության շուրջը 4—37
- Հ. Հ. Հակոբյան. Ծաղիտեղեն լցիչների ամրության որոշման եղանակների մենտալ ստուգումը 4—53

Բեռների սեխնուլոգիա

- Վ. Մ. Խուզավերդյան. Վաղ հասակում շորացած բետոնների երկրորդային պնդացման հարցի շուրջը 6—39

Ֆիզիկական սեխնուլոգիա

- Ա. Հ. Աղիջյան, Ս. Ա. Մելիքյան, Ն. Ի. Սմիլնով. Բարբոտածային պրոցեսների հիդրոդինամիկական (հաղորդում 1) 2—31
- Ա. Հ. Աղիջյան, Ս. Ա. Մելիքյան, Ն. Ի. Սմիլնով. Բարբոտածային պրոցեսների հիդրոդինամիկական (հաղորդում 2) 3—59
- Մ. Գ. Մանվելյան, Կ. Ա. Կոստանյան, Ե. Հ. Երզնկյան. Հրակայուն նյութերի քայքայումը ապակու հիման էլեկտրական վառարաններում 5—55

Վիճական ցուբեր

Յու. Լ. Ավետիքյան. Իբուհնների ֆիլտրացիոն հատկությունների լարորատոր ուսումնասիրության արդյունքների վրա **Զրի** շարժման ուղղության ազդեցության մասին 2—50

Յու. Կ. Կրիզոլյան. Թողարկման ծախսերի հաշվման մեթոդը կախված ջերմաէլեկտրակայանների ազդեցատների վիճակից 3—71

Ռ. Ա. Կոտիկյան. Երկաթբետոնյա կարճ, սիմետրիկ ամրաններով կանգնակների արտակենտրոն սեղման հաշվարկի մոտավոր եզանակը, բետոնի սողքի հաշվառումով 4—67

Ս. Գ. Հաջիմամուդով. Համաքովի երկաթբետոնի բազմաթռիչք զուգակցված հեծաններ 2—57

Ա. Մ. Մարջանյան. Խողովակների արտադրության պրոբլեմը 2—47

Կ. Ա. Մենջոյան. Արբաղի մաշման ուսումնասիրության մեթոդիկայի շուրջը 4—63

Ս. Մ. Մուսսելյան. Հիդրոլոգիական կանխորոշման նշանակությունը զետի հոսքի ջրա-էներգետիկ կանոնավորման հարցում քսո նավահարսակցետի օրինակի 5—61

Ա. Գ. Նազարով, Բ. Կ. Կարապետյան, Ս. Ա. Փիլուզյան. Սեյսմիկ միկրոսայնայման մոտավոր մեթոդ 2—43

Է. Ա. Նարզիկյան. Ընդամայա կարգավորման հզորության և էներգիայի որոշման մեթոդի հարցը կախված օգտագործվող մամերի քանակից 5—67

Վեճնագասուրյուն և բիբլիօգրաֆիա

Ա. Գ. Նազարով, Բ. Կ. Կարապետյան. Երկաթբետոնի կամուրջների թռիչքային կառուցվածքների զինամիկահան հաշվարկը, Մ., 1960 2—50

Ա. Գ. Նազարով. Խմբագրության կողմից 5—3

Մ. Զ. Սիմոնով. Գ. Գ. Պետրով ընտանային տնտեսությունը խոշոր կառուցումներում, Մ.—Լ., 1960 2—50

Վ. Վ. Փինաջյան. Ն. Կ. Մնխտկոյի ծննդյան 60-ամյակը 5—73

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Стр

Электроэнергетика

- Г. Т. Адонц, Г. Д. Акопджанян, К. А. Гамбурян, М. А. Мартиросян.* Модель сетей переменного тока Академии наук Армянской ССР 3

Электротехника

- Ю. М. Шахназарян.* Упрощенные приемы приближенных расчетов асинхронного режима станций электрической системы 15

Инженерная сейсмология

- С. А. Пирузян.* Об определении сейсмических свойств грунтов в естественном залегании приереванского района 25

Технология бетона

- В. М. Худавердян.* К вопросу о вторичном твердении бетонов, высохших в раннем возрасте 39

Гидроэнергетика

- Б. Е. Сафаров.* Характеристики осевых гидротурбин при малых открытиях направляющего аппарата 53
- Содержание XIV тома 59

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

Էլեկտրաէներգետիկա

Ձ. Տ. Աղոնց, Գ. Կ. Հակոբջանյան, Կ. Հ. Գամբուրյան, Հ. Ա. Մարտիրոսյան. Հայկական ՍՍՌ Գիտությունների ակադեմիայի փոփոխական հասանքի ցանցերի մոդել 3

Էլեկտրատեխնիկա

Յու. Մ. Շահնազարյան. Էլեկտրական սիստեմի կայանների ասինխրոն ռեժիմի մոսավոր հաշվումները պարզեցրած ձևերը 15

Ինժեներական սեյսմոլոգիա

Ս. Ա. Փիրուզյան. Մերձերևանյան շրջանի զրունտների՝ բնական տեղադիրքի պայմաններում սեյսմիկ հասկությունների որոշման մասին 25

Բեռոնի սեխնոլոգիա

Մ. Վ. Խուրադյան. Վաղ հասակում չորացած բեռոնների երկրորդային պնդացման հարցի շուրջը 39

Հիգրոէներգետիկա

Բ. Ե. Սաֆարով. Առանցքային հիդրոտուրբինների բնութագրերը ուղղիչ սպարատի փոքր բացվածքների դեպքում 53
XIV հատորի բովանդակությունը 59

