

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ.
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՄԲԱԴՐԱԿԱՆ ԿՈԼԼԵԳԻԱ

Սղոմբ Զ. Տ., Ալեքսեևսկի Վ. Վ., Գառնարյան Ա. Մ., Եղիազարյան Ի. Վ., Կասյան Մ. Վ., Նազարով Ա. Գ. (պատ. խմբագիր), Սիմոնով Մ. Չ., Տեր-Ստեփանյան Կ. Ի., Փինաջյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ):

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ашотц Г. Т., Алексеевский В. В., Гапарян А. М., Егiazаров И. В., Касьян М. В., Назаров А. Г. (ответ. редактор), Пинажян В. В. (зам. отв. редактора), Симонов М. З., Тер-Степанян К. И.

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

А. Г. НАЗАРОВ

О МЕХАНИЧЕСКОМ ПОДОБИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ И ЕГО
ПРИМЕНЕНИИ К ИССЛЕДОВАНИЮ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ

Сообщение 6

Здесь приводится дальнейшее развитие представления о статистическом подобии, данном в [1].

§ 1. Тождественность материалов и конструкций
в статистическом смысле

Два материала тождественны в статистическом смысле, если обе серии опытных образцов, изготовленных из них одним и тем же способом, при испытании на произвольную одностороннюю нагрузку приводит к статистически тождественным результатам.

Важно иметь ввиду следующее обстоятельство. Материалы, тождественные в статистическом смысле, вообще говоря, являются неоднородными, причем статистические закономерности в распределении неоднородностей неизвестны. Поэтому требуется изготовление больших количеств односторонних образцов для получения необходимого статистического материала по их механическим характеристикам. Далее в определении тождественности материалов указывается, что сравниваемые серии образцов должны быть изготовлены одним и тем же способом. Тождественность технологии изготовления является необходимым условием, так как технология может внести искажения в механические характеристики образцов. Трудность заключается также в том, что необходимо перед исследованием установить, является ли материал изотропным или анизотропным. Ввиду неоднородности материала постановка этого вопроса также должна быть дана в статистическом смысле.

Материал является изотропным в статистическом смысле, если его механические свойства тождественны в статистическом смысле во всех направлениях. Материал является анизотропным в статистическом смысле, если его механические свойства в статистическом смысле меняются в зависимости от направления.

Здесь мы не останавливаемся на критериях тождественности материалов, что должно являться предметом специальных исследований.

Имея явную многообразность способов нагружения конструкций в современной технике, представляется во многих случаях целесообразным устанавливать тождественность материалов в узких, специализированных пределах изменения нагрузок.

§ 2. Простое подобие в статистическом смысле

Положим, что имеются две серии тел $\{A_i\}$ и $\{A_i'\}$, различающихся между собою лишь масштабным множителем α . Если они обладают в сходственных своих точках одинаковыми механическими свойствами в статистическом смысле, то будем говорить, что имеет место простое подобие в статистическом смысле. Ясно, что в этом случае материалы серий тел $\{A_i\}$ и $\{A_i'\}$ не являются статистически тождественными. Действительно, по условию материал образца A_i неоднороден. Стало быть, для обеспечения подобия в статистическом смысле, материал образца A_i' также должен быть неоднороден. Поскольку образцы A_i отличаются по своим размерам от образцов A_i' в α раз, то размеры неоднородностей материала тела A_i должны отличаться от размеров неоднородностей материалов тела A_i' в α раз. Таким образом, действительно материалы тел A_i и A_i' не могут быть статистически тождественными. Иначе говоря геометрические параметры структур материалов тел A_i и A_i' должны различаться между собою также α раз. Это показывает на то интересное обстоятельство, что на неоднородные материалы можно смотреть как на своего рода конструкции, которые имеют геометрическое подобие. Мы видим также, что при подходящем подборе структуры материалов M и M' в указанном выше смысле, условия статистического подобия должны быть обеспечены и поэтому масштабный эффект не будет иметь места. Не всегда возможно устанавливать непосредственным путем геометрическое подобие структур материалов, из которых изготовлены тела A_i и A_i' . Все же возможно указать путь для установления простого подобия материалов в статистическом смысле и для этих случаев. Пусть имеются неоднородные материалы M и M' , для которых нужно проверить, имеет ли для них место простое подобие в статистическом смысле при заданном множителе подобия α .

Из материала M изготавливаем однотипные серии опытных образцов, скажем серии кубиков, призм и пр. Из материала M' также изготавливаем однотипные серии опытных образцов, но отличающихся от предыдущих серий по своим размерам геометрическим множителем подобия α . Если результаты испытаний серий образцов из материалов M и M' тождественны в статистическом смысле, в пределах какого-либо критерия согласия, то объявляем, что между неоднородными материалами M и M' имеет место простое подобие в статистическом смысле при множителе подобия α .

Приведенное выше определение можно принять за критерий простого статистического подобия между материалами M и M' . Аналогич-

ным же образом можно распорядиться при рассмотрении случая простого статистического подобия при той или иной анизотропии в свойствах неоднородного материала. В частном случае, когда $\alpha=1$, мы приходим к случаю статистически тождественных материалов, рассмотренному в предыдущем параграфе. Задача усложняется, если требуется искать то значение α , при котором осуществляется статистическое подобие. В этом случае необходимо предпринимать пробные испытания различных серий при разных значениях α .

Из изложенного вытекает важный вывод для практики моделирования по простому подобию. Положим, что из материала M изготовлен оригинал A , а из материала M' модель A' при множителе геометрического подобия α . Если для оригинала изготовлены контрольные образцы для определения механических свойств материала M при некотором характерном размере l , то для модели необходимо изготовить контрольные образцы для определения механических свойств материала M' при характерном размере αl . Ити, иначе говоря, *контрольные образцы для оригиналов и моделей должны находиться в том же геометрическом отношении, как размеры оригинала и модели*. Если при этом контрольные образцы для материалов M и M' окажутся в простом статистическом подобии, то можно утверждать, что материалы для оригинала модели подобраны правильно. Как уже указывалось в [1], чем крупнее размеры контрольных образцов, тем устойчивее будут результаты испытаний в смысле разброса и поэтому можно ограничиться испытанием меньшего количества образцов. Средние же значения прочностей образцов падают с увеличением их размеров.

Простое подобие неоднородного материала поэтому не является обязательным условием реализации простого подобия между оригиналом и моделью. Действительно, допустим, что неоднородность материала проявляется лишь в элементе объема, пренебрежимо малом как в сравнении с размерами модели, так и в сравнении с размерами оригинала. С такими случаями часто встречаются, например, когда материалом служит металл. В этом случае, понятно, простое подобие между оригиналом и моделью можно реализовать из материалов не подобных, а *тождественных* в статистическом смысле. Поэтому в таких случаях пробные образцы материалов для модели и оригинала могут быть изготовлены одинаковых размеров.

Из этого примера следует, что не всегда требуется ортодоксально придерживаться простого подобия материалов в том же масштабе α для оригиналов и моделей, изготавливаемых из них для обеспечения подобия.

Можно указать на промежуточные случаи, при которых возможно хотя бы частично нарушить условие в подборе геометрического множителя подобия α для пробных образцов оригинала и модели.

Положим, например, что оригинал построен из бетона с макси-

мальной крупности гравия порядка 5 см. По-видимому для такой крупности гравия желательны контрольные образцы на сжатие в виде куба со стороной 50 см. Если масштаб модели составляет 1/50 от натуре, то, строго говоря, пробные кубики должны иметь в стороне 1 см, а песок не крупнее 1 мм, что, конечно, не реально с точки зрения экспериментальной техники. Здесь может быть допущено некоторое уменьшение пробного кубика для оригинала, с доведением его до 30 см, а для модели увеличение пробного кубика до 3—5 см в стороне и при этом условии добиться осуществления механического подобия между ними. Ясно, что введение такого рода изменений само требует некоторой исследовательской работы для каждого конкретного случая. При этом следует иметь в виду, что чем меньше размеры пробных кубиков из неоднородного материала, тем более флуктуации в их прочностях и поэтому следует увеличить большее их количество для получения статистически достоверных результатов.

Если же в оригинале имеются неоднородности материалов крупных масштабов, сопоставимые с его размерами, то соблюдение отношения масштабов между образцами модели и образцами оригинала, равным α для соответствующих контрольных образцов обязательно.

В качестве примера рассмотрим крупноблочное здание. Здесь элементом здания является крупный блок, статистические характеристики прочности которого считаем определенными. Для модели естественно принять крупные блоки в линейном масштабе α и для них добиться тех же статистических характеристик прочности. В данном случае естественно было бы за контрольные образцы принять самые блоки и, таким образом, выдерживать одинаковый линейный множитель подобия α как для зданий в целом, так и для их элементов. Для таких случаев, когда возможны крупные неоднородности материала, примерно такого же порядка размеров как и сооружение из него, для испытуемого образца материала модели необходимо соблюдение того же геометрического подобия, что и для модели.

Таким образом можем сделать следующие выводы:

1. Если материал оригинала имеет крупные неоднородности того же порядка, что и размеры самого оригинала, необходимо для моделирования обеспечить простое подобие материалов в том же масштабе α , в каком обеспечивается геометрическое подобие оригинала и модели. В этом случае пробные образцы для модели и оригинала должны быть выдержаны в том же геометрическом подобии как для самих моделей и оригиналов.

2. Если материал оригинала имеет очень мелкую неоднородность (зернистость металла), то для обеспечения простого подобия между оригиналом и моделью достаточно их изготавливать из статистически тождественного материала, свойства которого описаны в § 1. В этом случае подобные образцы для оригинала и модели могут быть одинаковой величины.

В промежуточных случаях между этими двумя крайними пределами можно принять геометрический множитель подобия для пробных образцов отличными от геометрического множителя подобия для самих модели и оригинала. Установление разумных отклонений в этих величинах является предметом обсуждения.

§ 3. Подобие в статистическом смысле в общем случае

До настоящего времени рассматривалось простое подобие. Сформулировать условия подобия в статистическом смысле в общем случае значительно труднее.

Сначала приведем определение статистического подобия для материалов M и M' конструкций A и A' . После этого сформулируем статистическое подобие между ансамблями оригиналов $\{A_i\}$ и моделей $\{A'_i\}$. Два материала M и M' будем называть статистически подобными при множителях подобия α , β , γ , τ если выполняются следующие условия:

1. Испытываются по две серии опытных образцов из материалов M и M' на различные виды напряженных состояний (напр. растяжение, кручение и др.), причем масштабы образцов отличаются множителем геометрического подобия α (если для образца из материала M характерный линейный размер l то для подобного образца из материала M' характерный размер должен быть $l' = \alpha l$).
2. Средне-арифметические значения компонент напряжений и деформаций серий опытных образцов удовлетворяют условиям:

$$\bar{\sigma}' = \beta \bar{\sigma}, \quad \bar{\epsilon}' = \gamma \bar{\epsilon} \quad \text{в моменты времени } t \text{ и } t' = \tau t.$$

3. Плотности распределения безразмерных механических величин, полученных по испытаниям опытных образцов, изготовленных из материалов M и M' , тождественны.

Значение первого условия ясно из определения простого подобия, данного в § 2. Оно полностью сохраняется и для подобия в общем случае и, как мы уже знаем, таким путем учитывается геометрическое подобие неоднородностей материалов M и M' .

Второе условие, поскольку оно касается всех возможных компонент напряжений и деформаций, является весьма жестким, трудно выполнимым на практике. Как следует из этого условия, опытные образцы должны подвергаться напряженным состояниям различных интенсивностей и для них должны фиксироваться деформации в различные моменты времени. По существу мы здесь имеем дело со случайными функциями. Задача упрощается при отсутствии деформаций текучести, а частности, деформаций ползучести. В этом случае исключается из рассмотрения фактор времени.

Третье условие, несмотря на кажущееся ограничение, касающееся только безразмерных механических величин, в действительности распространяется и на все размерные механические величины. Действительно, приняв, например, какие-либо характерные напряжения σ_0 и σ'_0 и характерные деформации ϵ_0 и ϵ'_0 в каких-либо сход-

ственных точках, мы можем ввести безразмерные величины $\frac{\sigma}{\sigma_0}$ и $\frac{\epsilon'}{\epsilon_0}$, а также $\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ и $\frac{\epsilon'}{\epsilon_0}$ для всего поля напряжений и деформаций для оригинала и модели. Для этих отношений также должны быть тождественными плотности распределения вероятностей.

При $\gamma = \gamma' = \gamma'' = 1$ мы получим случай простого подобия в статистическом смысле. Если еще дополнительно принять $\alpha = 1$, то получим случай тождественности двух материалов в статистическом смысле.

Теперь можно привести определение статистически подобных конструкций.

Ансамбли конструкций $\{A_i\}$ и $\{A'_i\}$, изготовленных в сходственных элементах из статистически подобных материалов M и M' , при одинаковом качестве работ, называются статистически подобными.

Данное выше определение механического подобия можно существенно смягчить, отказавшись от требования о тождественности плотностей распределения вероятностей и ограничившись упрощенными интегральными характеристиками статистической тождественности. Как таковым, в первую очередь, можно отнести равенства математических ожиданий и моментов второго порядка для случайных отвлеченных механических величин сравниваемых материалов.

Имеет место следующая теорема: *Если статистически подобные ансамбли тел $\{A_i\}$ и $\{A'_i\}$ загрузить подобными внешними силами, то возникшие в них напряжения, деформации, перемещения и прочие механические величины будут также статистически подобными.*

Пусть заданы оба ансамбля с достаточно большим и одинаковым количеством n . Пусть вектор X_i ($i = 1, 2, \dots, n$) имеет своими компонентами количественные признаки, характеризующие механические свойства экземпляра A_i из ансамбля оригиналов $\{A_i\}$. Они в основном представляют собою зависимости между деформациями и напряжениями всех элементов экземпляра A_i . Совокупность всех векторов X_i , характеризующих все n экземпляров ансамбля $\{A_i\}$ будем рассматривать, для компактности изложения, как пространство X . Выделим из пространства X достаточно малую область $(X, X + \Delta X)$, определяемую интервалами $(X_i, X_i + \Delta X_i)$. Пусть этой области отвечают n_1 экземпляров из ансамбля $\{A_i\}$. Аналогично для ансамбля $\{A'_i\}$, также в количестве n экземпляров, определяется пространство X' . Из определения статистического подобия обоих рассматриваемых ансамблей следует, что сходственные компоненты векторов X_i и X'_i в сходственных точках различаются между собою лишь множителями подобия. Сходственная малая область в пространстве X' обозначится как $(X', X' + \Delta X')$. Пусть этой области отвечают n'_1 экземпляров из ансамбля $\{A'_i\}$. В силу закона больших чисел мы можем при достаточно боль-

шом n утверждать, что n_2 и n_1 приблизительно одинаковые числа [1] и таким образом, отбрасывая лишние экземпляры, мы можем с точностью до ΔX и $\Delta X'$ осуществить попарное сопоставление экземпляров из ансамблей $\{A_i\}$ и $\{A'_i\}$, в сходственных интервалах $(X, X + \Delta X)$ и $(X', X' + \Delta X')$, как уже подобных в обычном, детерминистическом смысле. Если теперь приложить к полученным попарно-подобным телам A_i и A'_i подобные внешние силы, то в силу основной теоремы о подобии, деформации, напряжения, перемещения и прочее также будут подобными. Такой вывод справедлив для обоих ансамблей в целом, ницду произвольности рассмотренного значения X . Отсюда действительно вытекает, что в результате приложения к экземплярам ансамблей $\{A_i\}$ и $\{A'_i\}$ внешних подобных сил, будут подобны в статистическом смысле все механические величины, что и требовалось доказать.

Возможны различные статистические характеристики для различных механических величин, но они будут тождественными для каждой механической величины в отдельности для обоих сопоставляемых ансамблей. Теорема эта придает смысл приведенным выше определениям статистического подобия материалов и конструкций из них.

Допустим теперь, что внешняя нагрузка для оригинала является случайной функцией координат точек тела и времени. Рассмотрим серию реализаций этой случайной функции. Каждая из реализаций случайной нагрузки может рассматриваться как детерминистическая функция от координат и времени. Построив подобную нагрузку для модели мы получим реализацию случайной нагрузки и для нее. Повторяя этот мысленный эксперимент со всеми возможными реализациями случайной функции нагрузок, и также над всеми сходственными экземплярами ансамблей оригиналов и моделей, в смысле изложенном в [1], приходим к утверждению, что статистически подобные случайные нагрузки для ансамблей тел $\{A_i\}$ и $\{A'_i\}$ отличаются между собой теми же множителями подобия как и при детерминистически подобных нагрузках, а статистика их тождественна.

Область применения понятия о статистическом подобии можно существенно расширить, если рассмотреть условия статистического подобия для составных тел. Напомним, что условия подобия для составных тел в обычном смысле были рассмотрены в [2].

Положим, что тело A_i составлено из тел B_{ki} в определенном порядке и определенным способом. По принятой нами символике в упомянутой работе, составные тела A_i условимся изображать в следующей алгебраической форме:

$$A_i = B_{i1} + B_{i2} + \dots + B_{in} + \dots + B_{mi}.$$

Принимаем при этом самый общий случай, когда каждый ансамбль $\{B_{ki}\}$ имеет свои статистические характеристики. Положим далее, что имеем ансамбли $\{B_{ki}\}$, статистически подобные ансамблям $\{B'_{ki}\}$, причем

все множители подобия α , β , γ , τ для всех ансамблей $\{B_k\}$, т. е. при любом k , неизменяемы. Если теперь экземпляры из этих ансамблей скрепить между собой в том же порядке и тем же способом, как тела B_{k1} , то получим составное тело

$$A_l = B_{k1} + B_{k2} + \dots + B_{k\alpha} + \dots + B_{m1}.$$

Возникает вопрос, являются ли теперь ансамбли $\{A_l\}$ и $\{A_l\}$ статистически подобными? На это можно ответить утвердительно. Сходственные элементы ансамблей $\{A_l\}$ и $\{A_l\}$ являются статистически тождественными, стало быть, статистически тождественными являются и сами ансамбли. Кроме того они и подобны в статистическом смысле, поскольку все элементы их составляющие, являются статистически подобными с одними и теми же множителями подобия по условию.

Из построения статистически подобных составных тел A_l и A_l следует, что их результирующие статистические характеристики могут сильно отличаться от статистических характеристик составляющих их тел. Это непосредственно вытекает даже из чисто формальных рассуждений в рамках рассмотренных операций по отбору элементов, поскольку для A_l будут иметь место комбинации различных вероятностей встреч элементов B_{ik} с данными механическими свойствами. Их можно даже подсчитать чисто формально по правилам комбинаторики. Это различие вытекает также и из сущности дела, так как механические характеристики составных тел отличаются от механических характеристик их составляющих. В связи с этим будут изменены и статистические характеристики ансамбля $\{A_l\}$ в сравнении с таковыми для ансамблей $\{B_k\}$.

Интересно отметить, что разброс для случайных величин, отвечающих составным телам, менее нежели разброс для случайных величин их составляющих. Обстоятельство это приводит к более устойчивым прочностным условиям для статистически-неопределимого сооружения в целом, при относительно большем разбросе таковых для их элементов. Полученные здесь выводы могут быть полезными для изучения на моделях статистических характеристик сооружений в натуре.

§ 4. Статистическое подобие при динамических процессах

Динамическое состояние системы отличается от статистического тем, что дополнительно рассматривается сила инерции. Поэтому для обеспечения статистического подобия динамических процессов необходимо лишь одно дополнительное условие, касающееся распределения плотностей в подобных телах. Простейшее условие — это обеспечение детерминистического условия $\dot{r}' = \dot{r}r$, $\dot{r} = \text{const}$ во всех сходственных точках обоих подобных тел в статистическом смысле. Можно пойти на дальнейшее усложнение определения подобия в статистическом смысле для динамических процессов, допуская возможность флуктуации значений $\dot{r}$ в некоторых пределах.

Статистическое подобие динамических процессов удобнее всего описывать с помощью случайных функций, теория которых особенно хорошо разработана для линейных стационарных процессов. Следует подчеркнуть, что все результаты теории подобия автоматически переносятся и на случай подобия в статистическом смысле.

Изложенная теория открывает возможность установления статистических свойств однотипных натурных сооружений путем исследования статистических свойств их моделей, что является по-видимому единственной возможностью исследования таких свойств крупных объектов.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии
АН Армянской ССР

Получено 15.IX.1962

Ա. Գ. ՆԱԶԱՐԵԱՆ

ՊԻԼՈՒՄԱՆԱԿԱՆ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՆՄԱՆՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ
ԿՈՆՍՏՐԱԿՏԻՎՆԵՐԻ ՈՒ ԿՈՍՈՒՅԱԿՆԵՐԻ ՍԵՅՍՄՈՒԿԱՆՈՒԹՅԱՆ
ՄԻՋ ՆՐԱ ԿՐՈՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Հաղորդում 6

Ա. մ. լ. ո. լ. ո. մ.

