

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ.
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈՒՆԴԻՈՒ

Աղոնց Հ. Տ., Ալեքսեևսկի Վ. Վ., Գապարյան Ա. Մ., Եղիազարյան Ի. Վ., Կասյան Մ. Վ., Նազարով Ա. Գ. (պատ. խմբագիր), Սիմոնով Մ. Զ., Տեր-Ստեփանյան Գ. Ի., Փինաջյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ):

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

А. Г. НАЗАРОВ

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

С о о б щ е н и е 7

Здесь мы остановимся на некоторых вопросах, связанных с подбором модельного материала по деформационным свойствам.

§ 1. Подбор модельного материала в пределах закона Гука

Будем полагать, в дальнейшем, что конструкция претерпевает достаточно малые перемещения под воздействием внешних нагрузок, в силу чего можно допустить множитель подобия γ для деформаций отличным от единицы [1].

Изотропное упругое тело характеризуется двумя упругими постоянными, например, модулем Юнга E и коэффициентом Пуассона ν . Если для модели эти постоянные соответственно обозначим через E' и ν' , то условия подобия приводят к требованию

$$E' = \frac{\beta}{\gamma} E, \quad \nu' = \nu. \quad (1)$$

Отсюда следует, что два материала, подчиняющихся закону Гука подобны между собою, если для них одинаковы коэффициенты Пуассона. Мы видим также, что в экспериментальных работах имеется возможность один и тот же модельный материал реализовать бесчисленным множеством способов, путем подбора величин множителей подобия β и γ , лишь бы их отношение было постоянно. Обстоятельство это позволяет допускать значительную гибкость при экспериментировании с моделями в пределах упругих деформаций.

Во многих случаях возможно также пренебрежение различиями в значениях коэффициента Пуассона для материалов оригинала и модели без ущерба для точности моделирования.

К таким задачам относятся, например, часто встречающиеся на практике различного рода стержневые и рамные системы, плоская задача теории упругости применительно к односвязной области, случаи когда существенно преобладают или только нормальные напряжения или только тангенциальные и пр.

Таким образом, в некоторых случаях, для модели можно принимать материал не подобный материалу оригинала при соответствующем обосновании. Это равносильно утверждению, что в некоторых случаях экспериментирования можно приближенно считать все модельные материалы в пределах закона Гука подобными между собою. Если упругие материалы хрупки и требуется осуществлять моделирование до стадии разрушения включительно, то для осуществления подобия между материалами значения β и γ должны быть вполне определенными. Действительно, если предел прочности для материала оригинала R , а для материала модели R' , то должно быть соблюдено обязательное условие

$$\frac{R'}{R} = \beta. \quad (2)$$

Значение же множителя подобия γ определится из условия

$$\gamma = \beta \frac{E}{E'}. \quad (3)$$

§ 2. Подбор модельного материала с учетом деформаций за пределами упругости

Эта задача значительно сложнее предыдущей. Просто разрешается лишь случай, когда диаграммы деформация — напряжение (индикаторные кривые) материалов оригинала и модели подчиняются схеме Прандтля, при различных модулях упругости E и E' и различных пределах текучести σ_s и σ'_s [2]. Для этого случая можно в точности указать значение множителей подобия из условий

$$\beta = \frac{\sigma'_s}{\sigma_s}, \quad E' : E = \beta : \gamma. \quad (4)$$

В общем случае наверное трудно подобрать материал модели так, чтобы он удовлетворял условиям подобия применительно к материалу оригинала, т. е., чтобы индикаторные кривые могли бы быть в точности преобразованы одна в другую при множителях подобия β и γ . Поэтому речь может идти, в основном, лишь о приближенном преобразовании этих кривых. Положим, что индикаторная кривая для оригинала подчинена закону $\sigma(\epsilon)$, а индикаторная кривая для модели $\sigma'(\epsilon')$. Необходимо подобрать такие значения β и γ , чтобы кривые $\sigma'(\epsilon')$ и $\beta\sigma(\gamma\epsilon)$ возможно меньше различались между собою. В теории приближений функций осуществляется сопоставление ординат сравниваемых функций при одних и тех же абсциссах. Здесь же задача усложняется тем, что ординаты обеих сопоставляемых функций должны отвечать различным абсциссам из-за существования множителя γ , что вносит специфические затруднения в отыскании наилучшего приближения между функциями $\sigma'(\epsilon')$ и $\beta\sigma(\gamma\epsilon)$.