Սույն հաղորդման մեջ քննարկվում ձևով բերվում է հաղորդում 5-ում
հրատարակված աշխատանքին վերաբերող հեղինակի ուսումնասիրության նոր
արդյունքները նվիրված նմանություն տեսությանը վիճակագրական հոսկացու-
յությունը: Տրվում է պարզ նմանության վիճակագրական հոսկացությունը
քննորոշումը: Ցույց է տրվում, որ արկիմեդիսի և մուկելի նյութի միանման կի-
սերում պարզ նմանության ապահովման համար անհրաժեշտ է որպեսզի
նյութերի ստատիստիկայի երկրաչամական պարամետրները, որոնք քննա-
դրում են նրանց ոչ միատարրությունը արտահայտվի 2 մասշտաբով: Միայն
այս պայմանի ապահովման դեպքում հնարավոր է խույս տալ մասշտաբվին
էֆեկտից: Արտակրից հետևում է պրակտիկայի համար կարևոր մի կարևո-
րություն, այն է՝ մուկելի համար վերցվող ստուգման նմուշները պետք է
տարբերվեն արկիմեդիսի համար վերցվող ստուգման նմուշներից 2 անգամ:
Ցույց է տրվում պեղքերից մեկը, երբ այս պահանջը հնարավոր է մեղմացնել:
Տրվում է վիճակագրական ստուգմով նմանության քննորոշումը ամենադժա-
նուր դեպքում: Ապացուցվում է հետևյալ թեորեման՝ եթե վիճակագրականու-
րան իրար նման մոմենտների անոմալը $[A]$ և $[A']$ բևեռադիրվեն իրար
նման արտաքին ուժերով, ապա հրանցում ստացալով լարումները, զեֆու-
մացիաները, տեղափոխումները և այլ մեխանիկական մեծությունները նույն-
պես կլինեն վիճակագրական տեսակետից իրար նման:

Հիշվում թեորեման հեղադրումը կարող է տարածվել նաև պոտահական
բևեռադիրումների զեպչի վրա, որի համար պահանջվում է միայն, որպեսզի
բևեռադիրումները իրարից տարբերվեն նմանության միանման լարմագրու-
նիքով և նրանց մոտ լինի միանման վիճակագրություն: Թեորեման տարած-

վում է նաև կազմովի մարմինների վրա, միայն թե նրանց միտտիպ տարրերը պետք է լինեն իրար նման՝ նմանություն միանման բաղադրատեղիների անկախության պայքրով, իսկ վիճակադրությունը պետք է արտահայտի նույնություն:

Նարտիքոված անությունը հնարավորություն է տալիս սահմանելու միտտիպ իրական կառուցվածքների վիճակագրական հատկությունները, այդ կառուցվածքների մոդելների վիճակագրական հատկությունների աստիճանական միջոցով, որը համարաբար հանդիսանում է խոշոր օբյեկտների հիշված հատկությունների աստիճանական եղանակի հնարավորությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Նազարով Ա. Գ. «Известия АН Армянской ССР», серия ТН, т. XIV, № 1, 1961.
2. То же, т. X, № 6, 1957.

ПРИКЛАДНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

А. М. МХИТАРЯН

О БРИЗАХ В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА СЕВАН И НЕКОТОРЫХ
РЕЗУЛЬТАТАХ ИХ РАСЧЕТА ПО ФАКТИЧЕСКОМУ
РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ
ПОВЕРХНОСТИ

Сообщение 2

В [7] приведено решение задачи о бризовой циркуляции на основании линеаризованных уравнений гидротермодинамики.

В настоящем сообщении результаты теории сопоставляются с данными наблюдений. Особое внимание уделяется вертикальным токам. [2, 3, 6]. Ветровому режиму оз. Севан и его изучению посвящены также [4, 5, 8, 9]. Многие вопросы освещены в [10]. Известный интерес представляет работа [1]. Список литературы по данному вопросу приведен в [7].

Прежде чем перейти к расчетам, кратко остановимся на полученных формулах.

§ 1. Анализ формул [7]

В [7] предполагается, что распределение температуры и влажности по подстилающей поверхности представлено в виде рядов Фурье (2.5) и (2.6). Ниже будет рассмотрен случай, когда суточный ход этих величин представлен в виде простой синусоиды, то есть $T_n = T_n^* - q_n = q_n - 0$, кроме T_1 и q_1 . Тогда будем иметь

$$\vartheta_0(x, y, t) = T_1(x, y) \sin \omega t,$$

$$q_0(x, y, t) = q_1(x, y) \sin \omega t. \quad (1.1)$$

Для упрощения расчетов примем береговую линию как прямую, достаточно большой длины, тогда ни одна из величин не будет зависеть от y .

Рассмотрим следующие случаи:

- I. $k = \text{const}$, $l = 0$;
- II. $k = \text{const}$, $l \neq 0$;
- III. $k = \text{const}$, $l = 0$;
- IV. $k = \text{const}$, $l \neq 0$;

В случаях I и II ϑ_0 и q_0 определяются выражениями (1.1); В случаях III и IV — выражениями (2.5) и (2.6) из [7].

Случай задания температуры по (1.1) назовем схематизированным, так как (2.5) [7] соответствует фактическому ее распределению. Тогда ясно, что сравнивая случаи I с II и III с IV, получим влияние ускорения Кориолиса, а сравнивая I с III и II с IV легко проследить каково влияние более точного учета температуры подстилающей поверхности.

Если решения из [7], соответствующие всем четырем случаям представить в виде

$$\psi(x, z, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\psi_n(x, z) \cos n\pi t + \psi_n(x, z) \sin n\pi t \right], \quad (1.2)$$

где ψ это θ , q , u , v или ω — попеременно, а ψ_n и $\dot{\psi}_n$ соответствующие им коэффициенты, то расчетные формулы примут вид:

В случае I в силу (2.8), (2.9), (2.18), (2.19) [7]

$$\theta_1 = -T_1(x) e^{-\alpha_1 z} \sin \alpha_1 z, \quad (1.3)$$

$$\dot{\theta}_1 = -T_1'(x) e^{-\alpha_1 z} \cos \alpha_1 z,$$

$$u_1 = -\frac{\lambda z}{4k\alpha_1^2} \frac{\partial T_1}{\partial x} e^{-\alpha_1 z} \cos \alpha_1 z,$$

$$u_1 = -\frac{\lambda z}{4k\alpha_1^2} \frac{\partial T_1}{\partial x} e^{-\alpha_1 z} \sin \alpha_1 z, \quad (1.4)$$

$$v_1 = \dot{v}_1 = 0,$$

$$\omega_1 = -\frac{\lambda e^{-\alpha_1 z}}{8k\alpha_1^4} \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} \left[\alpha_1 z \cos \alpha_1 z - (1 + \alpha_1^2 z^2) \sin \alpha_1 z \right],$$

$$\dot{\omega}_1 = \frac{\lambda e^{-\alpha_1 z}}{8k\alpha_1^4} \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} \left[e^{-\alpha_1 z} - \left[(1 + \alpha_1^2 z^2) \cos \alpha_1 z + \alpha_1 z \sin \alpha_1 z \right] \right].$$

В случае II в силу (2.8), (2.9), (3.10), (3.11), (3.12) [7],

$$u_2 = \frac{\lambda}{4\alpha_1 l} \frac{\partial T_1}{\partial x} \left[(\cos \alpha_1 z - \sin \alpha_1 z) e^{-\alpha_1 z} - (\cos b_1 z + \sin b_1 z) e^{-b_1 z} \right],$$

$$u_2 = \frac{\lambda}{4\alpha_1 l} \frac{\partial T_1}{\partial x} \left[(\cos \alpha_1 z + \sin \alpha_1 z) e^{-\alpha_1 z} - (\cos b_1 z - \sin b_1 z) e^{-b_1 z} \right], \quad (1.5)$$

$$v_2 = -\frac{\lambda}{4\alpha_1 l} \frac{\partial T_1}{\partial x} \left[(\cos \alpha_1 z + \sin \alpha_1 z) e^{-\alpha_1 z} - (\cos b_1 z + \sin b_1 z) e^{-b_1 z} - \right. \\ \left. - 2(\cos \alpha_1 z + \sin \alpha_1 z) e^{-\alpha_1 z} \right],$$

$$\dot{v}_2 = \frac{\lambda}{4\alpha_1 l} \frac{\partial T_1}{\partial x} \left[(\cos \alpha_1 z - \sin \alpha_1 z) e^{-\alpha_1 z} + (\cos b_1 z - \sin b_1 z) e^{-b_1 z} - \right. \\ \left. - 2(\cos \alpha_1 z - \sin \alpha_1 z) e^{-\alpha_1 z} \right].$$

$$w_1 = - \frac{\lambda}{4\sigma_1 b_1 l} \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} \left[\frac{\partial_1}{a_1} e^{-a_1 z} \sin a_1 z + 0 - \sin b_1 z e^{-b_1 z} \right] - 1 + \cos b_1 z$$

$$w_2 = - \frac{\lambda}{4\sigma_1 b_1 l} \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} \left[\frac{b_1}{a_1} (1 - e^{-a_1 z} \cos a_1 z) - 1 + \cos b_1 z e^{-b_1 z} \right] + 0 - \sin b_1 z$$

Решение для температуры в случае II совпадает с (1.3).

Здесь также, как и в [7], верхние знаки в скобках при $e^{-a_1 z}$ и верхние выражения в последних скобках берутся при $\omega > l$, нижние — $\omega < l$.

В случае III в силу (2.8), (2.9), (2.18), (2.19) и (2.5) [7].

$$v_n = e^{-n^2 z} (T_n \cos \sigma_n z - T_n' \sin \sigma_n z),$$

$$v_n = e^{-n^2 z} (T_n \sin \sigma_n z + T_n' \cos \sigma_n z),$$

$$u_n = - \frac{i z e^{-n^2 z}}{4k \sigma_n^2} \left(\frac{\partial T_n'}{\partial x} \cos \sigma_n z + \frac{\partial T_n}{\partial x} \sin \sigma_n z \right). \quad (1.6)$$

$$u_n = - \frac{i z e^{-n^2 z}}{4k \sigma_n^2} \left(\frac{\partial T_n}{\partial x} \cos \sigma_n z - \frac{\partial T_n'}{\partial x} \sin \sigma_n z \right).$$

$$\omega_n = \frac{\lambda}{8k \sigma_n^4} \left\{ \Delta T_n - e^{-n^2 z} \left[\left(\Delta T_n + \sigma_n z \Delta (T_n + T_n') \right) \cos \sigma_n z - \left(\Delta T_n' + \sigma_n z \Delta (T_n - T_n') \right) \sin \sigma_n z \right] \right\}. \quad (1.7)$$

$$\omega_n = \frac{\lambda}{8k \sigma_n^4} \left\{ \Delta T_n - e^{-n^2 z} \left[\left(\Delta T_n + \sigma_n z \Delta (T_n - T_n') \right) \sin \sigma_n z + \left(\Delta T_n' + \sigma_n z \Delta (T_n + T_n') \right) \cos \sigma_n z \right] \right\}.$$

В частности, решения (1.6) и (1.7) совпадают с (1.3) и (1.4) при $T_n = T_n' = 0$, кроме $T_n \neq 0$.

В случае IV в силу (2.8), (2.9), (3.10) — (3.12) и (2.5) [7].

$$u_n = \frac{\lambda}{4l \sigma_n} \left[\frac{\partial}{\partial x} (T_n + T_n') (e^{-a_n z} \cos a_n z - e^{-b_n z} \cos b_n z) + \frac{\partial}{\partial x} (T_n - T_n') (e^{-a_n z} \sin a_n z + e^{-b_n z} \sin b_n z) \right],$$

$$u_n = \frac{\lambda}{4l \sigma_n} \left[\frac{\partial}{\partial x} (T_n + T_n') (e^{-a_n z} \sin a_n z + e^{-b_n z} \sin b_n z) - \frac{\partial}{\partial x} (T_n - T_n') (e^{-a_n z} \cos a_n z - e^{-b_n z} \cos b_n z) \right]. \quad (1.8)$$

$$v_n = \frac{\lambda}{4l \sigma_n} \left[\frac{\partial}{\partial x} (T_n - T_n') (e^{-a_n z} \cos a_n z + e^{-b_n z} \cos b_n z - 2e^{-n^2 z} \cos \sigma_n z) - \right.$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{\partial}{\partial x} (T_n + T_n) (e^{-a_n z} \sin a_n z \pm e^{-b_n z} \sin b_n z - 2e^{-\gamma_n z} \sin \sigma_n z) \Big|, \\
v_n = & \frac{h}{4l z_n} \left[\frac{\partial}{\partial x} (T_n - T_n) (e^{-a_n z} \sin a_n z \pm e^{-b_n z} \sin b_n z - 2e^{-\gamma_n z} \sin \sigma_n z) + \right. \\
& \left. + \frac{\partial}{\partial x} (T_n + T_n) (e^{-a_n z} \cos a_n z + e^{-b_n z} \cos b_n z - 2e^{-\gamma_n z} \cos \sigma_n z) \right], \\
w_n = & - \frac{i \Delta T_n}{4l b_n z_n} \left[\frac{\partial}{\partial n} (1 - e^{-a_n z} \cos a_n z) - 1 + \cos b_n z e^{-b_n z} \right] - \quad (1.9) \\
& + 0 - \sin b_n z \\
& - \frac{i \Delta T_n}{4l b_n z_n} \left[\frac{\partial}{\partial n} e^{-a_n z} \sin a_n z - 0 - \sin b_n z e^{-b_n z} \right] - \\
& + 1 + \cos b_n z
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\omega_n = & \frac{i \Delta T_n}{4l b_n z_n} \left[\frac{\partial}{\partial n} e^{-a_n z} \sin a_n z - 0 - \sin b_n z e^{-b_n z} \right] - \quad (1.10) \\
& + 1 - \cos b_n z \\
& - \frac{i \Delta T_n}{4l b_n z_n} \left[\frac{\partial}{\partial n} (1 - e^{-a_n z} \cos a_n z) - 1 + \cos b_n z e^{-b_n z} \right] - \\
& + 0 - \sin b_n z
\end{aligned}$$

Решение для температуры в случае IV совпадает с (1.6).

Здесь как и прежде верхние знаки и выражение соответствуют случаю $n\omega > l$, нижние — $n\omega < l$.

Найдем высоты, на которых элементы бриза (температура, влажность, составляющие скорости) достигают максимального значения. Эти высоты зависят, конечно, от времени. Из (1.2) имеем

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\partial \varphi_n}{\partial z} \Big|_{z_m} \cos n\omega t_\phi + \frac{\partial \varphi_n}{\partial z} \Big|_{z_m} \sin n\omega t_\phi \right) = 0, \quad (1.11)$$

Из этого выражения определяется высота, на которой элемент достигает максимума (обозначим ее через z_m) для данного фиксированного момента времени t_ϕ .

Для случая I согласно (1.3) и (1.4) имеем

$$\left. \operatorname{tg} \omega t_\phi \right|_m = \frac{\operatorname{tg} \sigma_1 z_m - 1}{\operatorname{tg} \sigma_1 z_m + 1}, \quad (1.12)$$

$$\left. \operatorname{tg} \omega t_\phi \right|_m = \frac{1 - \sigma_1 z_m (1 + \operatorname{tg} \sigma_1 z_m)}{\operatorname{tg} \sigma_1 z_m + \sigma_1 z_m (1 - \operatorname{tg} \sigma_1 z_m)}, \quad (1.13)$$

$$\operatorname{tg} \omega t_{\phi, \omega} = - \operatorname{ctg} \sigma_1 z_m. \quad (1.14)$$

Для случая II, согласно (1.3) и (1.5) получим для температуры (1.12), а для скоростей:

$$\left. \operatorname{tg} \omega t_{\phi, u} \right|_m = - \frac{a_1 e^{-a_1 z_m} \cos a_1 z_m - b_1 \cos b_1 z_m e^{-b_1 z_m}}{a_1 e^{-a_1 z_m} \sin a_1 z_m - b_1 \sin b_1 z_m e^{-b_1 z_m}}, \quad (1.15)$$

$$\operatorname{tg} \omega t_{\phi/v} = \frac{a_1 e^{-a_1 z_m} \sin a_1 z_m - 2a_1 e^{-a_1 z_m} \sin a_1 z_m + b_1 e^{-b_1 z_m} \sin b_1 z_m}{a_1 e^{-a_1 z_m} \cos a_1 z_m - 2a_1 e^{-a_1 z_m} \cos a_1 z_m + b_1 e^{-b_1 z_m} \cos b_1 z_m}, \quad (1.16)$$

$$\operatorname{tg} \omega t_{\phi/w} = - \frac{e^{-a_1 z_m} (\cos a_1 z_m - \sin a_1 z_m) - e^{-b_1 z_m} (\cos b_1 z_m + \sin b_1 z_m)}{e^{-a_1 z_m} (\cos a_1 z_m + \sin a_1 z_m) - e^{-b_1 z_m} (\cos b_1 z_m \pm \sin b_1 z_m)}. \quad (1.17)$$

Для случаев III и IV уравнения для определения $z_m = z_m(t_\phi)$ будут иметь вид (1.11). Некоторые из этих уравнений, как например, (1.12) и (1.14), решаются аналитически, остальные можно решить графически. Задаваясь различными значениями $a_1 z_m$, на основании полученных формул легко построить зависимость вида

$$\omega t_\phi = f(z_1 z_m). \quad (1.18)$$

По кривой (1.18), легко определить z_m .

Исходя из (1.2), можно найти момент наступления максимального значения данного элемента бриза t_m на данной фиксированной высоте z_ϕ , из выражения:

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} \Big|_{t=t_m} = \sum_{n=1}^{\infty} n\omega [-\psi_n(x, z_\phi) \sin n\omega t_m + \psi_n(x, z_\phi) \cos n\omega t_m] = 0. \quad (1.19)$$

В частности, в силу (1.19) для случая I получим

$$\operatorname{tg} \omega t_{m/\phi} = -\operatorname{ctg} z_1 z_\phi, \quad \omega t_m = z_1 z_\phi + \pi/2, \quad (1.20)$$

$$\operatorname{tg} \omega t_{m/u} = \operatorname{tg} z_1 z_\phi, \quad \omega t_m = z_1 z_\phi, \quad (1.21)$$

$$\operatorname{tg} \omega t_{m/w} = \frac{1 - e^{-a_1 z_\phi} [(1 + z_1 z_\phi) \cos a_1 z_\phi + a_1 z_\phi \sin a_1 z_\phi]}{e^{-a_1 z_\phi} [(1 + a_1 z_\phi) \sin a_1 z_\phi - a_1 z_\phi \cos a_1 z_\phi]}. \quad (1.22)$$

Определим угол наклона α ветра, отсчитанный от нормали к берегу у поверхности земли.

Как известно, этот угол определяется из соотношения

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{u} \Big|_{z=0}. \quad (1.23)$$

Для случая I по (1.4), для случая II по (1.5) получается неопределенность. Раскрывая ее по общему способу, получаем $\alpha = 0$ для случая I. Для случая II получаем:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a_1 - b_1}{(a_1 + b_1 - 2a_1) \operatorname{tg} \omega t}, \quad \varphi < 30', \quad (1.24)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a_1 - b_1 \operatorname{tg} \omega t}{-b_1 + (a_1 - 2a_1) + \operatorname{tg} \omega t}, \quad \varphi > 0',$$

где φ — широта местности.

В первом случае когда $\alpha = 0$ бриз дует все время по нормали к берегу, днем с озера, ночью — с суши. Ветер усиливается днем, дости-

гает наибольшего значения к вечеру, затем начинает ослабевать, переходит через ноль и начинает усиливаться в обратном направлении, при этом меняется лишь величина скорости ветра, направление же останется неизменным. Наблюдения этот вывод не подтверждают.

В случае II получено $\alpha = \alpha(t)$, т. е. с течением времени изменяется не только скорость ветра, но и его направление согласно формулам (1.24). Полученные здесь результаты совпадают с данными [6].

Поступая также как и ранее, получаем для случая III $\alpha = 0$, а для случая IV:

$$\lg \alpha = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} (x_n \cos n\omega t + \alpha_n \sin n\omega t)}{\sum_{n=1}^{\infty} (p_n \cos n\omega t + \beta_n \sin n\omega t)}; \quad (1.25)$$

$$x_n = \left(2 - \frac{a_n + b_n}{\sigma_n}\right) \frac{\partial T_n}{\partial x}; \quad \alpha_n = \left(2 - \frac{a_n + b_n}{\sigma_n}\right) \frac{\partial T'_n}{\partial x};$$

$$p_n = -\frac{a_n - b_n}{\sigma_n} \frac{\partial T}{\partial x}; \quad \beta_n = \frac{a_n - b_n}{\sigma_n} \frac{\partial T'_n}{\partial x}; \quad \varphi < 30^\circ. \quad (1.26)$$

$$x_n = \left(2 - \frac{a_n}{\sigma_n}\right) \frac{\partial T_n}{\partial x} + \frac{b_n}{\sigma_n} \frac{\partial T'_n}{\partial x}; \quad \alpha_n = \left(2 - \frac{a_n}{\sigma_n}\right) \frac{\partial T'_n}{\partial x} - \frac{b_n}{\sigma_n} \frac{\partial T_n}{\partial x};$$

$$p_n = \frac{1}{\sigma_n} \left(b_n \frac{\partial T_n}{\partial x} - a_n \frac{\partial T'_n}{\partial x}\right); \quad \beta_n = \frac{1}{\sigma_n} \left(a_n \frac{\partial T_n}{\partial x} + b_n \frac{\partial T'_n}{\partial x}\right); \quad \varphi > 30^\circ. \quad (1.26^1)$$

Определим момент наступления бриза из следующего условия

$$\left. \frac{du}{dz} \right|_{z=0} = 0. \quad (1.27)$$

Для случая I, согласно (1.4) и (1.2), получим

$$\cos \omega t_0 = 0, \quad \omega t_0 = \pi/2. \quad (1.28)$$

Иначе говоря запаздывание хода ветра по отношению к температурному независимо от широты составляет 6 часов [6].

Для случая II согласно (1.5), имеем

$$\omega t_0 = \pi/2 \quad \varphi < 30^\circ; \quad \omega t_0 = \arctg \frac{a_1}{b_1}; \quad \varphi > 30^\circ. \quad (1.29)$$

Эти результаты также совпадают с данными [6].

Для случая III согласно (1.7), имеем

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\sigma_n} \left(-\frac{\partial T_n}{\partial x} \cos n\omega t + \frac{\partial T'_n}{\partial x} \sin n\omega t \right) = 0. \quad (1.30)$$

Наконец, для случая IV согласно (1.8), имеем

$$\sum_{n=1}^{\infty} (\beta_n \cos n \omega t + \beta'_n \sin n \omega t) = 0, \quad (1.31)$$

причем β_n , β'_n имеют вид (1.26) для $\varphi < 30^\circ$ и (1.26') при $\varphi > 30^\circ$.

§ 2. Расчет бризов при синусоидальном ходе температуры поверхности (случаи I и II)

Как оговорено выше, температура подстилающей поверхности в этом случае имеет вид

$$\theta_0(x, t) = T_1(x) \sin \omega t. \quad (2.1)$$

Основной недостаток этой схемы заключается в том, что суточный ход θ_0 имеет один и тот же вид для всех x , отличается лишь амплитудой. Наблюдения не подтверждают этого. Рассмотрим схему (2.1), простую для выкладок и удобную для сравнений. Ниже будет рассмотрен случай расчета при фактическом распределении θ_0 .

Как показано в [17] из [7] $T_1(x)$ можно задать в виде гиперболического тангенса. Тогда используя наиболее характерные значения температуры поверхности воды озера Севан и суши в его бассейне, положим

$$\theta_0 = (2,8 + 2,2 \tanh x) \sin \omega t. \quad (2.2)$$

На больших расстояниях от берега (x направлена от озера в сторону суши) получается для суши $\theta_{\text{суши}} = -5^\circ\text{C}$, в то время, как на центральных частях озера — $\pm 0,6^\circ\text{C}$, т. е. суточная амплитуда температуры суши принята равной 10°C , а поверхности воды — $1,2^\circ\text{C}$.

Имея θ_0 или

$$T_1(x) = 2,8 + 2,2 \tanh x, \quad (2.3)$$

по (1.3) и (1.4) легко вычислить соответствующие коэффициенты для случая I и по (1.3), (1.5) — для случая II. По формуле

$$\psi = \psi_1 \cos \omega t + \psi_2 \sin \omega t \quad (2.4)$$

определяются элементы бриза.

При числовых расчетах примем

$$\lambda = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ м сек}^{-1} \text{ град}^{-1}; k = 3,64 \text{ м}^2 \text{ сек}^{-1};$$

$$\varepsilon = 10^{-4} \text{ м}^{-1}.$$

Тогда по формуле (2.7) из [7] при $n=1$ получим

$$\sigma_1 = 0,316 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-1}.$$

Необходимые для расчета величины представлены в табл. 1.

Результаты расчета для случаев I и II представлены на рисунках 1—6.

На рис. 1 представлены профили; а на рис. 2 — суточный ход отклонений температуры на берегу (δ) и на расстоянии 0,5 км от берега по обе его стороны — над озером (α) и над сушей (α). Для цен-

Таблица 1

Температура поверхности и ее производные для различных точек

x	-2,0	-1,0	-0,5	-0,1	-0,01	0	0,01	0,1	0,5	1,0	2,0
$x, \text{ км}$	-20	-10	-5	-1	-0,1	0	0,1	1	5	10	20
$T_1, ^\circ\text{C}$	0,68	1,20	1,78	2,58	2,78	2,80	2,82	3,02	3,82	3,88	4,92
$\partial T_1 / \partial x \cdot 10^4$	0,15	0,92	1,73	2,18	2,20	2,20	2,20	2,18	1,73	0,92	0,15
$\partial^2 T_1 / \partial x^2 \cdot 10^8$	0,299	1,410	1,600	0,436	0,044	0,0	-0,044	0,436	-1,600	-1,410	-0,299

Таблица 2

Суточный ход температуры подстилающей поверхности в различных пунктах в $^\circ\text{C}$

$x, \text{ км}$	мф в часах											
	7	9	11	13	15	17	19	21	23	1	3	5
-23	-0,4	-0,2	0,4	0,7	0,8	0,4	0,1	0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,6
-0,6	-0,6	0,1	0,7	0,9	1,0	0,8	-0,1	-0,2	-0,3	-0,6	-0,8	-0,9
-0,1	-0,7	0,2	0,9	1,3	1,1	0,6	-0,1	-0,3	-0,4	-0,7	-0,9	-1,0
0,1	-7,4	0	8,5	13,6	13,2	9,0	-0,6	-3,8	-5,9	-7,4	-9,6	-9,6
10	-5,4	4,0	13,0	15,0	15,5	5,0	-2,9	-6,5	-8,6	-9,3	-10,3	-10,4

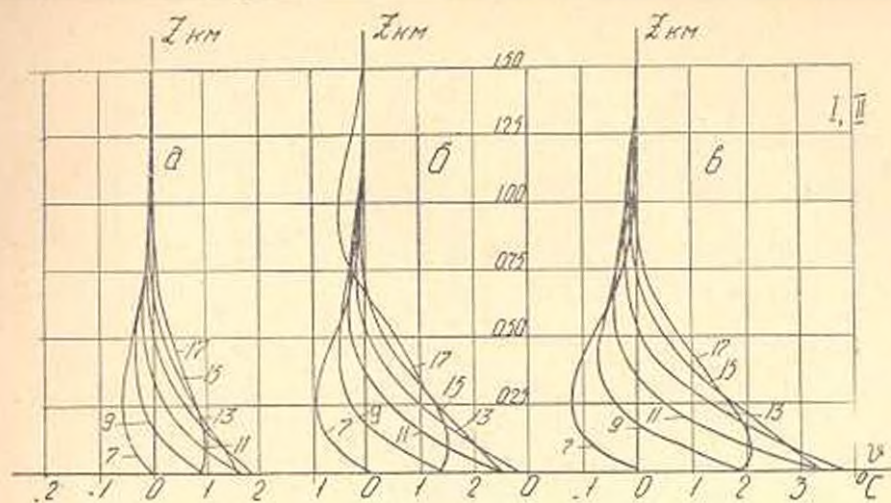


Рис. 1. Температурные кривые на различных часах суток. а—озеро; б—берег; в—суша.

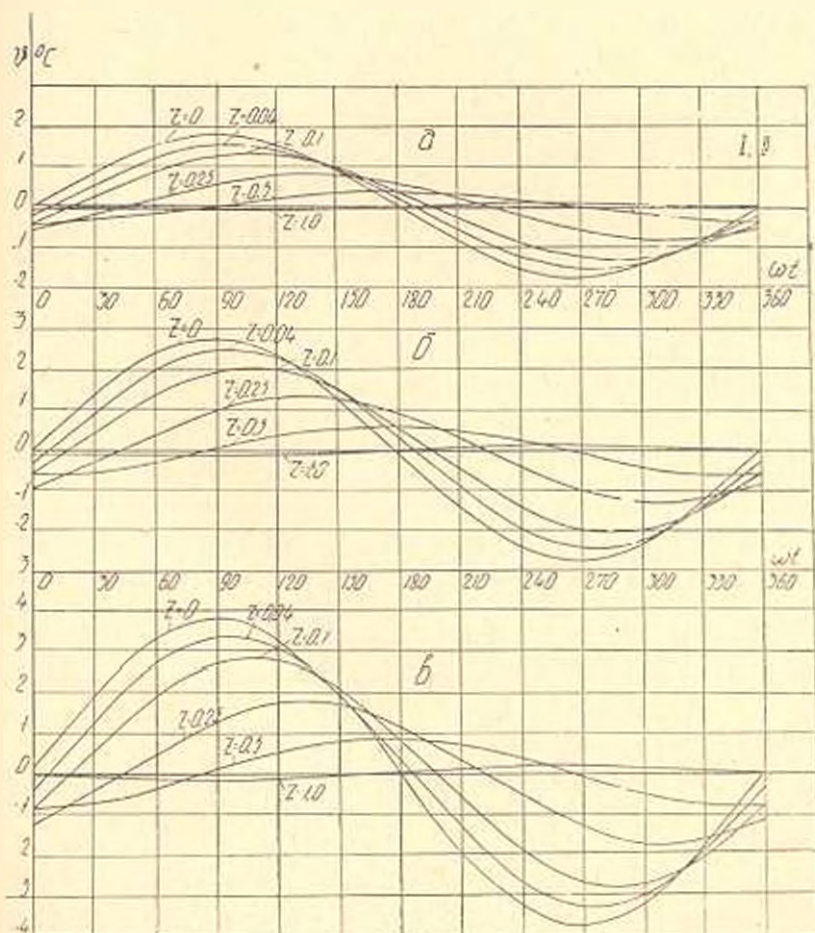


Рис. 2. Суточный ход температуры на различных высотах.

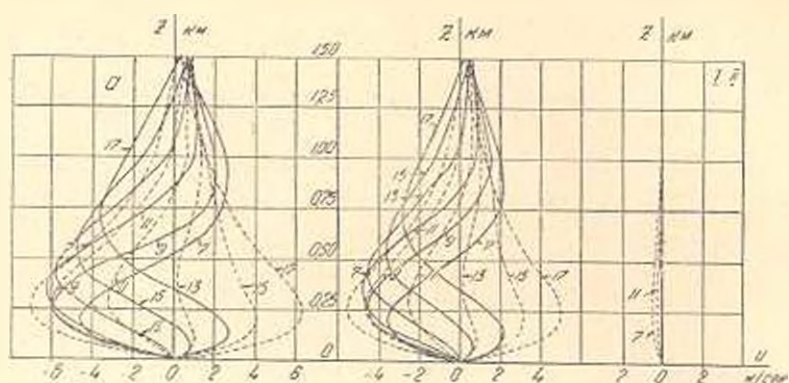


Рис. 3. Профили скорости u в пунктах наблюдения. Сплошные кривые при $l = 0$; пунктирные — при $l \neq 0$.

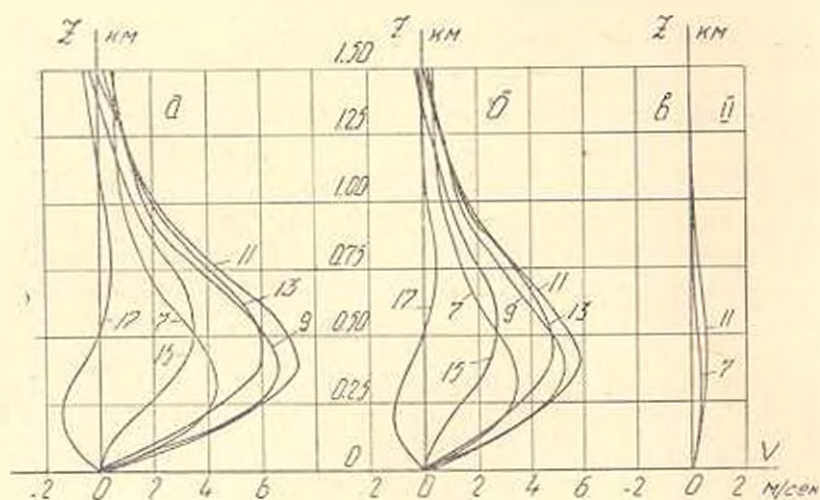


Рис. 4. Профили скорости v в пунктах наблюдения при $l \neq 0$.

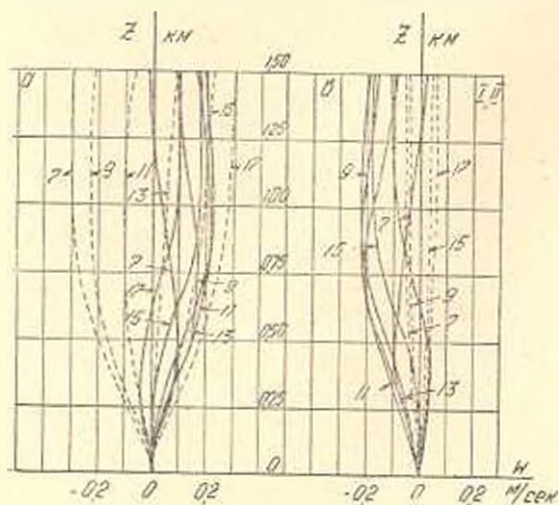


Рис. 5. Изменение вертикальных токов на различных высотах пунктов наблюдения.

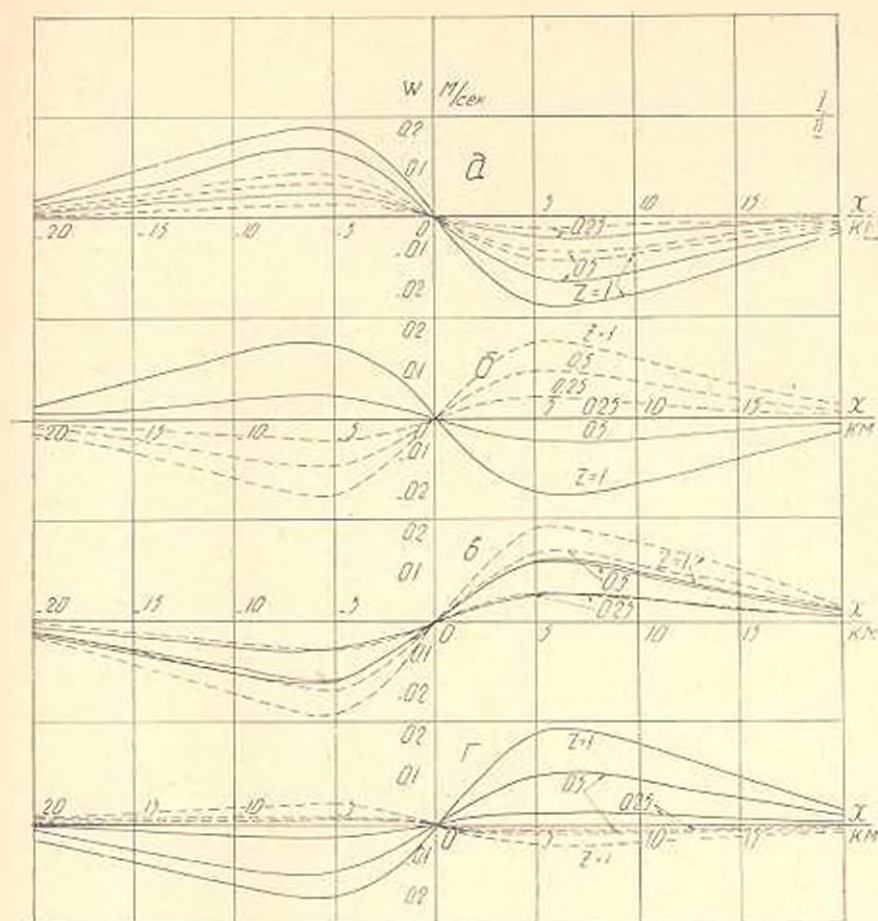


Рис. 6. Изменение вертикальных токов на различных высотах при $t=0$ (сплошные линии) и $t \neq 0$ (пунктирные линии) в моменты времени: а — 11 часов, б — 15 часов, в — 21 час, г — 1 час ночи.

тральных частей озера графики имеют такой же вид, но со значительно меньшими амплитудами отклонения, что легко усмотреть из данных табл. 1. На рисунках 3—5 представлены профили составляющих скорости ветра в различные моменты времени, а на рис. 6 — развитие вертикальных токов в пространстве и во времени. На графиках сплошные кривые (кроме рис. 4) соответствуют случаю $t=0$, а пунктирные — случаю, когда учитывается ускорение Кориолиса.

§ 3. Расчет бризов по фактическому распределению температуры подстилающей поверхности (случаи III и IV)

В рассматриваемом случае расчетная формула для любого элемента бриза описывается (1.2), причем коэффициенты определяются по (1.6) и (1.7) для случая III и (1.6), (1.8), (1.9) и (1.10) — для случая IV. Необходимо лишь знать T_n , T_1 , q_n , q_1 . Перейдем к их определению.

В летнее время, в дни хорошо развитой бризовой циркуляции на оз. Севан, были организованы специальные экспедиционные работы с целью изучения трансформации воздушного потока при переходе с суши на воду и наоборот.

Были выбраны следующие пять пунктов наблюдений: суточная станция в центральной части Большого Севана, в 23 км от берега, где стоял на дрейфе катер; специально оборудованный плот, на расстоянии 0,6 км от берега; плот в прибрежной мелководной части; на суше, недалеко от берега, с растительным покровом (территория лишь недавно вышла из-под воды озера, в связи со снижением его уровня) и, наконец, вдали от озера, на расстоянии почти 10 км от берега. Эти пункты были расположены на прямой—в створе центр озера—село Мазра.

В указанных пунктах проводились одновременные двенадцатичасовые наблюдения, во время которых измерялись температура воды, величина и направление скорости ветра, температура и влажность воздуха, фиксировалась облачность и т. д., причем каждое наблюдение проводилось непрерывно в течение часа. В двух пунктах—на плоту и на берегу были установлены мачты, высотой 12 м, на которых были смонтированы электроконтактные анемометры на высотах 0,5; 1; 2; 4; 8; и 12 м, показания которых записывались самописцами. Это давало возможность изучать распределение скорости ветра и слое до 12 м причем отдельно рассматривались профили ветра для различных его направлений. Скорость ветра в пунктах, где не было градиентных мачт, измерялась ручным анемометром, установленным на высоте 2 м, причем ручные и электроконтактные анемометры, а также другие приборы проверялись до наблюдений.

Полученные синхронные данные температуры поверхности осреднялись с целью получения среднего суточного хода отклонений температуры при развитой бризовой циркуляции, когда другие местные ветры (фöhn, горнодолинные) и общий поток мало влияли на эту циркуляцию. Полученные данные приведены в табл. 2.

Данные табл. 2 показывают, что суточный ход температуры поверхности существенно различен в различных пунктах, поэтому нельзя этот ход принимать подобным во всех точках оси x , как это сделано в случаях I и II. Здесь явно видно, во-первых, что суточная амплитуда колебаний наибольшая для суши, вдали от берега и наименьшая—для центральной глубоководной части озера. Во-вторых, если максимальная температура в Мазре ($x = 10^4$ м) наступает в 12—13 часов, на берегу—13—14 часов, то в центре озера—в 15 часов и позже. В остальных точках максимум наступает между 12 и 16 часами, причем это запаздывание закономерно увеличивается при движении в обратном направлении оси x . Мы задались целью определить влияние этого фактора на развитие бриза. Для этого каждая строка табл. 2 была разложена в ряд Фурье по времени, а полученные таким обра-

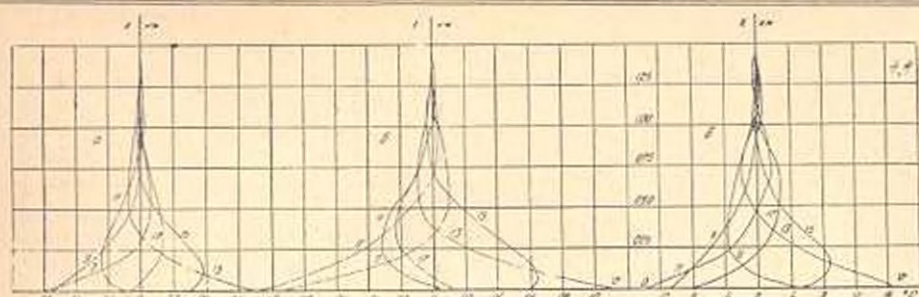


Рис. 7. Отклонения температуры в пунктах наблюдения: а — озеро; б — берег; в — суша.