Ниже приводим попытку решения этой задачи по способу наименьших квадратов. Обозначим через ε_1 крайнюю абсциссу индикаторной кривой оригинала, которая отвечает максимальной относительной деформации, допущенной к рассмотрению при анализе сопротивляемости конструкции силовым воздействиям. Тогда речь должна идти об отыскании минимума следующей функции

$$f(\beta, \gamma) = \int_0^{\varepsilon_1} [\sigma'(\gamma \varepsilon) - \beta \sigma(\varepsilon)]^2 d\varepsilon. \quad (5)$$

Для выполнения условий, обеспечивающих минимум функции $f(\beta, \gamma)$ должно иметь место:

$$\frac{\partial f}{\partial \beta} = 0, \quad \frac{\partial f}{\partial \gamma} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial \beta^2} \cdot \frac{\partial^2 f}{\partial \gamma^2} - \left(\frac{\partial^2 f}{\partial \beta \partial \gamma} \right)^2 > 0, \quad (7)$$

при условии

$$\frac{\partial^2 f}{\partial \beta^2} > 0. \quad (8)$$

Из (6) следует:

$$\frac{\partial f}{\partial \beta} = -2 \int_0^{\varepsilon_1} [\sigma'(\gamma \varepsilon) - \beta \sigma(\varepsilon)] \sigma(\varepsilon) d\varepsilon, \quad (9)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \gamma} = 2 \int_0^{\varepsilon_1} [\sigma'(\gamma \varepsilon) - \beta \sigma(\varepsilon)] \frac{\partial \sigma'(\gamma \varepsilon)}{\partial \gamma} d\varepsilon, \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial \beta^2} = 2 \int_0^{\varepsilon_1} \sigma^2(\varepsilon) d\varepsilon, \quad (11)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial \gamma^2} = 2 \int_0^{\varepsilon_1} \left\{ \left(\frac{\partial \sigma'(\gamma \varepsilon)}{\partial \gamma} \right)^2 + [\sigma'(\gamma \varepsilon) - \beta \sigma(\varepsilon)] \frac{\partial^2 \sigma'(\gamma \varepsilon)}{\partial \gamma^2} \right\} d\varepsilon, \quad (12)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial \beta \partial \gamma} = -2 \int_0^{\varepsilon_1} \sigma(\varepsilon) \cdot \frac{\partial \sigma'(\gamma \varepsilon)}{\partial \gamma} d\varepsilon. \quad (13)$$

Для каждого конкретного случая установление условий минимума должно быть проведено особо. Здесь мы ограничимся лишь общим анализом для показа конкретности задачи в рассматриваемой постановке.

При точном решении задачи должно быть выполнено условие

$$\sigma'(\gamma \varepsilon) = \beta \sigma(\varepsilon). \quad (14)$$

Подставляя это условие в (9) и (10), мы видим, что требования (6)

выполняются. Из выражения (11) следует, что и требование (8) также выполняется.

Наконец, имея ввиду выражения (11), (12), (13), выражение (8) перепишем в следующем виде, без общего множителя 2:

$$\int_0^{\varepsilon_1} \varepsilon^2 d\varepsilon \cdot \int_0^{\varepsilon_1} \left(\frac{\partial \sigma'(\gamma \varepsilon)}{\partial \gamma} \right)^2 d\varepsilon - \left[\int_0^{\varepsilon_1} \sigma(\varepsilon) \cdot \frac{\partial \sigma'(\gamma \varepsilon)}{\partial \gamma} d\varepsilon \right]^2 > 0.$$