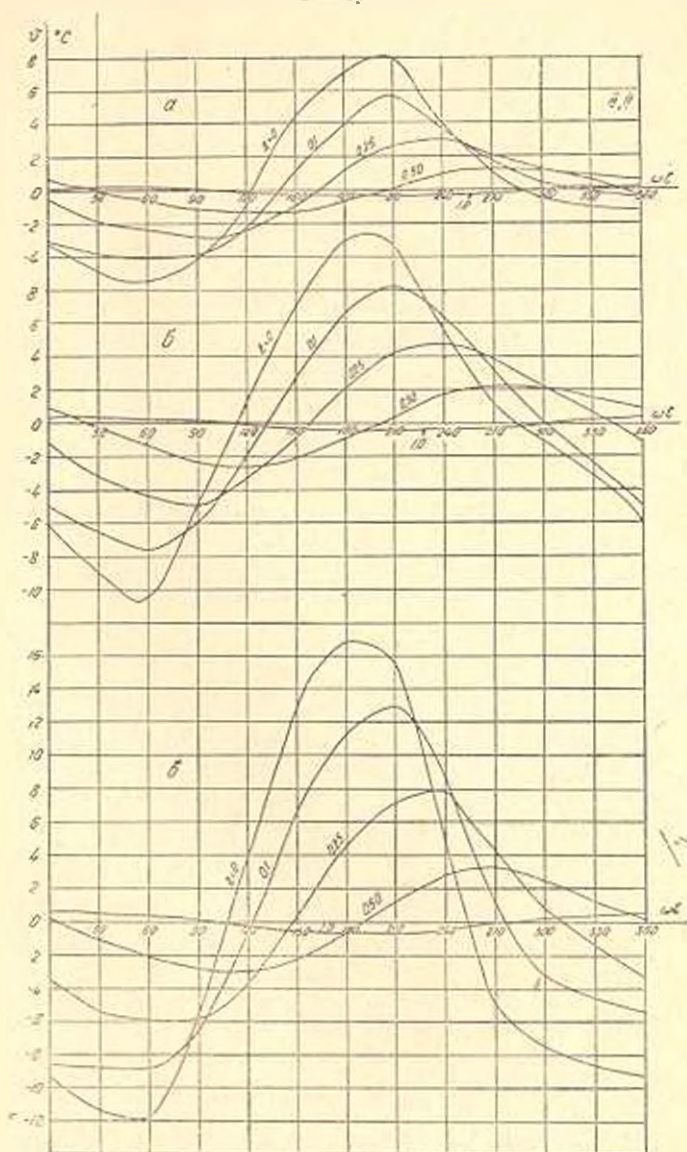


Рис. 8. Графики температуры на различных высотах пунктов наблюдения.

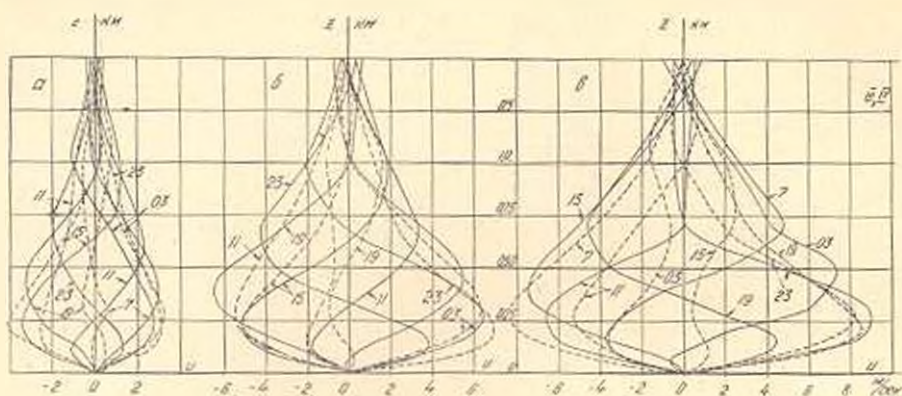


Рис. 9. Профили скорости u в пунктах наблюдения при $l=0$ (сплошные линии) и $l \neq 0$.

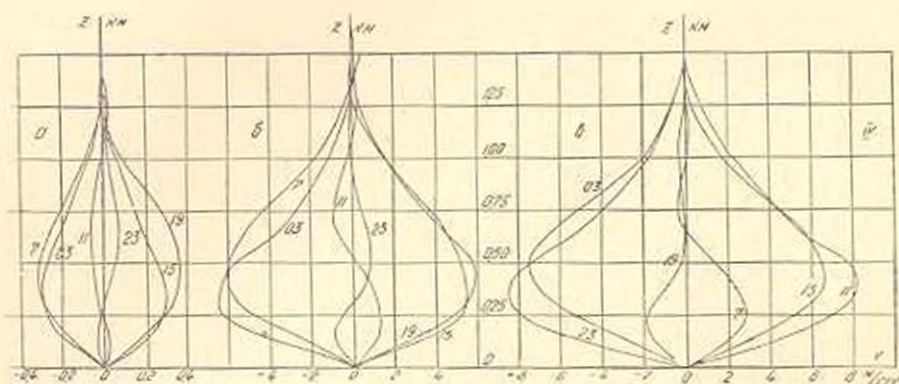


Рис. 10. Профили скорости v в пунктах наблюдения при $l \neq 0$.

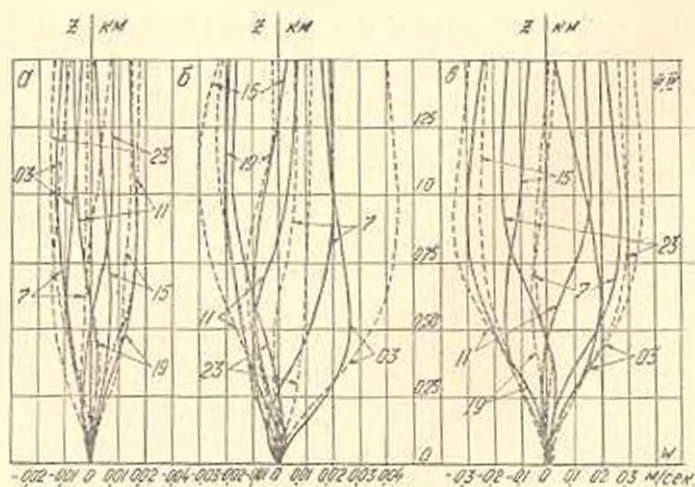


Рис. 11. Изменение вертикальных токов по высоте при $l=0$ (сплошные линии) и $l \neq 0$.

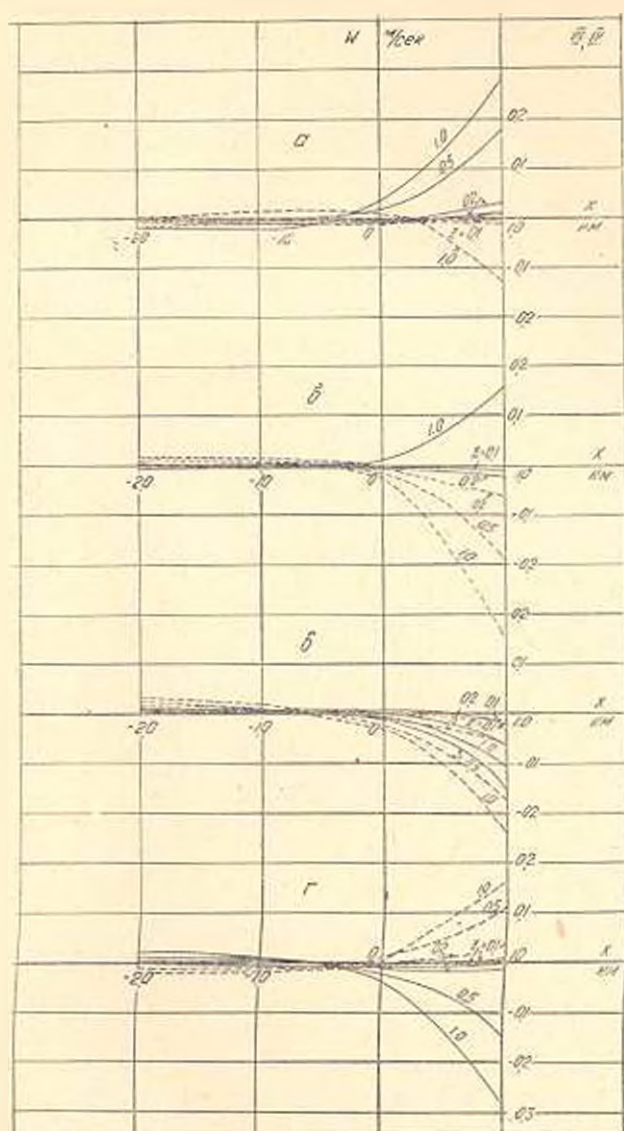


Рис. 12. Изменение вертикальных токов на различных высотах по горизонтали в моменты времени: а—11 часов; б—15 часов; в—21 час; г—1 час ночи.

зом коэффициенты $T_n(x)$ и $T_n^*(x)$, зависящие от x — разложены в ряд по x . Для расчетов было взято $n=12$. Полученные результаты сводились в специальные таблицы с двумя входами (n и x) и были использованы в примерах расчета, соответствующих случаям III и IV. Результаты расчетов приведены на рисунках 7—13.

§ 4. Краткий анализ полученных результатов

1. Как показывают графики на рисунках 1, 3—5, бриз охватывает слой немногим более километровой высоты. На высотах имеется

течение обратного направления, правда с меньшими скоростями. Вертикальные токи хотя и не затухают с высотой, но обнаруживают максимум на некоторых высотах, различных в различные моменты времени. Для отрицательных значений x (над озером) картина для u повторяется как по величине, так и по направлению, в то время, когда для w величины совпадают, а направление — обратное.

На рис. 3 и 4 хорошо видно, как бриз быстро затухает при удалении от берега. Рис. 6 показывает, что вертикальные токи изменяют свой знак над самой береговой чертой, где они обращаются в ноль.

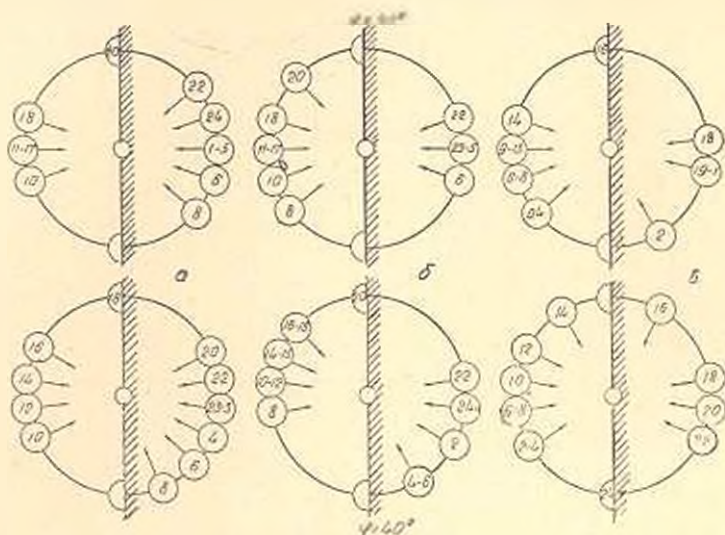


Рис. 13. Суточный ход направления ветра в пунктах наблюдения (а—озеро, б—берег, в—суша). В кружочках указано время в часах.

2. Сравнение этих рисунков показывает, что даже в простом случае (случай I) видна роль ускорения Кориолиса. Пунктирные кривые на рис. 3, 5 и 6 и график на рис. 3 значительно более близки к действительности, чем сплошные.

Появление составляющей скорости v по оси y является следствием учета ускорения Кориолиса. Правда, и в случае I можно было получить $v \neq 0$ за счет того, что береговая черта не прямая и производные по y отличны от нуля. Но все же поворот бриза и зависимости от времени в основном объясняется влиянием ускорения Кориолиса. Такая же картина получается и при более точном учете температуры подстилающей поверхности. В этом случае соответствие с фактическими данными значительно лучше.

3. Как показывают (1.28) и (1.29), запаздывание хода ветра от хода температуры составляет 6 часов для случая I и для случая II при $\varphi < 30^\circ$, независимо от широты. При $\varphi > 30^\circ$ запаздывание зависит от широты. Для условий озера Севан запаздывание получается равными 4 ч. 40 мин.

4. Угол наклона ветра у поверхности земли для случаев I и III $\alpha = 0$, для случаев II и IV этот угол определяется по (1.24) и (1.25).

5. Перепишем формулу (3.7) из [7], подставляя значение l . Пользуясь (2.7) из [7], получим

$$b_n = a_n \sqrt{1 - \frac{2}{n} \sin \varphi} \quad (4.1)$$

Как показывает (4.1) для всех $n \geq 2$ b_n имеет действительное значение на всех широтах. Это означает, что все волны с $n \geq 2$ с высотой затухают, кроме волны с $n=2$ на полюсе, где $\varphi=90^\circ$ и $b_n=0$. При $n=1$ (суточная волна) $b_n=0$ при $\varphi=30^\circ$. Этот результат был получен в [6] и верен лишь для волны с суточным периодом.

6. Момент наступления бриза для случая III определяется из (1.30), для случая IV — из (1.31).

Полученные формулы показывают любопытный результат. Момент наступления бриза и угол наклона нетра зависят от x . Этот результат не мог быть получен в случае I — простейшей схеме представления температуры подстилающей поверхности в виде одной синусоиды с амплитудой, зависящей от x . Расчеты показывают, что $t_0=6$ часов для случая I по всей оси x . В случае III бриз сначала возникает на суше, затем на озере и на берегу почти одновременно. Для случая $l \neq 0$ момент наступления бриза зависит от φ и x .

Расчеты показывают, что наилучшее совпадение с наблюдениями имеет место в случае IV. Здесь бриз возникает на суше почти на 2 часа раньше, чем на озере и еще через час он появляется на берегу.

7. Вычисленные значения угла наклона α в случае IV представлены на рис. 13 для условий озера Севан ($\varphi=40^\circ$) и по данным озера Севан, но при другой широте ($\varphi=20^\circ$). Как показывает график, явно выраженный озерный бриз имеет место с 10 до 16 часов, береговой бриз — с 22 до 6 часов. Если на берегу ветер дует вдоль берега в 20 и 7 часов, то на озере ветер имеет указанное направление в 18 и 9 часов, а на суше в 15 и 24 часов.

8. Наибольший интерес представляют результаты расчетов вертикальных токов (рис. 6 и 12). Если сравнение случаев I с II (рис. 6) и случаев III с IV (по фактической температуре, рис. 12) указывает на влияние ускорения Кориолиса, приводящего, лишь к некоторому сдвигу картины во времени, то сравнение случаев I с III ($l=0$) или случаев II с IV ($l=0$) приводит к выяснению роли более точного учета температуры подстилающей поверхности. В этом последнем случае (рис. 12) перемена знаков вертикальных токов, направленных вниз над озером и вверх над сушей днем и, наоборот, вверх над озером и вниз над сушей ночью, происходит не над самой береговой чертой, как это было в случаях I и II (рис. 6), а над озером. Кроме того, вертикальные токи над сушей по величине значительно превосходят таковые над озером. Это дает объяснение довольно интенсивному облакообразованию днем над сушей, тогда как над озером ночью наблюдается слабое развитие об-

лаков. Этот факт подтверждается прямыми наблюдениями в бассейне озера Севан.

9. Хотя вертикальные токи с высотой не затухают (порядок системы уравнений не позволяет налагать на них такое условие), а стремятся к некоторому пределу, все же они обнаруживают максимальные значения на конечных высотах, различных для разных моментов времени. По-видимому на этих высотах и происходит интенсивное развитие облаков.

В заключение отметим, что учет ускорения Кориолиса и более точного распределения температуры подстилающей поверхности позволяет получить ряд выводов, хорошо согласующихся с наблюдениями.

Институт водных проблем
Академии наук Армянской ССР

Поступило 31.VII 1952

Ա. Մ. ՄԽԻՏՅԱՆ

ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ԱՎԱՋԱՆԻ ՈՐԻՋՆՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ, ԵՎ ԾԱԾԿՈՒՅԹԻ
ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ԻՐԱԿԱՆ, ՐԱՇԽԵՄԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ ՆՐԱՆՑ ՀԱՇՎՄԱՆ
ՄԻ ՔԱՆԻ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ

(Հաղորդում 2)

Ա մ փ ո լ ի ու մ

Հոդվածում բերվում է [7]-ում լուծված խնդրի օրինակների հաշվարկը Դիտարկված են հետևյալ 4 դեպքերը: Առաջին և երկրորդ դեպքում ծածկույթի ջերմաստիճանը տրվում է (1.1) սլարդ տեսքով, իսկ III և IV դեպքերում՝ Ֆուրյեի շարքերի տեսքով, հիշելով դիտումների արդյունքից, բնորոշում I և III դեպքերում արհամարքում է Կորիոլիսի արագացումը, իսկ II և IV դեպքերում այն հաշիվի է առնվում: Հաշվարկի բանաձևերը I դեպքի համար ունեն (1.3) — (1.4) տեսքը, II-ի համար՝ (1.3), (1.5), III-ի՝ (1.6), (1.7), IV-ի՝ (1.6), (1.8) — (1.10), (1.11) բանաձևի միջոցով որոշվում է ժամանակի տվյալ մոմենտի համար այն բարձրությունը, որտեղ բրիդի էլեմենտը ունի իր մեծագույն արժեքը, (1.19)-ով՝ ժամանակի մոմենտը տվյալ բարձրության համար, (1.24), (1.25) բանաձևով որոշվում է բամու թևքովյան անկյունը, իսկ (1.29), (1.30), (1.31)-ով՝ նրա ծագման ժամկետը:

Ծածկույթի ջերմաստիճանի (2.2) և (2.3) տեսքի դեպքում կատարված են հաշվարկներ, արդյունքները ներկայացված են ջերմաստիճանի պրոֆիլի և օրական ընթացքի համար դժ. 1 և 2-ի վրա, բամու հորիզոնական և ուղղաձիգ բաղադրիչների համար՝ 3—6-ի վրա: Հաշվարկների արդյունքներն այն դեպքում, երբ ծածկույթի ջերմաստիճանը վերցվում է փաստական դիտումների արդյունքների հիման վրա, որոնք բերված են աղյուսակ 2-ում, ներկայացված են դժ. 7—13-ի վրա: Արդյունքները ցույց են տալիս, որ այն դեպքում, երբ իրականությանը համապատասխան ծածկույթի ջերմաստիճանի օրական ըն-

թաղրը վերցվում է տարրեր նրա տարբեր կետերում, հնարավոր է լինում ստանալ բրիզային ցիրկուլացիայի զարգացման պրոցեսի մի շարք առանձնահատկություններ, որոնք չեն ստացվում, երբ ջերմաստիճանը տրվում է սխեմատիկ ձևով:

Վերջում բերվում են հիմնական եզրակացությունները, ըստ որոնց պարզվում է, որ Կորիոլիսի արագացման հաշվի առնելը բերում է որակապես ավելի լավ արդյունքների, չնայած նրկույթի մասշտաբի փոքրությունը:

Ընդհանուր սխեմայի դեպքում իրական պատկերին շատ մոտ են ստացվում և ուղղաձիգ հոսանքները, որոնց հետ կապված են ամպառաջացման պրոցեսները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Буз А. М. К вопросу о влиянии береговой линии на воздушные течения и распределение осадков. Сб. по региональной синоптике, Вып. 5, II., 1960.
2. Бурман Э. А. К вопросу о распределении вертикальных токов при бризах. Тр. ОГМИ, вып. 5, 1953.
3. Воронцов П. А. Вертикальные движения над озером Севан. Тр. ГГО, вып. 78, 1958.
4. Воронцов П. А. Некоторые особенности термического и ветрового режима над озером Севан. Тр. ГГО, вып. 78, 1958.
5. Воронцов П. А. Температурный режим озера Севан по метеорологическим исследованиям. «Результаты комплексных исследований по Севанской проблеме», т. I, Изд. АН Армянской ССР, Ереван, 1961.
6. Гутман Л. Н. О структуре бризов. Тр. ИИП, вып. 8, 1948.
7. Мхитарян А. М. О бризах и бассейне озера Севан и некоторые результаты их расчета по фактическому распределению температуры подстилающей поверхности. Сообщение I. «Известия АН Армянской ССР», сер. III, № 5, 1962.
8. Николаев Н. Г. Ветры в бассейне озера Севан. Материалы по исследованию озера Севан, ч. III, 1933.
9. Селезнева Е. С. О происхождении местных северо-восточных ветров в бассейне озера Севан. Тр. ГГО, вып. 78, 1958.
10. Тимофеев М. П. (ред.) Метеорологический режим озера Севан. Гидрометиздат. 1950.