Полученное выражение представляет собою неравенства Шварца, стало быть выполняется и условие (7). В неравенстве Шварца в качестве частного случая может иметь место и равенство. Но эта деталь не существенна, так как достаточно слегка изменить форму одной из эмпирически заданных функций $\sigma = f(\varepsilon)$ или $\sigma' = f(\varepsilon')$, чтобы равенство нарушилось в требуемом направлении. Итак, задача в рассматриваемой постановке действительно является разрешимой и она может быть рекомендована для практических целей. Прямое использование изложенного выше приема вычисления вызывает ряд затруднений, хотя и преодолимых, но требующих громоздких вычислений. Ниже предлагаем следующий упрощенный способ определения оптимальных значений β и γ на основе ряда попыток. Он обладает по сравнению с предыдущим методом также тем преимуществом, что можно более дифференцированно подходить к выбору сходственных граничных точек на осях ε и ε' . На рис. 1 а, б показаны индикаторные кривые для $\sigma(\varepsilon)$ и $\sigma'(\varepsilon')$ для оригинала и модели.

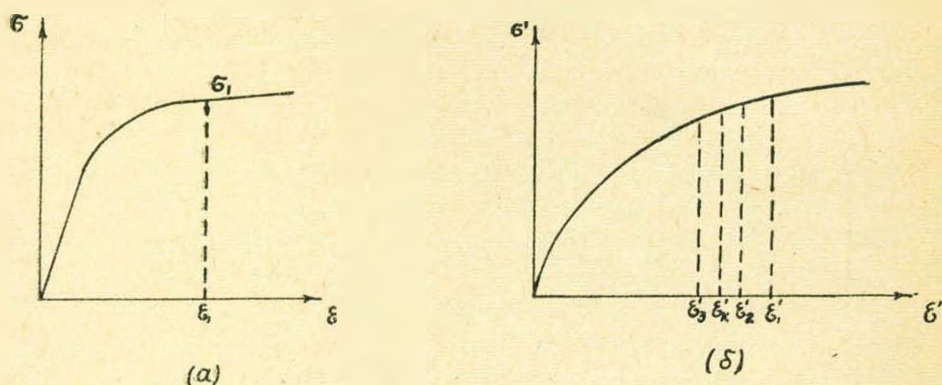


Рис. 1.

Положим, что на индикаторной кривой материала оригинала $\sigma(\varepsilon)$, точка $(\varepsilon_1, \sigma_1)$ является предельной при расчете оригинала на силовые воздействия. На диаграмме модели на абсциссе ε' задаемся точкой ε' , которую принимаем сходственной точке ε_1 . Тогда автоматически определится значение множителя подобия

$$\gamma_1 = \frac{\varepsilon'_1}{\varepsilon_1}.$$

Теперь требуется определить оптимальное значение β такое, чтобы кривые $\sigma = f(\varepsilon)$ и $\sigma' = f(\varepsilon')$ после аффинного преобразования $\sigma' = \beta \sigma$ возможно менее уклонялись бы друг от друга. Для этого абсциссы рис. 1а следует помножить на уже определенный нами множитель подобия γ_1 , а ординаты на неизвестный пока нам множитель подобия β с тем, чтобы полученная кривая возможно менее отличалась от кривой на рис. 1а. Оптимальную величину множителя $\beta = \beta_1$, при заданном нами значении $\gamma = \gamma_1$, будем определять по способу наименьших квадратов, то-есть по минимуму следующего выражения:

$$f(\beta) = \int_0^{\varepsilon_1} [\sigma'(\gamma_1 \varepsilon) - \beta \sigma(\varepsilon)]^2 d\varepsilon. \quad (15)$$

Отсюда находим из $\frac{df}{d\beta} = 0$, что

$$\beta_1 = \frac{\int_0^{\varepsilon_1} \sigma^2(\gamma_1 \varepsilon) \sigma(\varepsilon) d\varepsilon}{\int_0^{\varepsilon_1} \sigma^2(\varepsilon) d\varepsilon}. \quad (16)$$

Далее мы подбираем на оси абсцисс индикаторной кривой (ε', σ') точку $\varepsilon' = \varepsilon_2$. Тогда получим второе приближение

$$\gamma_2 = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}. \quad (17)$$

Повторяя вычисление найдем новое оптимальное значение для $\beta = \beta_2$. Таким же путем находим пары значений γ_3, β_3 и т. д.