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

К. Х. ОВСЕПЯН, А. С. МЕЛКОНЯН

УЧЕТ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ РАСЧЕТЕ
РЕСИНХРОНИЗАЦИИ ГИДРОАГРЕГАТОВ

В ряде практически важных случаев неустановившийся режим гидрогенератора может протекать при больших отклонениях скорости вращения от синхронной. К таким режимам относятся работа генератора в асинхронном режиме, процессы ресинхронизации, самосинхронизации и т. д.

При исследовании этих режимов из-за больших отклонений скорости вращения иногда необходимо учитывать характеристики гидротурбины и трубопровода ГЭС, так как влияние их на протекание переходного процесса более всего будет сказываться именно при этих режимах. Режим асинхронного хода многие годы полагали недопустимым, так как считалось, что при больших скольжениях в роторе будут иметь место потери, в несколько раз превышающие нормальные потери на возбуждение, а момент, развиваемый синхронным генератором, при асинхронном режиме невелик.

Результаты экспериментально-теоретического изучения на большом количестве генераторов, выполненные И. А. Сыромятниковым, И. М. Марковичем и Л. Г. Мамиконянцем показали, что для подавляющего числа синхронных машин кратковременный асинхронный режим не представляет опасности.

В связи с этим оказалось возможным восстанавливать нормальную работу системы, оставляя вышедший из синхронизма генератор на некоторое время в асинхронном режиме. В этом смысле можно говорить, что система сохраняет результирующую устойчивость, поскольку нарушения энергоснабжения не происходит. Однако, асинхронный ход не является для оборудования системы нормальным режимом и не должен осуществляться без анализа и выявления его допустимости. Допуская работу генератора в режиме асинхронного хода, возникшего из-за потери возбуждения или в результате нарушения устойчивости, и затем восстанавливая синхронную работу, электрические системы получают возможность уменьшить количество аварийной недодачи электроэнергии [1].

Действительно, если после выпадения из синхронизма генератор выключить из сети, а затем вновь синхронизировать его, то в течение 20—40 мин. выпавший из синхронизма генератор не будет выдавать 3. ТН., № 6

энергию в систему. Если же выпавший из синхронизма генератор не отключается от сети и кратковременно допускается работа в асинхронном режиме, то полного перерыва в выдаче электроэнергии не будет, хотя во время асинхронного хода мощность, выдаваемая генератором, несколько уменьшится. При увеличении скорости вращения агрегата автоматические регуляторы скорости вступают в действие и уменьшают открытие награвляющего аппарата. Величина нагрузки, при котором наступит новый установившийся режим, будет зависеть от параметров регулятора скорости, характеристики турбины и характеристики асинхронного момента генератора.

Среднее значение относительного электромагнитного момента при работе генератора в асинхронном режиме без возбуждения равно [1].

$$M_{\text{ас}} = \frac{n^2}{2} \left[\frac{x_d - x_d'}{x_d x_d'} \frac{ST_d}{1 + (ST_d)^2} + \frac{x_d' - x_d''}{x_d' x_d''} \frac{ST_d'}{1 + (ST_d')^2} + \frac{x_d'' - x_d'''}{x_d'' x_d'''} \frac{ST_d''}{1 + (ST_d'')^2} \right] \quad (1)$$

Первый член этого уравнения обусловлен изменением общего потока контуров ротора в продольной оси, второй член — изменением потоков рассеяния между контурами ротора по продольной оси, а третий член обусловлен токами в контуре ротора в поперечной оси. При исследовании ресинхронизации агрегата весь процесс разбивается на три этапа. Первый этап — с момента начала переходного процесса до выпадения из синхронизма. Второй этап — при котором скорость вращения агрегата, пройдя после сброса нагрузки через свое максимальное значение, понизится в связи с действием регулятора скорости до величины, близкой к первоначальной. Третий этап — процесс обратного втягивания в синхронизм.

Для расчета процесса ресинхронизации и наладки ресинхронизаторов очень важно знать поведение агрегата при так называемом втором этапе, так как именно при этом выявляется влияние параметров гидромеханической части.

В статье предлагается формула для расчета изменения скольжения гидротурбегата при ресинхронизации с учетом характеристик гидротурбины, автоматического регулятора скорости жесткого трубопровода и характеристик асинхронного момента гидротурбины.

В общем случае изменение скорости гидротурбегата при асинхронном ходе определяется движущим моментом турбины, средним асинхронным моментом и собственным электромагнитным моментом

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_t - (M_{\text{ас}} + M_{\text{эл}}). \quad (2)$$

Момент движущих сил гидротурбины зависит от угла отклонения скорости вращения, положения регулирующего органа и величины напора

$$M_t = f(\omega, \alpha, H).$$

Собственную электромагнитную мощность генератора принимаем зависящей от частоты, т. е. от скорости вращения

$$P_{11} = \frac{E_1^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} = K \Delta \omega$$

чему будет соответствовать

$$M_{11} = \text{const.}$$

Характеристики асинхронного момента, как видно из (1), нелинейны и поэтому решение уравнения в общем невозможно.

При асинхронном ходе, средний асинхронный момент гидрогенератора будет в основном обусловлен изменением потоков рассеяния между контурами по продольной оси, так как составляющая асинхронного момента, связанная с изменением общего потока контура ротора, имеет максимум при малых скольжениях (0,5–0,7%) и с увеличением скольжения быстро уменьшается, составляя 3–4% при $M_{ас\max}$.

Полученные характеристики асинхронного момента ряда гидрогенераторов с различными параметрами показывают, что максимумы этих характеристик имеют место при скольжениях 8–17% (в среднем 10%).

Это дает возможность при исследовании влияния гидравлических параметров на режим ресинхронизации средний асинхронный момент учесть только по второму члену уравнения (1) и записать уравнение момента в линейризованном виде

$$M_{ас} = K_{ас} \Delta \omega,$$

где $K_{ас}$ — определяется по восходящей ветви характеристики асинхронного момента (рис. 1). Такое упрощение можно считать допустимым по следующим соображениям. При полном сбросе нагрузки до-

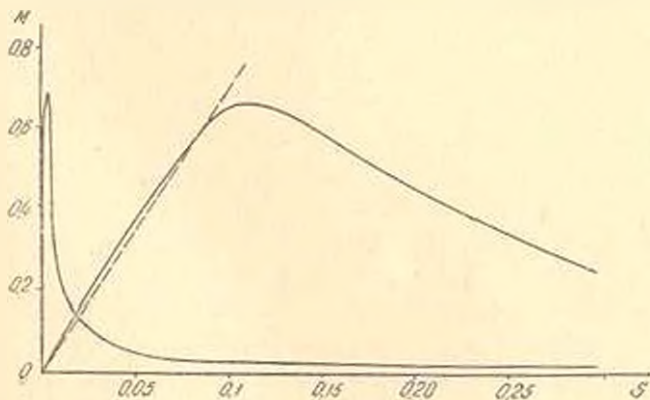


Рис. 1.

пускается временная неравномерность в пределах 30%. При режимах ресинхронизации из-за наличия дополнительных моментов сопротивления $M_{ас}$ и M_{11} скольжение гидрогенератора будет гораздо меньше и значение s по характеристике асинхронного момента не будет выходить за линейный участок. В большинстве практических случаев

погрешности, обусловленные приближенным выражением асинхронного момента, не будут иметь существенного значения.

При линеаризованной характеристике асинхронного момента уравнение агрегата можно записать в виде [2]

$$T_s p S - b S - z = p + \frac{1}{p} \quad (3)$$

где S , z , p соответственно относительные изменения оборотов, давления и открытия направляющего аппарата,

b — коэффициент самовыравнивания,

p — оператор дифференцирования.

Уравнение автоматического регулятора скорости с изодромом [2]

$$p = - \frac{S (T_i p + 1)}{T_s T_i \varepsilon p^2 + (T_s + T_i \varepsilon) \sigma p + \varepsilon} \quad (4)$$

где T_i — постоянная изодрома,

ε — остаточная неравномерность,

Уравнение жесткого трубопровода

$$T_r k p u = \zeta \quad (5)$$

где T_r — постоянная трубопровода,

k — наклон расходной характеристики.

Совместным решением уравнений агрегата, автоматического регулятора скорости и жесткого трубопровода находим операторное выражение для определения изменения скорости

$$S(p) = \frac{a \varepsilon [T_s T_i \sigma p^2 + (T_s + T_i \varepsilon) \varepsilon + T_i \varepsilon |p + \varepsilon]}{\frac{r}{3} p^3 + m p^2 + n p + (1 - b \varepsilon) p} \quad (6)$$

где

$$r = 3 T_s T_r T_i \varepsilon,$$

$$m = T_a \sigma (T_s + T_i \varepsilon) - T_i (T_s b \varepsilon + T_r \varepsilon k) + T_a T_i \varepsilon,$$

$$n = T_i (1 - b \varepsilon \sigma) - (T_s b \varepsilon + T_r \varepsilon k) + (T_a - T_i b) \varepsilon.$$

Характеристическое уравнение для (6) равно

$$\frac{r}{3} p^3 + m p^2 + n p + (1 - b \varepsilon) p = 0 \quad (7)$$

Численное значение коэффициента самовыравнивания при асинхронном ходе доходит до 6, а иногда и более (вместо 1,0–1,5 при изолированной работе гидроагрегата), так как наклон характеристик асинхронного момента гораздо круче частотных характеристик нагрузок. При этом дискриминант кубического уравнения меньше нуля, и все три корня действительны.

Для рассматриваемого случая корни характеристического уравнения:

$$p_1 = \frac{1}{r} (2 \cos \varphi \sqrt{|r n - m^2 - m|},$$

$$p_2 = \frac{1}{r} (2 \cos (\varphi - 120) \sqrt{rn - m^2} - m), \quad (8)$$

$$p_3 = \frac{1}{r} (2 \cos (\varphi + 120) \sqrt{rn - m^2} - m),$$

где

$$\cos 3 \varphi = \frac{m (2m^2 - 3rn) + 3r^2 (1 - b_2)}{2rn - m^2}.$$

Вычисление функции $S(t)$ находится по формуле разложения после подстановки значений корней характеристического уравнения и некоторых упрощений

$$\begin{aligned} S(t) = & \frac{a \lambda_2}{1 - b_2} + \frac{T_1 T_2 (2 \cos \varphi \sqrt{rn - m^2} - m + r(T_1 + T_2))}{(rn - m^2) (4 \cos^2 \varphi + 1)} \cdot \\ & \cdot \exp\left(-\frac{2 \cos \varphi \sqrt{rn - m^2} - m}{r} t\right) + \\ & + \frac{T_1 T_2 (2 \cos (\varphi - 120) \sqrt{rn - m^2} - m) + r(T_1 + T_2)}{(rn - m^2) (4 \cos^2 (\varphi - 120) + 1)} \cdot \\ & \cdot \exp\left(-\frac{2 \cos (\varphi - 120) \sqrt{rn - m^2} - m}{r} t\right) + \\ & + \left(\frac{T_1 T_2 (2 \cos (\varphi + 120) \sqrt{rn - m^2} - m) + r(T_1 + T_2)}{(rn - m^2) (4 \cos^2 (\varphi + 120) + 1)}\right) \cdot \\ & \cdot \exp\left(-\frac{2 \cos (\varphi + 120) \sqrt{rn - m^2} - m}{r} t\right). \quad (9) \end{aligned}$$

Полученная формула для расчета изменения скорости гидроагрегата в процессе ресинхронизации удовлетворяет граничным условиям

$$\text{при } t = 0 \quad S(t) = 0,$$

$$t = \infty \quad S(t) = \frac{a \lambda_2}{1 - b_2} \quad (10)$$

Из последнего выражения видно, что на установившееся значение отклонения угловой скорости или скольжения могут влиять существенно остаточная неравномерность автоматического регулятора скорости λ и коэффициент сдвигания генератора b_2 . С целью выяснения влияния гибкой обратной связи по формуле (9) выполнены расчеты.

Расчеты и анализ результатов показали, что продолжительность переходного процесса определяется в основном первым корнем p_1 характеристического уравнения (7), который в несколько раз меньше p_2 и p_3 .

По постоянной затухания T_1 можно оценить влияние отдельных параметров и рассчитать продолжительность переходного процесса по формуле:

$$T_1 = \frac{1}{p_1} = \frac{r}{2 \cos \varphi \sqrt{rn - m^2} - m} \quad (11)$$

На рис. 2 показаны результаты расчета асинхронного хода гидроагрегата по параметрам динамической модели Института водных проблем АН Армянской ССР при $T_1 = 0; 2; 4; 6$:

Как видно (рис. 2) в начальной стадии переходного процесса, и в частности, при максимальном отклонении скорости, влияние гибкой

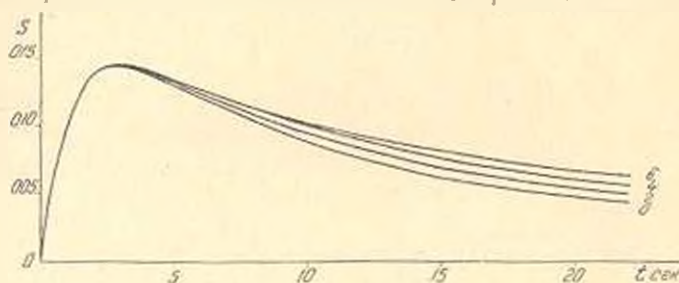


Рис. 2.

обратной связи ничтожно, так как расчетные кривые $S = f(t)$ при различных значениях постоянного времени T_1 практически не отличаются от кривой, рассчитанной при $T_1 = 0$. Это обстоятельство дает возможность для практических расчетов наряду с формулой (9) применять простую формулу, полученную в предположении отсутствия гибкой обратной связи. В этом случае характеристическое уравнение становится второй степени, и его корни будут равны:

$$\begin{aligned} p_1 &= -\alpha + \beta, \\ p_2 &= -\alpha - \beta, \end{aligned} \quad (12)$$

где

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{T_a \varepsilon - T_1 \sigma \theta - T_1 \tau k}{2 T_a T_1 \sigma}, \\ \beta &= \sqrt{\frac{1 - \theta \varepsilon}{T_a T_1 \sigma} - \alpha^2}. \end{aligned}$$

Формула для расчета скольжения гидроагрегата при асинхронном ходе будет иметь вид

$$S = \frac{\alpha k \varepsilon}{1 - \theta \varepsilon} \left[1 + (F \operatorname{sh} \beta t - c \operatorname{ch} \beta t) e^{-\alpha t} \right], \quad (13)$$

где

$$F = \frac{1}{\beta} \left(\frac{1 - \theta \varepsilon}{T_a \varepsilon} - \alpha \right).$$

В этом случае продолжительность переходного процесса определяется по значению α , которая является обратной величиной постоянной времени

$$T_2 = \frac{1}{\alpha} = \frac{2 T_a T_1 \sigma}{T_a \varepsilon - T_1 \sigma \theta - T_1 \tau k}. \quad (14)$$

Ниже приведены результаты расчета измерения скорости гидроагрегата ДжораГЭС при выпадении из синхронизма. Далее расчетные дан-

ные сопоставлены с результатами экспериментов, проведенных на этой же станции.

Основные данные агрегата:

$$P = 7400 \text{ кВт}; GD = 89 \text{ т.м}^2;$$

рабочее колесо $P0.60$;

$$T_0 = 6 \text{ сек}; T_1 = 0,85 \text{ сек}; T_2 = 3 \text{ сек}; T_l = 3,2 \text{ сек}; T_d = 0,8 \text{ сек};$$

$$T_d = 0,029; x_d = 0,56; x_l = 0,17; x_d = 0,10.$$

По этим данным определены

$$k_1 = 172 \text{ км сек}; k_2 = 50 \text{ км м.м.}; k_a = 2750 \text{ кг сек};$$

$$k_d = 1,2 \text{ км}; \eta = -5.$$

Переходный процесс рассчитан по формуле (9), а также по упрощенной формуле (13) без учета действия гибкой обратной связи. На рис. 3 показаны кривые переходного процесса по результатам рас-

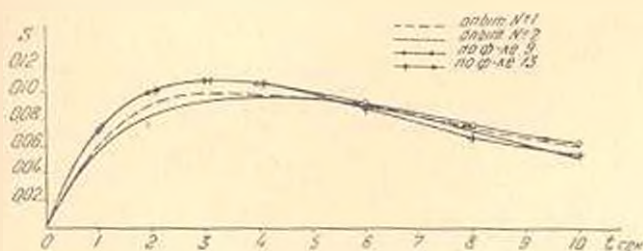


Рис. 3.

чету и по данным экспериментов. В заключение отметим, что предлагаемые формулы позволяют оценить влияние параметров трубопроводов, гидротурбины и автоматического регулятора скорости на переходный процесс. При расчете режимов ресинхронизации максимальное отклонение скорости $S_{\max}$ можно, с достаточной для практики точностью, рассчитать по формуле (13).

Продолжительность переходного процесса с учетом гибкой обратной связи определяется коэффициентом затухания по формуле (11).

Институт водных проблем

АН Армянской ССР

Поступило 3.11.1961 г.

Ч. Б. ՀԱՎԱՓԱՅՆ Ա. Ս. ՄԱՇԻՆՅԱՆ

ԵՐԿՐԱՆՆԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱԹԻՐԵՐ
ՀԻՄՆԱԿՐԻՏԱՏՆԵՐԻ ՌԵՍԻՆԿՐՈՆԻԶԱՅԻՆԱԿԻ
ՀԱՇՎՈՒՆ ԲԱՐՈՒՆԱԿ

Ա մ ֆ ա թ ո լ մ

Ռեզինիւրոնիզացիայի պրոցիւր հաշիւը և սեպիւրոնիզացիոնները զոր-
թակցելու համար անհրաժեշտ է իմանալ հիդրոպրոցիւրայի փարքը նրա առի-
ւերոն ընթացքում, երբ պատման արագութիւնը ափեւանայով անցնում է իր

մաքսիմալ արժեքով և տրապեզիան ափսոսմամբի կանոնադրիչի գործման հետեանքով իջնում է մինչև իր սկզբնական արժեքը:

Ենթիւս հոգովածում ուսումնասիրվում է հիդրոադրեզատի տախիտոն ընթացքը ռեակտիւրանիդացիայի մասնանակ:

Համառակ լուծելով հիդրոադրեզատի (3), արադոթիան ափսոսմամբի կանոնադրիչի (4) և սչ առածգական ճնշման խողովակաշարի (5) համառոտումները ստացվում է հաշվալին (6) բանաձեք. որը առլիւ է արադոթիան փոփոխութունը:

Անցման պրոցեսի տեղութլւանը սրշվում է (11) բանաձեքով:

Եկ. 2-ում ցույց է տրված տախիտոն ընթացքի հաշվման ալգլտմանըը Հալիական ՈՈՍԻ ԿՈՒ Ջրալին պրոլլեմների ինտոխտաի գլնամիկ մոլելի տվլւնելով. արադոթիան ափսոսմամբի կանոնադրիչի ճկուն հետադարձ կապի աուրեր հաաաաաաաա արժեւնելի գկալում:

Ինշակն ելեում է ալլ նկարից անցման պրոցեսի սկզբնական շրջանում հետադարձ կապի աղղեղութլւանը ճնշին է:

Ալլ հանցումանքը հաարալորութլւան է աալլա պրակաիկ հաշվումների համար առաջարկել հան պարզ փոլմալա (13), որն ստացվում է ճկուն հետադարձ կապի բաղադրութլւան գկալում:

Հոլվածում բերված բանաձեքը հաարալորութլւան են աալլա հաշվել հիդրոադրեզատի արադոթիան փոփոխման ընթացքը սլնխրոնիդմից գուրա բնկնելուց հետո մինչև ռեակտիւրանիդացիան և ափելի պարզ գրաներել հիդրոաուրբինի խողովակաշարի և արադոթիան ափսոսմամբի կանոնադրիչի աղղեղութլւանը ալլ պրոցեսի վրա:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Веников В. А. Электрически-механические переходные процессы в электрических системах. ГЭИ, 1958.
2. Овсепян К. Х. О расчете сбросов и набросов нагрузки при индиферантной работе гидроагрегата. Изв. АН Армянской ССР (серия т. и), № 2, 1958.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

А. Б. ПИРАДОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХОСНО ПРЕДВАРИТЕЛЬНО
НАПРЯЖЕННЫХ ОБРАЗЦОВ НА ОСЕВОЕ РАСТЯЖЕНИЕ

Трехосное предварительное напряжение раскрывает возможности в отношении уменьшения собственного веса конструкций за счет увеличения их несущей способности при относительно небольших деформациях в упругой стадии их работы [1, 2]. Прочность элементов такого типа изучалась преимущественно на центральное сжатие [3, 4, 5, 6]. Между тем такие конструкции могут быть с успехом использованы в растянутых элементах большепролетных сооружений, что существенно сократит расход металла и бетона.

В центральной лаборатории заводской технологии Научно-исследовательского института бетона и железобетона АСИА СССР (НИИЖБ) под руководством проф. В. В. Михайлова и течение ряда лет проводятся исследования трехосно предварительно напряженного железобетона. Данное исследование проведено автором статьи в этой лаборатории.

Исследования проводились на цилиндрических образцах длиной 150 см диаметром 14,5 см (рис. 1). Продольное обжатие создава-

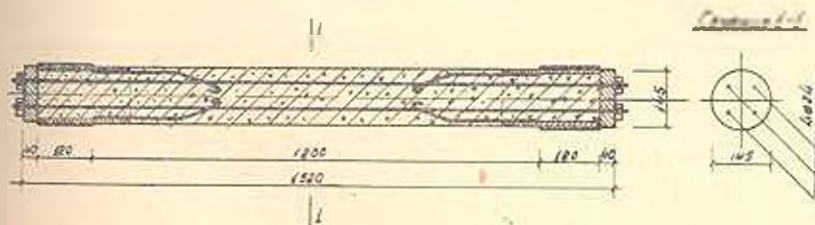


Рис. 1. Конструкция опытного образца.

лось четырьмя стержнями диаметром 24 мм из стали марки 10 X ($E_s = 5000 \text{ кг/см}^2$, $R_s = 8300 \text{ кг/см}^2$), поперечное — спиралью из высокопрочной проволоки ($R_w = 19000 \text{ кг/см}^2$) диаметром 3 мм с шагом намотки 13 мм.

Предварительное напряжение создавалось после бетонирования. Образцы изготовлялись из бетона марки „600“ в металлической опалубке. Для предотвращения сцепления с бетоном стержни перед бетонированием были смазаны маслом и обернуты калькой.

Прочностные характеристики бетона определялись на кубиках с размерами $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$ и восьмерках сечением $7 \times 7 \text{ см}$ с призматиче-

ческой частью высотой 66 см. Составы бетона, а также результаты испытания кубиков и восьмерок указаны в табл. 1.

На восьмерках определялась также деформативность бетона на растяжение тензодатчиками с базой 50 мм, которые наклеивались в поперечном сечении в трех местах по высоте средней части. Предварительное напряжение в продольной арматуре принималось $\approx 0,90 \sigma_{\text{н}}$, в поперечной арматуре $0,65 R_{\text{н}}$. На специальной установке были определены потери предварительного напряжения в арматуре от обжатия шайб, закрепляющих арматурный стержень в напряженном состоянии, и релаксация напряжения. Потери от обоих факторов для четырех стержней составили 14300 кг. Потери от усадки и ползучести, согласно работам Г. А. Гамбарова [4], могут быть приняты равными: от усадки бетона $3 \cdot 10^{-5}$, от ползучести $32 \cdot 10^{-5}$ спустя 15 суток после предварительного напряжения образцов. Следовательно, величина потерь от усадки и ползучести составляла 14300 кг. Суммарная величина всех потерь на образец составляла 28600 кг.

Испытание образцов на растяжение проводилось на 300-тонной горизонтальной испытательной машине. Для закрепления образца в прессе на концах образцов были забетонированы муфты с нарезкой, на которые навинчивались специальные приспособления, закрепляемые в захватах прессы (рис. 2). Закрепленный таким образом образец

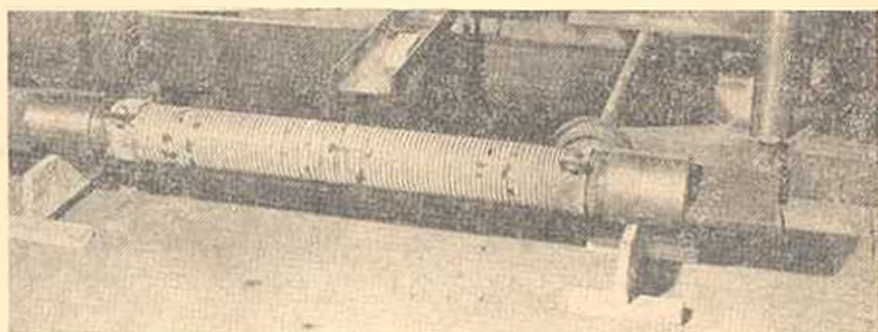


Рис. 2. Образец с приспособлениями для закрепления в прессе.

(рис. 3) подвергался растяжению на первых этапах ступенями в 10 т (68 кг/см^2), а на последующих — 5 т (34 кг/см^2) вплоть до разрушения. На каждом этапе деформации замерялись: продольные — с помощью индикаторов с ценой деления 0,01 мм на базе 570 мм, а так же — рычажными тензометрами на базе 100 мм; поперечные — датчиками сопротивления. Последние наклеивались на бетон и на спиральную арматуру.

На рис. 4 показаны продольные деформации, измеренные индикаторами, а также усредненные поперечные деформации в зависимости от величины растягивающего усилия. Результаты испытания представлены в табл. 2. Как видно из табл. 2, продольное предваритель-

Таблица 1

Характеристики контрольных бетонных образцов

Состав бетона	Наименование образцов	Прочность бетона на 28 день		Прочность бетона на день испытания		Примечание
		кубики 10 10×10 см	пересчитанная прочность для кубиков 20×20×20 см	прочность кубка 10 10×10 см или восьмерки	пересчитанная прочность для кубиков 20×20×20 см	
Состав А: Белгородский цемент активности 573 кг/см ³ (565 кг); Песок с модулем крупности 1,8 (565 кг); Щебень известковый, крупн. 5: 20 мм (1130 кг). Вода—194 литра	кубики	573 560 (Ср. 595) 150	524	611 854 (Ср. 664) 601 725 617 577	585	Удобукладываемость бетона обоих составов определялась техническим инкозиметром.
	восьмерки 7 7×66			35,6 41,2 (Ср. 36,4) 33,0		
Состав В: Цемент Брянский, активности 583 кг/см ³ (565 кг); Песок — с модулем крупности 1,8 (565 кг) Щебень известковый, крупн. 5: 20 мм (1170 кг) Вода—147 литра	кубики	740 721 (Ср. 718) 691	632	766 845 (Ср. 825) 802	725	
	восьмерки 7 7×66			31,7 34,1 (Ср. 33,2)		

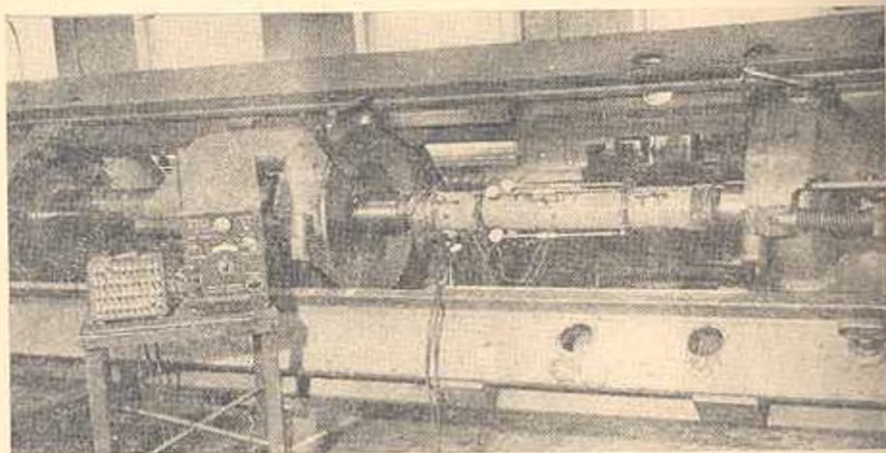


Рис. 3. Общий вид образца с измерительными приборами в горизонтальной испытательной машине.

ное напряжение образцов превышало величину призмочной прочности, что при отсутствии спирального армирования вызвало бы разрушение элемента. После испытания спираль удалялась с элементов.

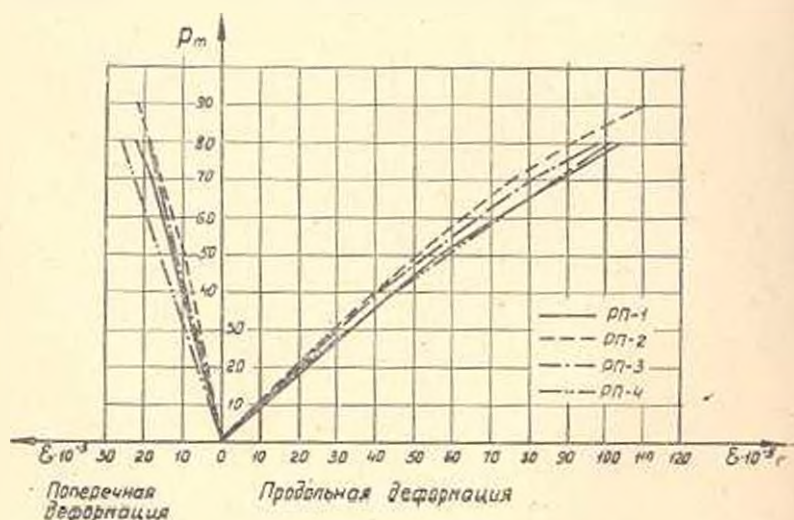


Рис. 4. Кривые продольных и поперечных деформаций образцов.

образец подвергался внешнему осмотру. Кроме разрушения в местах разрывов нарушение структуры нигде не было обнаружено.

По показаниям измерительных приборов нарастание деформации растяжения по длине образца происходило с различной интенсивностью. В местах максимальных деформаций образцовывались трещины, по которым в дальнейшем и разрушались образцы.

Таблица 2

Результаты испытания предварительно напряженных железобетонных образцов на центральное растяжение

Марка образцов	Предварительное напряжение образцов							Появление трещин под нагрузкой						Разрушающая нагрузка, численная по пределу прочности кг	Примечание
	В момент создания предварительного напряжения				Установившееся предварительное напряжение			Усилия				Деформации 10^{-5}			
	Усилие		Деформация 10^{-5}		Усилие		Деформация* 10^{-5}	сила кг	усилие воспринимаемое арматурой кг	усилие воспринимаемое бетоном кг	напряжение при растяжении кг/см ²	продольные	поперечные		
	сила кг	напряжение кг/см ²	продольная	поперечная	сила кг	напряжение кг/см ²									
P11-1	81000	550	111	20	52000	353	76	80000	76000	4000	27,2	103	22	160000	Бетон состава А
P11-2	85500	582	126	26	56500	384	91	83000	84000	6000	40,8	110	23	160000	
P11-3	75000	508	116	17	46400	315	81	80000	75000	5000	31,0	98	19	160000	Бетон состава Б
P11-4	75000	508	118	27	46400	315	83	80000	76000	1000	27,2	100	26	160000	

* Деформации потерь под шайбами не учитывались, так как они измерялись после передачи усилия на шайбы.

Деформации растяжения бетона, как уже отмечалось выше, измерялись на бетонных восьмерках. Предельные деформации образцов замерить не удалось, так как разрыв происходил в сечении, где не было установлено приборов. По замеренным продольным деформациям грехосно предварительно напряженных образцов растяжимость бетона составляла $(17-27) \cdot 10^{-3}$, что, как и следовало ожидать, соответствует средней растяжимости, полученной на бетонных восьмерках. Как видно из соответствующей графы табл. 2, бетон воспринимал растягивающие напряжения $27,2+40,8 \text{ кг/см}^2$, что находится в пределах величин, полученных при испытании бетонных восьмерок. Разброс составляет от -21 до $+24\%$.

Картина распределения усилий в бетоне и арматуре трехосно предварительно напряженного образца при продольном растяжении представлена на рис. 5. На оси $P_{\text{всп.}}$ отложено усилие предваритель-

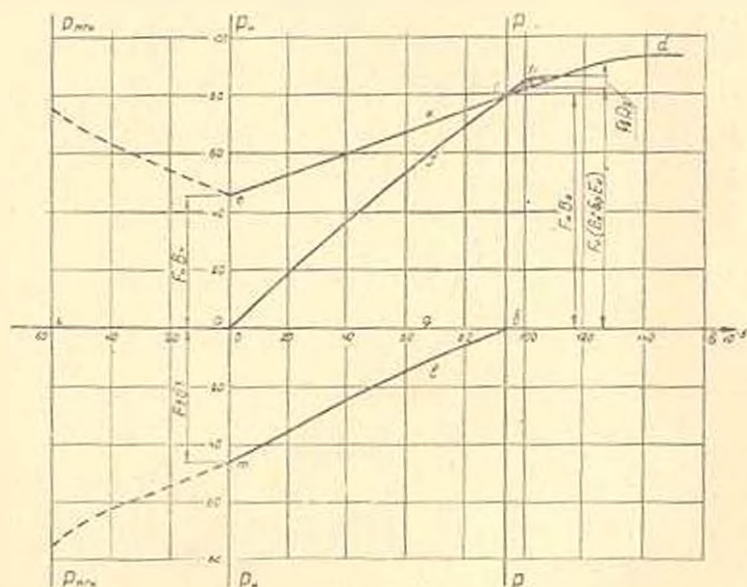


Рис. 5. Кривые распределения усилий в образце РН-3.

ного напряжения арматуры и сжатие бетона до появления потерь предварительного напряжения. Усилие, действующее в арматуре и бетоне после всех потерь предварительного напряжения перед приложением внешней нагрузки, отложено по оси P_n .

За начальное состояние удобно принимать такое сочетание внешних усилий, когда в бетоне имеется нулевое напряжение, показанное на графике линией $P - P_v$. Эту ось и назовем главной осью координат. В этом состоянии все усилие предварительного напряжения элемента, действующее в арматуре, уравновешивается внешней силой $P = F_n \cdot z_0$. При удалении внешней силы происходит уменьшение величины предварительного напряжения до величины $P_n = F_n \cdot z_0$ при этом сжимающее напряжение в бетоне равно $F_n \cdot z_0$.

При отсутствии внешней растягивающей силы, усилие растяжения в арматуре уравнивается усилием сжатого бетона. При приложении к элементу растягивающей силы усилие в арматуре увеличивается по прямой ec , а в бетоне убывает по ac . Нетрудно видеть, что линия ec более пологая, чем ac , следовательно, уменьшение усилия в бетоне происходит более быстро, чем увеличение напряжения в арматуре. В любой точке нагрузки P_f , вызывающей деформацию ag , внешнее усилие воспринимаемое арматурой за вычетом усилия в бетоне

$$P_f = gf + fk - gf$$

Ввиду равенства $fk = gf$, имеем

$$P_f = gf,$$

т. е. в период разгрузки элемента от предварительного напряжения вся внешняя сила P_f воспринимается полностью предварительно напряженной арматурой. Как видно из графика, восприятие внешней нагрузки на участке ac происходит по более крутому наклону, по сравнению с наклоном ec , характеризующим работу арматуры. Тангенс угла наклона прямой ac проф. В. В. Михайловым назван модулем восприятия нагрузки или условным модулем упругости.

Нагрузка при трещинообразовании будет равна:

$$P_t = F_n (\sigma_n + \varepsilon_p \cdot E_n) + F_s \cdot R_p$$

и соответствующая относительная деформация

$$\varepsilon = \varepsilon_n + \varepsilon_p = \frac{\sigma}{E_{uc}} + \varepsilon_p.$$

После разгрузки бетона вплоть до разрушения вся внешняя сила воспринимается только арматурой при больших деформациях и интенсивном раскрытии трещин.

Результаты испытания показывают, что при сообщении бетону предварительного обжатия, значительно превышающего его призменную прочность заметных структурных изменений бетона не происходит, а поперечное обжатие спиралью не понижает сопротивляемости бетона продольному растяжению. Тем самым подтверждается эффективность предварительного трехосного обжатия бетона в растянутых железобетонных элементах.

Армянский НИИ

строительных материалов и сооружений

Поступило 19.IV. 1962

Ա. Բ. ՊՐԻՇԻՆԸ

ԽՍՀՄ-ԽՍՀՄ ԵՄԱՐՈՒՄԻ ՆԱԽԵՆԵՐԻ ԱՌԱՆՅՔԱՅԻՆ ԶԿՄԱՆ
ՈՒՈՒՄԵՆԱԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

Ս. Մ. Փ. Ո. Փ. Ո. Փ.

Ուսումնասիրությունը կատարված է 14,5 և 150 սմ
Երկարությամբ ունեցող բետոնե զրնժային նմուշների վրա երկաթեղեն սեղ-

մասեր ստեղծվում է 40% մարկալի պողպատե 24 մմ տրամագիծ ունեցող շորա ձողերի պնդությունը: Կնդրաճանաչման սեղմումը՝ 3 մմ տրամագիծ ունեցող բարձրամուր ($R_{\text{т}}^{\text{н}} = 19000$ կգ սմ²) լարի պարուրով, որի փաթուղիի յուսքը 13 մմ է:

Ստանձնադրություն արդյունքները ցույց են տալիս, որ բևեռում նախապես լարվածության ստեղծումը, երբ անդամ վերջինս անցնում է բևեռների պրիզմալիան ամրությունից, բևեռների սարսկությունից մեծ ստանձնակի փափուկություն չի մտցնում, իսկ պարուրի միջոցով բնականակ սեղմումը չի պակասեցնում բևեռների ձգման ամրությունը: Կյանքիսով հաստատվում է, որ երկաթբետոնե ձգվող էլեմենտներում բևեռների հաստացրել նախադրվածության ստեղծումը էֆեկտիվ եղանակ է:

Ցույց է տրվում, որ նախապես լարվածության ղեկըրում ամրանք միջին բևեռների բևեռաթափման ստանձնակը իր վրա է վերցնում բևեռն աղապիսի չափ, որը համապատասխանում է պողպատի ստանձնակաճանաչման պարամետրին:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. В. Михайлов, Г. А. Гамбаров. Трехосно предварительно напряженные железобетонные элементы и области их применения в строительстве. Известия АСНА СССР, № 3, 1961.
2. Г. А. Гамбаров. Исследование спирально армированных предварительно напряженных элементов для сборных стержневых конструкций. Тр. НИИЖБ АСНА СССР, вып. 27, 1962.
3. О. Н. Алперина. Исследование сжатых железобетонных элементов с поперечным армированием. Тр. ВНИИ транспортного строительства, вып. 36, М., 1960.
4. Г. А. Гамбаров. Центральные сжатые спирально армированные предварительно напряженные элементы. Журн. «Бетон и железобетон», № 1, 1961.
5. Ф. Е. Гитман. Исследование цилиндрических колонн с предварительно напряженной спиральной арматурой. Тр. НИИЖБ, вып. 3, М., 1958.
6. В. И. Карпинский. Бетон и предварительно напряженный спиральной обоймой. Орг. транстрой. М., 1961.

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А. М. ГАСПАРЯН, Р. Е. АКОПЯН, Ж. А. КАЗАНЧЯН

ПОЛУЧЕНИЕ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА ПОСТОЯННОГО СОСТАВА

Для производственных процессов, осуществляемых в непрерывном двухфазном потоке (массообмен, теплообмен, гидротранспорт, пневмотранспорт, гравитационное обогащение, гидросепарация и т. д.) важное значение имеет постоянство состава исходной смеси во времени. Непрерывное приготовление гидро- или аэросмесей постоянного состава имеет большое значение также при проведении научно-ис-

следовательских работ с двухфазным потоком. Без надежного источника строго постоянного во времени состава смеси фаз, получение стационарных потоков и режимов невозможно. В статье описывается система, обеспечивающая выполнение такой задачи и отмеченная в прежних публикациях [1, 2, 4].

На рис. 1 показана лабораторная схема такой системы. Через воронку 1 в колбу 2 загружается твердая фаза в пастообразном или сухом виде, и затем заливается жидкостью. По трубке 3 с заданной скоростью Q_1 в колбу вводится жидкость, которая фильтруясь через поры осадка, заходит в монжусную трубку 4 и уходит по ней. При определенной скорости подачи, жидкость, уходя в трубку 4, вызывает псевдооживление материала. Псевдооживленный слой, в результате наличия перепада давления, заходит в трубку и перемещается по ней. Для нормальной работы такой системы и полного опорожнения емкости 2, на конце монжусной трубы 4 надевается

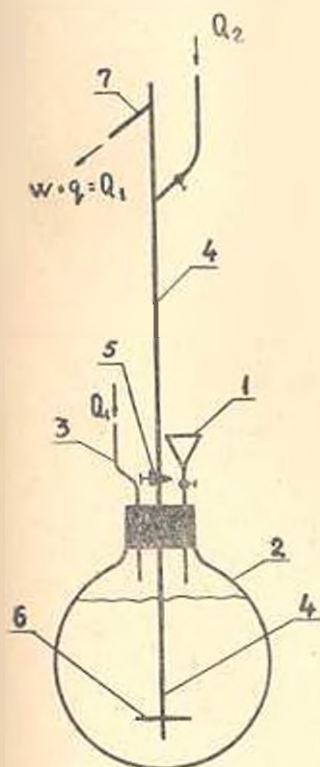


Рис. 1.

диск 6, с диаметром, составляющим от 1/3 до 2/3 диаметра посуды. При отсутствии диска основная масса среды фильтруется вдоль трубы 4 и поблизости ее, в результате чего вокруг трубки возникает

воронка. Среда прорывается в трубу и нормальный процесс нарушается.

При монодисперсности твердой фазы, в условиях стационарности, параметры потока в трубке 4 связаны между собой уравнением [1]:

$$\varphi = \frac{v \cdot \varepsilon}{v - C(\alpha)} \quad (1)$$

где $v = Q_2/F$ — скорость движения слоя по трубке, имеющей сечение F ;

$\varepsilon = W/Q_1$ — объемная концентрация твердой фазы (секундный расход W) в расходе слоя Q_1 ; C , U — скорости стесненного падения (ССП) частиц при концентрации φ , определяемые по экспериментальным кривым, или соответственно из следующих уравнений для сферических [3] или бесформенных [5] частиц:

$$C = KC_0 (1 - \varepsilon)^n \quad (2)$$

или

$$U = \frac{3K \cdot C_0}{\alpha^{1/2}} (1 - \alpha \varepsilon)^n, \quad (3)$$

где C_0 — скорость свободного падения сферы или эквивалентной сферы; α и β соответственно объемные коэффициенты и коэффициент формы псевдочастицы [5]. Значения K и n в зависимости от числа Рейнольдса выведены в [3].

Для данных частиц и среды, при данном диаметре трубки 4 и данных форм и направления входного участка этой трубки, концентрация ε зависит только от скорости v . На рис. 2 изображено несколько

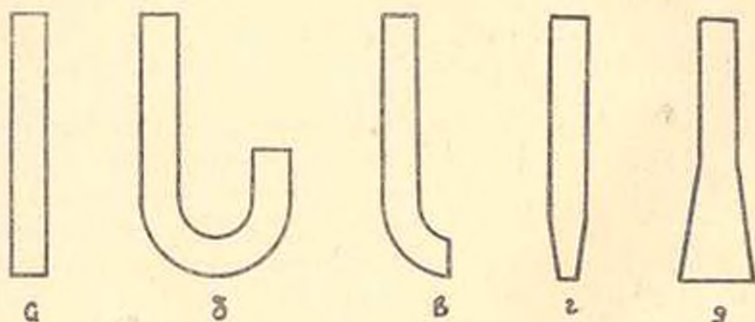


Рис. 2.

форм входного участка манжусной трубки, для которых описанным ниже способом была определена связь $\varepsilon = f(v)$.

После загрузки колбы 2 кварцевым песком (фракции $-0,42 \div +0,32$ мм и доливки водой, через трубку 3 подавалась, со строго постоянной скоростью, вода. Взвесь из трубки 4, диаметром в 10 мм, удалялась через отвод 7. По прохождении некоторого времени, достаточного для возникновения стационарного потока в 4, из отвода 7 брались несколько проб на определение v (по объему пробы, продолжи-

тельности ее взятия и диаметра 4). Из этих же проб отделялся песок, который сушился и взвешивался. По ним подсчитывалась концентрация ϵ . После взятия двух-трех проб, кран 5 закрывался, прекращалась подача воды через 3, извлекался песок, находившийся в трубке 4 выше крана 5, сушился, взвешивался и исходя из известного объема трубки вычислялась концентрация ϵ .

На рис. 3 показаны экспериментальные значения ϵ в зависимости от v и проведена соответствующая кривая 1. Она справедлива для слу-

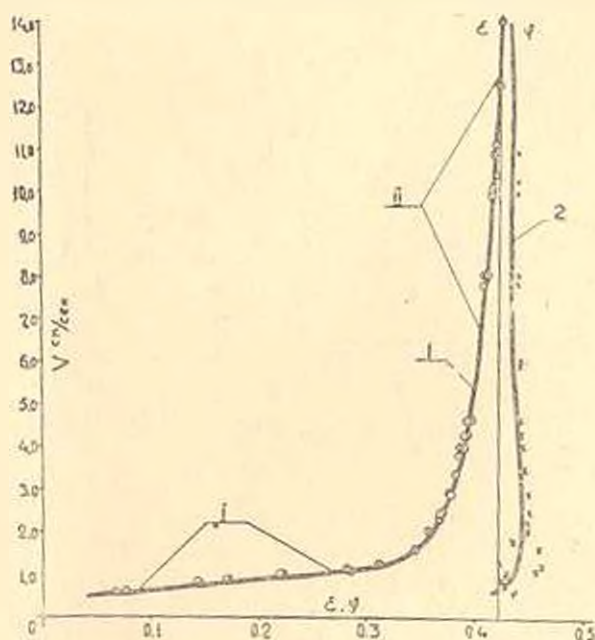


Рис. 3

чая, когда форма и направление входного участка монжусной трубы соответствовали рис. 2а. На рис. 3 крестиками показаны опытные значения концентрации ϵ и проведена сплошная линия 2, представляющая собой расчетные значения концентрации ϵ' соответствующие усредняющей кривой 1. Точки кривой 2 определялись по уравнению (1) (значение v и ϵ принимались по кривой 1) и кривой $U = f(\epsilon)$, полученной для использованного в опыте песка (рис. 4). Путем подбора по этим кривым находили ϵ' . Аналогичным способом проводились опыты для остальных форм и направленности входного участка трубки 4 (рис. 2). Результаты представлены на рисунках 5—8 и сопоставлены с данными рис. 3 (тонкие сплошные линии).

В результате произведенных исследований, можно отметить следующее:

1. Возникающий в монжусной трубе двухфазный поток вполне хорошо описывается уравнением (1).

2. По схеме представленной на рис. 1 легко можно получить двухфазный поток постоянной концентрации и расходе. Постоянство

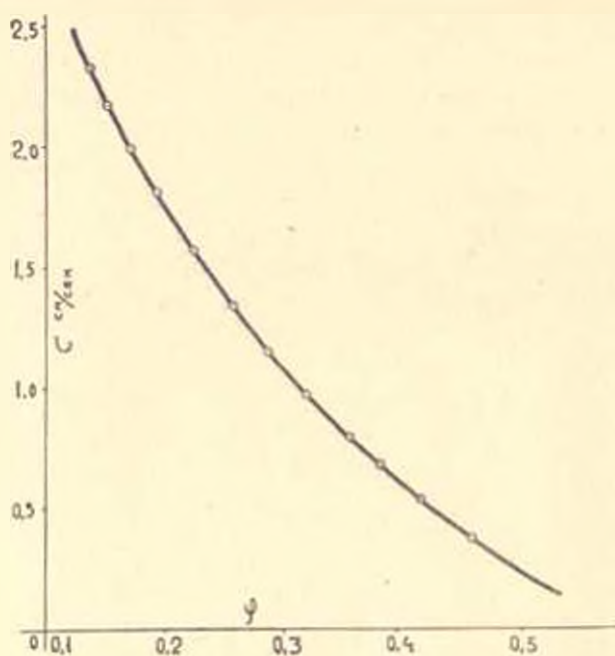


Рис. 4.

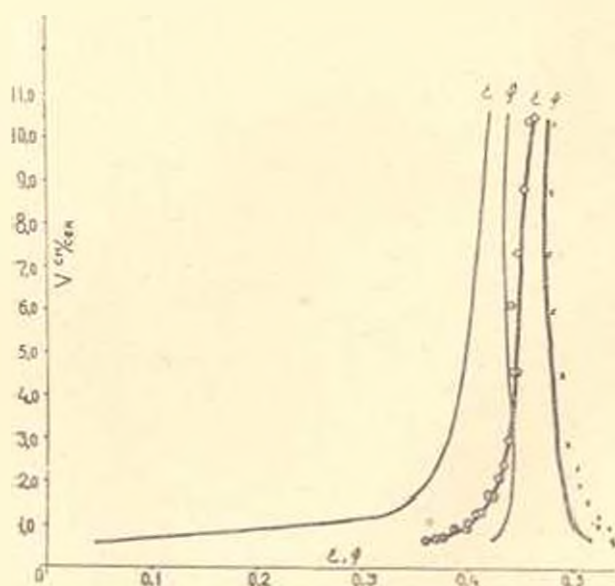


Рис. 5

этой концентрации α обусловлено только постоянством подачи жидкости Q_1 . Концентрация α зависит также от формы и направления входного участка конической трубки. Наибольшие значения α получаются в случае „б“ рис. 2. Однако, как установлено опытом, в этом случае не обеспечивается бесперебойная работа системы. Это обстоятельство

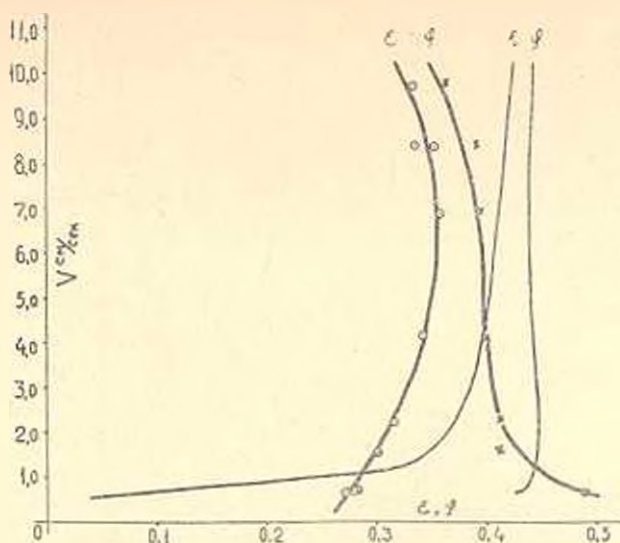


Рис. 6.

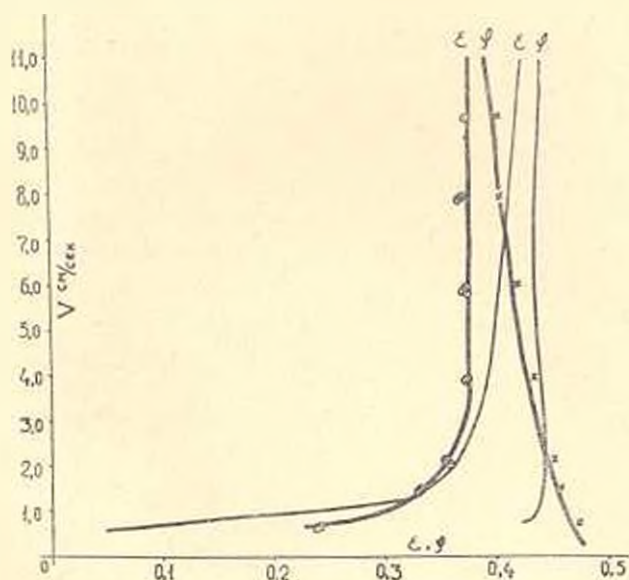


Рис. 7.

усугубляется при применении полидисперсной твердой фазы. Наиболее удобным и простым является случай „а“, который нами испытан и успешно применен для широкого диапазона изменений: диаметра монжусной трубы (от 1,5 до 81 мм); емкости аппарата „монжуса“ (от 0,5 л до 10 м³); скорости перемещения (от долей сантиметра до 4 м/сек.); крупности частиц (от 40 до 1000 микрон); плотности среды (жидкость и газ).

3. При малых значениях скорости v (см. рис. 3 ветвь 1, кривой 1) концентрация c с ростом v растет очень быстро. Малейшее изме-

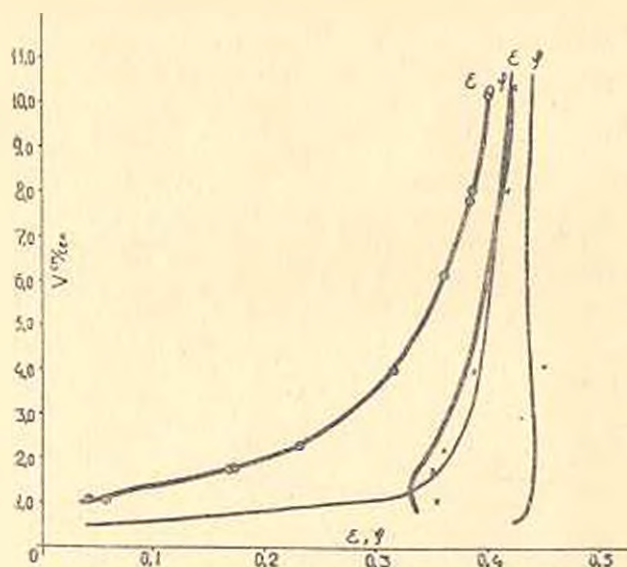


Рис. 8.

нение Q_1 (рис. 1) вызывает значительное изменение ε . Во второй ветви кривой 1 наоборот, неравноности в подаче жидкости Q_1 мало влияют на ε . При больших же значениях вообще ε перестает зависеть от скорости. В рассматриваемом случае (рис. 3), при скорости выше 12—13 см/сек, $\varepsilon \approx 0,422$. При любой крупности частиц, свойств среды и диаметра монжусовой трубы существует такое значение скорости v , когда ε доходит до определенного максимума и дальше с возрастанием v почти не меняется. Исходя из этого целесообразно работать при скоростях v обеспечивающих возможно большое значение ε . Это обеспечивает минимальный расход среды и максимальную производительность системы.

4. С целью получения непрерывного потока суспензии на любое длительное время, нужно снарядить две емкости 2, которые включаются в работу попеременно. Если условия работы требуют получения суспензии с малым ε , то любое ее значение можно получить путем последующего разбавления потока дополнительным количеством среды Q_2 как это показано на рис. 1. В этом случае уравнение (1) остается в силе, причем концентрация в расходе и скорость суспензии определяются выражениями:

$$\varepsilon = W/(Q_1 + Q_2), \quad (4)$$

$$v = (Q_1 + Q_2)/F. \quad (5)$$

5. Из (1) и приведенных в статье рисунков видно, что концентрация φ в трубке всегда больше концентрации в расходе ε . Это является результатом непрерывного отставания частиц от окружающей их жидкости. Это отставание равно скорости стесненного падения S или U . С увеличением скорости v влияние ССП на φ уменьшается и кривые 1 и 2 приближаются друг к другу. При очень больших значениях

ях скорости суспензии, когда величина ССП становится пренебрежимо малой по сравнению с η , эти две кривые сливаются, то есть $\varphi = \varepsilon$. Рисунки 3, 5, 6, 7, 8 показывают, что форма и направленность входного участка монжусовой трубы имеет сильное влияние на начальное значение ε и на ход ее изменения. В случае рис. 2б, псевдооживление материала и его проникновение в трубку 4 начинается при $\varepsilon = 0,36$. Здесь направления силы тяжести и движения среды на входном участке совпадают. Как уже указывалось (рис. 5) в этом случае значения ε и φ наибольшее и имеет место наименьший удельный расход среды на транспортирование твердой фазы. Однако, такая система очень склонна к забивкам. В случае рис. 2в псевдооживление и занос частиц в трубку 4 также начинается при сравнительно высоких начальных значениях ε . Однако с увеличением v концентрация ε сначала растет, а затем уменьшается (рис. 6). Участок $\varepsilon = \text{const}$ отсутствует.

В случае суженного отверстия (рис. 2г) начальное значение ε составляет 0,24 и при $v = 3 \text{ см/сек.}$ достигает своего постоянного и максимального значения 0,375. Это объясняется тем, что фактические скорости среды у входа в монжусовую трубу значительно больше скоростей в самой трубе (на рис. 7 указаны последние). Дальнейшее сужение входного отверстия приводит к дальнейшему уменьшению максимального значения ε . Этот случай представляет интерес, если потребуется с самого начала иметь сравнительно малое, но постоянное значение ε при малых скоростях расхода.

При уширенном входном отверстии, рис. 2д, псевдооживление происходит при больших скоростях среды (рис. 8) с малыми значениями начальной ε . Тенденция к постоянству ε наблюдается при сравнительно больших скоростях v . Вероятно этот случай не представляет интереса.

Институт органической химии
АН Армянской ССР

Поступило 15.X.1962 г.

Ա. Մ. ԿԱՍՊԱՐՅԱՆ, Բ. Ե. ՀԱՊՈՐՅԱՆ, Ժ. Հ. ՂԱԶԱՆՉՅԱՆ

ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ԲԱՂԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ՆՐԿԱԾ ՀՈՈԱՆՔԻ ՄՏԱՅՈՒՄԸ

Ա. մ փ ո փ ո լ մ

Արտադրական պրոցեսները, ինչպես նաև գիտահետազոտական աշխատանքների համար, որոնք տարվում են երկֆազ սխեմաների անընդհատ հոսանքով, կարևոր նշանակություն ունի երկֆազ սխեմանի բաղադրություն հաստատունությունը, առանց որի տեղնար է ստանալ հոսման ստացվածքը սեփականությունը հաղորդման մեջ նկարագրվում է հաստատուն բաղադրություն երկֆազ հոսանքի ստացման բարձրագույն տարրը (նկ. 1) և բերվում են $\varepsilon = f(v)$,

Գ-ի (Վ) կապակցությունները (նկ. 3, 5—8) մոնոտոնային խողովակի 5 սարքեր ձևերի մուտքի մասերի (նկ. 2) համար:

Այդ նկարներում Վ-ի և Է-ի, ինչպես նաև Գ-ի և Զ-ի արժեքները, որոնք նշանակված են խաչերով, ստացված են փորձից, իսկ Գ-ի հոծ կորը հաշվված է տեսականորեն, օգտվելով (1) և (2) հավասարումներից: Փորձերը կատարված են 0,42 և 0,32 մմ ֆրակցիայի կվարցային ավազի համար:

Կատարված հետազոտություններից ստացված է, որ՝

1. Մոնոտոնային խողովակում դոլայացած երկֆազ հոսանքը ճիշտ նկարագրվում է (1) հավասարումով:

2. Ըստ նկ. 1 սխեմայի, Է-ի հաստատուն լինելը պայմանավորված է միայն արժեք ջրի հաստատուն լինելով:

3. Է-ի արժեքը կախված է նաև մոնոտոնային խողովակի մուտքի մասի ձևից և ուղղությունից (տես նկ. 2 և 3, 5—8):

4. Վ-ի փոքր արժեքների դեպքում Է-ի արժեքը կախված է Վ-ից: Վ-ի մեծացման հետ Է-ի արժեքն էլ մեծանում և հասնում է մի հաստատուն մեծության, որից հետո այլևս Վ-ն Է-ի արժեքի վրա զգալիորեն չի ազդում:

5. Եթե հարկավոր է ստանալ Է-ի հաստատուն փոքր արժեքներ, պետք է ստացված խոստումը լրացուցիչ կերպով հոսրացնել ջրով: Այդ դեպքում Է-ի և Վ-ի արժեքները պետք է հաշվել (4) և (5) հավասարումներով:

6. Մեծ դիսպարսիոն փորձարկման է ենթարկված մոնոտոնային խողովակի մուտքի մասի նկ. 2_ա ձևը, մոնոտոնային խողովակի տրամագիծը 1,5 միլիմետր 81 մմ, մոնոտոնային տարողությունը 0,5 լիտրից մինչև 10 մ³, հոսման արագությունը տանորդական սանտիմետրից մինչև 4 մ/վրկ, մասնիկների մեծությունը 10-ից մինչև 1000 միկրոն, միջավայրի խտությունը 0,09 կգ/մ³-ից մինչև 1000 կգ/մ³ համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ա. Մ. Գասպարյան, Ա. Ա. Զամինյան, ДАН, Армянской ССР, т. XXVIII, 127, 1959.
2. Ա. Մ. Գասպարյան, Ա. Ա. Զամինյան, Բ. Է. Առոյան, Մ. Ս. Իսարյան. «Новые методы измерения и приборы для гидравлических исследований». Изд. АН СССР, М., 1961.
3. Ա. Մ. Գասպարյան, Մ. Ս. Իսարյան. «Известия АН Армянской ССР», серия ТН, т. XV, № 2, 1962.
4. Ա. Մ. Գասպարյան, Բ. Է. Առոյան. «Известия АН Армянской ССР», серия ТН, т. XIII, № 5, 1960.
5. Ա. Մ. Գասպարյան, Մ. Ս. Իսարյան. ДАН Армянской ССР, т. XXXV, 1962.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

В. Г. БЕГЛЯРОВ

ПРИМЕР РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ТЭС
И ГЭС НА ЦИФРОВОЙ МАШИНЕ

В Институте энергетики АН Армянской ССР, по алгоритму приведенному в [1] с помощью цифровой машины, был выполнен расчет оптимального режима работы одной гидроэлектростанции (ГЭС) при совместной работе с несколькими тепловыми электростанциями (ТЭС) Закавказской энергосистемы. Эквивалентная характеристика относительных приростов системы ТЭС была взята ориентировочно. Весь цикл регулирования был разбит на 24 условных отрезка времени дли-

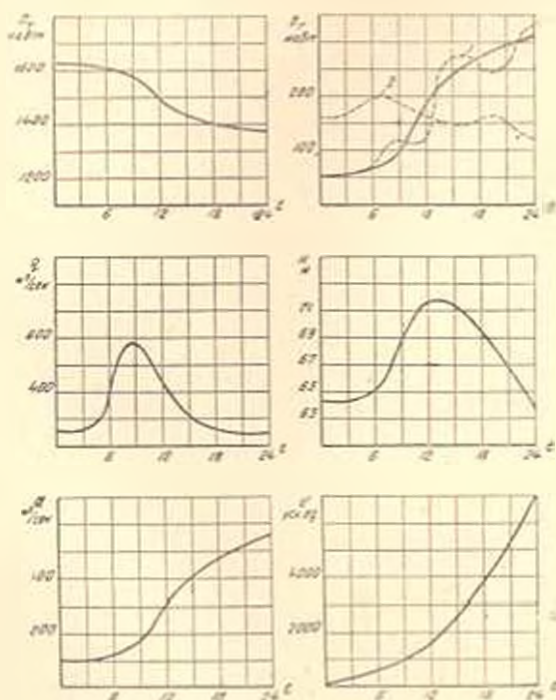


Рис. 1.

тельностью по 15 суток каждый. График средних нагрузок за год был принят постоянным (в действительности для рассматриваемой системы отклонения нагрузок от среднего значения составляют примерно 6%). Результаты расчета на цифровой машине приведены на рис. 1. В графике 3 рисунка приведена кривая приточности в водохранилище ГЭС,

использованная при расчете. Как частный случай, объем сработки воды из водохранилища был принят равным ожидаемому объему притока. На этом рисунке P_T и P_G — средние значения нагрузок ТЭС и ГЭС, Q — средние значения расходов воды через турбины, H — напор, V — объемы сработки воды из водохранилища в условных единицах (1 условная единица равна 1.296.000 м³).

Экономия топлива составила по сравнению с одним из возможных режимов величину порядка 2,5%. При этом средняя нагрузка ГЭС за весь цикл регулирования составляла примерно 12% от средней нагрузки системы. Колебания напора находились в пределах примерно 10% от максимального напора для данной ГЭС. Этот пример позволяет определить ориентировочно тот экономический эффект, который можно ожидать по Закавказской энергосистеме при внедрении оптимальных режимов. При удельном весе ГЭС в системе порядка 50% и при максимально возможном колебании напора, лежащих для большинства Закавказских ГЭС в пределах 3–5%, экономия топлива может составить величину порядка 4–6%.

Рассматривая кривые оптимальных нагрузок станций и принимая во внимание, что кривая нагрузок ТЭС, как уже указывалось в [1], должна быть всегда монотонно убывающей, легко заключить, что в общем случае переменного графика нагрузки энергосистемы, например, при его колебании около некоторого среднего значения, кривая нагрузок ГЭС будет иметь при общей тенденции к возрастанию конечное число локальных максимумов и минимумов, как это изображает пунктирная линия на втором графике рис. 1. В том случае, когда кривая нагрузки системы имеет тенденцию к убыванию в рассматриваемом интервале времени, кривая нагрузок ГЭС может иметь вид, изображенный пунктирной линией 2 на том же рисунке. Расчеты были выполнены в Вычислительном центре АН Армянской ССР по программе, составленной сотрудницей ИНЭН М. М. Адонц. Время расчета с учетом печати составило восемь минут.

Институт энергетики
АН Армянской ССР

Поступило 19.IV, 1962 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бегляров В. Г. Оптимальные режимы энергосистем. Известия АН Армянской ССР (серия ТН) т. XV, № 1, 1962 г.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

М. Г. ХАЧИЯН

ЛАБОРАТОРНЫЙ ВИБРАЦИОННЫЙ СТОЛ

Тарировка акселерографов в большинстве случаев производится с помощью однокомпонентных гармонических вибрационных столов с механическим (центробежный, эксцентриковый), электродинамическим или пьезоэлектрическим приводом [1]. В вибростолах с механическим приводом затруднена регулировка амплитуды и частоты колебания, а также велико влияние паразитных вибраций. Возбудителем колебаний в вибрационных столах с электродинамическим или электромагнитным приводом служит силовая катушка питающаяся от генератора переменного тока. От действия переменного магнитного поля силовой катушки, вибростол приходит в колебательное движение.

Автором заметки для тарировки виброизмерительных приборов, сконструирован вибрационный стол с электромагнитным приводом. Питание электромагнита производится от двух генераторов типа ГЗ-2, которые имеют диапазон частот от 20 до 20.000. Низкочастотные токи получают модуляцией двух частот от двух генераторов в результате биения. Частоты биения зависят от разности частот генераторов. После детектирования и фильтрации на выходе получают синусоидальные колебания требуемой частоты. Начальная частота выбирается порядка 200 герц. Электрическая схема преобразования частот приведена на рис. 1.

Надо отметить, что генераторы ГЗ-2 маломощные и при относительно большой массе и жесткости стола они не были в состоянии создать вынужденные колебания с необходимой амплитудой. Имея в виду это обстоятельство создавалось резонансное состояние, при котором частота возбуждающего тока, совпадала с частотой свободных колебаний стола.

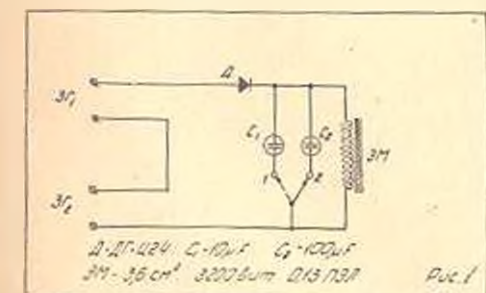


Рис. 1.

Амплитуда колебания регулировалась путем изменения степени модуляции. Платформа вибрационного стола размерами в плане 30X40 см была подвешена на четырех стальных лентах длиной по 30 см. Эти стальные подвески исключили возможность вертикальных и кру-

тильных колебаний платформы. Частота собственных колебаний стола менялась удлинением или укорочением свободной длины лент. Для поглощения колебаний высших порядков пустоты внутри ножек стола были залиты битумом. Конструкция вибростола показана на рис. 2.



Рис. 2

При замене стальных лент более жесткими можно расширить диапазон необходимых частот. На вибранионном столе счонгированы приборы позволяющие регистрировать амплитуду колебания, скорость и ускорение стола и гнрируемого прибора. В осуществленном вибростоле можно соб-

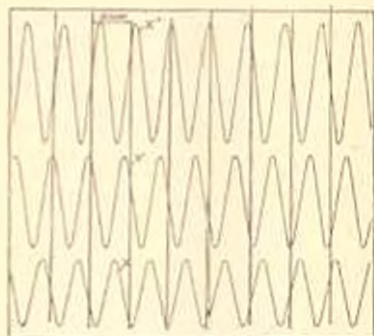


Рис. 3.

ственные колебания изменять в пределах от 2 до 60 герц, получать ускорения от 0 до $g/2$ и измерять смещения от 0,01 до 0,5 мм при полном отсутствии паразитных колебаний. На рис. 3 приведена запись смещения, скорости и ускорения стола.

Армянский НИИ
строительных материалов и сооружений

Поступило 5.IX.62 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Норриш Ю. И. Измерение вибрации. Машин., М., 1956.

Յ Ո Վ Ա Ն Գ Ա Կ Ո Ւ Ք Յ Ո Ւ Ն

«Հայկական ՍՍԻԻ ԴԱ սեղեկագրի» (Տեխնիկական գիտությունների սկսիա) XV ճատորի

Կիրառական մեխանիկա

- Ա. Գ. Նուգարով. Գինյ մարմինների մեխանիկական շահանքային և շինարարական կոնստրուկցիաների և կառուցվածքների սեյսմակայունության մեխանիկական հիմունքներ (հաղորդում Բ) 6—2
- Ն. Կ. Սնիսկո. Ի. Ի. Կոնդուրով. Ալյումինիումի շարժման կայունությանը բնական-նական առանձնաձևերի գնահատում 3—11

Հասկողական հեխնիկա

- Պ. Ա. Լաբլուսյան. Անընդհատ դարձողական մեքենաների վրա էլեկտրական չզննարկի մոտավորապես հաշվարկման լուծման հարցի վերաբերյալ 2—1

Խճեկերական սկզբնական

- Է. Ս. Խաչիյան. Սեղեկ հերթաշարների տեխնիկականների հիման վրա կառուցվածքների սեյսմակայունության հաշվարկ (հաղորդում 1) 3—1
- Է. Ս. Խաչիյան. Սեղեկ հերթաշարների տեխնիկականների հիման վրա կառուցվածքների սեյսմակայունության հաշվարկ (հաղորդում 2) 3—3
- Ս. Ա. Փիլիսովյան. Դործիքային գերաբեկումների վրա հիմնված սեյսմիկ մեկնողականության մասին 4—43

Կիրառական մեխանիկական

- Ա. Ս. Լիսիյան. Սեղեկ լծի ափսոսանքի բրիգանների մասին և ծածկույթի ջերմաստիճանի իրական բաշխման մեխանիկական հաշվարկի լուծման հարցի վերաբերյալ (հաղորդում 1) 5—15
- Ա. Ս. Լիսիյան. Սեղեկ լծի ափսոսանքի բրիգանների մասին և ծածկույթի ջերմաստիճանի իրական բաշխման մեխանիկական հաշվարկի լուծման հարցի վերաբերյալ (հաղորդում 2) 6—13

Հյեկտրատեխնիկա

- Յու. Ս. Շոկոլովյան. Բարդ էլեկտրական սխեմաների զուգորդման կայունության ուղղման առանձնահատկությունները 1—3
- Յու. Ս. Շոկոլովյան. Անտիդ և հեղուկի չզոգումայինների ընդունող սխեմայի շինարարական էլեկտրական սխեմայի կայունի առանձնահատկությունները 3—33

Հյեկտրատեխնիկական

- Վ. Գ. Ռեզյայարով. Էներգոսխեմանների ուղղմում ուղղման 1—25
- Վ. Ս. Խաչիյան. Էներգոսխեմանի ցանցում չզոգումայինների կորուստի որոշման մեթոդ 1—13
- Վ. Ս. Խաչիյան. Հյեկտրական ցանցերում աղտերի չզոգումայինների կորուստի մեխանիկական որոշումը 5—33

Հիդրավիկա

- Ի. Լ. Լուկիյան. Էնթալպիայի զրոգումների մեխանիկական շահանքային հաշվարկի ուղղման մասին 1—35
- Ի. Լ. Լուկիյան. Ջրի շահանքային շարժումը կենտրոնական ուղղության մեջ խողովակներում 3—17
- Հ. Հ. Գլաբարյան. Ջրի շարժման զերոգում սեղեկ ուղղող առաջնահատկությունների լայնահատկան կարգավորի որոշման մասին 2—23

СОДЕРЖАНИЕ

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

№—стр.

Прикладная механика

- А. Г. Назаров.* О механическом подобии твердых тел и его применении к исследованию стропильных конструкций и сейсмостойкости сооружений (Сообщение 6) 0—3
- Н. К. Скитко, И. Н. Кандауров.* Устойчивость движения автоприцепа при поперечных колебаниях 2—11

Вычислительная техника

- П. А. Матевосян.* К вопросу решения матричных уравнений электрических цепей на машинах непрерывного действия 2—3

Инженерная сейсмология

- С. А. Пирузян.* О сейсмическом микрорайонировании на основе инструментальных наблюдений 4—43
- Э. Е. Хачиян.* Расчет сооружений на сейсмостойкость по акселерограммам сильных землетрясений (Сообщение 1) 3—3
- Э. Е. Хачиян.* Расчет сооружений на сейсмостойкость по акселерограммам сильных землетрясений (Сообщение 2) 5—3

Прикладная метеорология

- А. М. Мхитарян.* О бризах в бассейне озера Севан и некоторых результатах их расчета по фактическому распределению температуры подстилающей поверхности (Сообщение 1) 5—15
- А. М. Мхитарян.* О бризах в бассейне озера Севан и некоторых результатах их расчета по фактическому распределению температуры подстилающей поверхности (Сообщение 2) 6—13

Электротехника

- Ю. М. Шахназарян.* Особенности проверки результирующей устойчивости сложных электрических систем 1—3
- Ю. М. Шахназарян.* Активная и реактивная мощности у шин приемной системы при асинхронном ходе станций электрической системы 3—33

Электроэнергетика

- В. Г. Бегляров.* Оптимальные режимы энергосистем 1—25
- В. С. Хачатрян.* Методика расчета потерь мощности в сетях энергосистемы 1—13
- В. С. Хачатрян.* Минимизация потерь активной мощности в электрических сетях 5—33

Гидравлика

- Б. Л. Буниятян.* О неустановившихся режимах движения жидкости в напорных водоводах 1—35

- Б. Л. Бунинян.* Неустановившееся движение воды в нагнетательных грубо-проводах центробежных насосов 3—17
- А. О. Гамбарян.* О „неполном“ профиле поперечного сечения быстрого тока со сверхтурбулентным режимом движения воды 2—23
- Г. А. Симонян.* Определение пропускной способности бокового водослива с острым ребром в прямоугольном призматическом русле 1—45
- Г. А. Симонян.* Возможные формы свободной поверхности потока в призматических руслах на участке бокового водослива 2—33

Гидротехника

- С. С. Аветисян.* Траектория движения капли при отрывном обтекании 5—51
- И. В. Егиазаров.* Водные ресурсы и борьба с испарением воды с поверхности малых и больших водоемов 4—13
- Л. Г. Петросян.* Момент гидродинамического давления на водосливную плотину 3—27
- Л. Г. Петросян.* Кавитационный кризис расхода 5—43

Гидроэнергетика

- Б. Л. Бунинян.* Неустановившийся режим движения жидкости в реактивных гидротурбинах (Сообщение 1) 4—3
- К. Х. Овсепян, А. С. Мелконян.* Учет гидромеханических параметров при расчете ресинхронизации гидроагрегатов 6—33

Гидрология

- Э. А. Атаян.* О вариации стока рек Армянской ССР 2—41
- А. Н. Зак.* Средний сток и его изменчивость по рекам Армянской ССР 1—53
- Ш. А. Шахбазян.* К методике использования стохастического моделирования гидрологических рядов в исследовании многолетних колебаний стока 5—59

Строительные конструкции

- В. В. Пинаджян, Р. С. Аветисян.* Статическая и усталостная прочность струнотонных балок (Сообщение 1) 3—11
- В. В. Пинаджян, Г. М. Канемян, Р. С. Аветисян.* Статическая и усталостная прочность струнотонных балок (Сообщение 2) 4—35
- А. Б. Пирадов.* Исследование трещинообразности предварительно напряженных образцов на осевое растяжение 6—41
- Л. В. Шахсугарян, Ж. Г. Захарян.* Прочность и деформативность однослойной кладки из туфовых камней правильной формы 5—67

Строительные материалы

- А. А. Аракелян.* О деформационных свойствах цементных растворов 3—51

Химическая технология

- А. М. Гаспарян, Н. С. Икряян.* Стесненное падение частиц (Сообщение 4) 2—49
- А. М. Гаспарян, Н. С. Икряян.* Стесненное падение частиц (Сообщение 5) 4—53
- А. М. Гаспарян, Р. Е. Акопян, Ж. А. Казанчин.* Получение двухфазного потока постоянного состава 6—49

Научные заметки

- Р. С. Аветисян.* Об усталостной прочности предварительно напряженных железобетонных балок 2—63
- В. Г. Бегларов.* Пример расчета оптимального режима ТЭС и ГЭС на цифровой машине 6—57
- М. Г. Хачин.* Малогабаритный жидкостный акселерограф 4—65
- М. Г. Хачин.* Лабораторный вибрационный стол 6—59
- М. В. Эдилян.* Несимметричные шатуновые кривые шарнирного четырехзвенника 2—59

Ր Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

Կիրառական մեխանիկա

էշ

- Ա. Դ. Նազարով. Պինդ մարմինների մեխանիկական նմանություն և շինարարական կոնստրուկցիաների ու կառուցվածքների սխեմատիկությունների մեջ երա կիրառման մասին (Հաղորդում 6) 3

Կիրառական մեխանություն

- Ա. Մ. Մխիթարյան. Միանա լճի ռավազանի բրիզների մոսախի և ժածկույթի շերմաստիճանի իրական բաշխման միջոցով նրանց հաշվման մի բանի արդյունքները (Հաղորդում 2) 13

Հիդրոէներգետիկա

- Կ. Խ. Հովսեփյան, Ա. Ս. Մելիքյան. Հիդրոտեխնիկական պարամետրերի հաշվառումը հիդրոպոմպերի ռեզինիստիկայի հաշվառման ժամանակ 35

Շինարարական կոնստրուկցիաներ

- Ա. Ս. Պիրադով. Ծոռանցք նախապարված նմուշների առանցքային ձգման ուսումնասիրությունը 41

Ֆիզիկական հեղուկոցիտ

- Ա. Ս. Դասոյան, Ռ. Ն. Հակոբյան, Ժ. Հ. Ղազանչյան. Հաստատուն քաղաքության երկֆազ հոսանքի ստացումը 49

Գիթական նոթեր

- Վ. Գ. Ռեզյատով. Հաշվիչ մեքենայի միջոցով կատարված քերականկտրակայանների հա. մատնող աշխատանքի հաշվարկի օրինակ 57
Մ. Գ. Խաչիյան. Հաքորատորային վերբաղիտն սեղան 59
Իոմանդակություն XV հատորի 61

СОДЕРЖАНИЕ

Cup.

Прикладная механика

- А. Г. Назаров. О механическом подобии твердых тел и его применении к исследованию строительных конструкций и сейсмостойкости сооружений
Сообщение 6. 3

Прикладная метеорология

- А. М. Мхитарян. О брызгах в бассейне озера Севан и некоторые результаты их расчета по фактическому распределению температуры подстилающей поверхности. Сообщение 2. 13

Гидроэнергетика

- К. Х. Овсепян, А. С. Мелконян. Учет гидромеханических параметров при расчете ресинхронизации гидроагрегатов 33

Строительные конструкции

- А. Б. Гиравдов. Исследование гредоско предварительно напряженных образцов на осевое растяжение 41

Химическая технология

- А. М. Гаспарян, Р. Б. Акопян, Ж. А. Казанчян. Получение двухфазного потока постоянного состава 49

Научные заметки

- | | |
|--|----|
| В. Г. Бегляров. Пример расчета оптимального режима ТЭС и ГЭС на цифровом
машине | 57 |
| М. Г. Хачиян. Лабораторный вибрационный stand | 59 |
| Содержание XV тома | 63 |



БФ 00681

31813 463

Изд. 2227

Тираж 550

Състав и производство 26. IX 1962 г. Подписано и печати 25. X II 1962 г.

Лсч. а. 4 1/2. Бумага 70X108¹ 14.

Гипография Издательства Академии наук Армянской ССР, Ереван, Барскамутия, 24