Подставляя эти значения в формулу (6), мы получим ряд значений $f(\beta_1, \gamma_1), f(\beta_2, \gamma_2)$ и т. д. Из них мы принимаем ту пару значений β_k, γ_k , при которой $f(\beta, \gamma)$ принимает наименьшее значение. Для большего упрощения вычислений можно принять $\Delta\varepsilon$ постоянным, и наметить точки $\varepsilon = 0, \varepsilon_1 = \Delta\varepsilon, \varepsilon_i = i\Delta\varepsilon$ и т. д., тогда формулы (6) и (16) представятся в следующем виде:

$$f(\beta, \gamma) = \sum [\sigma'(\gamma \varepsilon_i) - \beta \sigma(\varepsilon_i)]^2, \quad (18)$$

$$\beta = \frac{\sum \sigma'(\gamma \varepsilon_i) \sigma(\varepsilon_i)}{\sum \sigma^2(\varepsilon_i)}.$$

Положим, что наш выбор остановился на паре множителей подобия β_k, γ_k . При проведении экспериментальных работ неизменно следует иметь ввиду, чтобы ни в одной точке модели максимальная деформация не превышала $\varepsilon_k = \gamma_k \varepsilon_k$, так как в этом случае условия подобия могут оказаться сильно искаженными. Таким путем мы рекомендуем осуществлять приближенное моделирование, когда материалы не являются в точности подобными между собою.

Возникает вопрос, какова может быть максимальная погрешность за счет неполного подобия материалов модели и оригинала. Это требует специального исследования применительно к каждому конкретному случаю. Мы можем предложить следующий грубый прием, который, по-видимому, во многих случаях будет приводить к оценке погрешности с запасом.

На рис. 2 приведена индикаторная кривая модельного материала, с наложенной на нее преобразованной индикаторной кривой материала оригинала при выбранных множителях подобия β_k и γ_k .

Положим, что мы располагаем двумя брусками из материалов для оригинала и модели. Пусть они находятся под сходственными напряжениями σ_0 и $\sigma_0 = \beta_k \sigma_0$. В силу того, что материалы не в точности подобны, не имеют места равенства между сходственными деформациями ε_0 и $\varepsilon_0 = \gamma_k \varepsilon_0$.

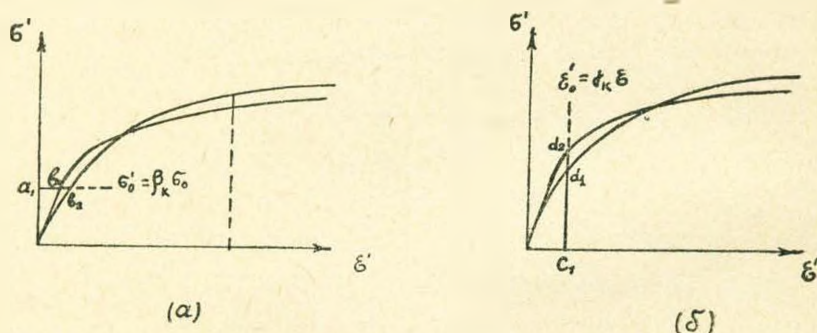


Рис. 2.

Для оценки отклонения от этого равенства можно взять следующее отношение

$$\left| \frac{\varepsilon' - \gamma_k \varepsilon}{\varepsilon} \right|.$$

На рис. (2а) этому отношению отвечает отношение длин отрезков

$$\left| \frac{a_1 b_2 - a_1 b_1}{a_1 b_1} \right|.$$

За меру отклонения можно принять величину

$$\max \left| \frac{\varepsilon' - \gamma_k \varepsilon}{\varepsilon'} \right|. \quad (19)$$

Это будет максимальное отношение, отвечающее невыгоднейшему значению осевого растягивающего напряжения. Ясно, что во всех других случаях, например, при изгибе, это отношение будет достигать меньшей величины.

Возьмем другой случай, когда деформации обоих брусков заданы и они соответственно равны ε_0 и $\varepsilon_0 = \gamma_k \varepsilon_0$. Тогда сходственные напряжения не будут в точности подобными. Для оценки отклонения от этого равенства можно принять следующее отношение

$$\left| \frac{\sigma_0 - \beta_k \sigma_0}{\sigma_0} \right|.$$

На рис. 26 этому отношению отвечает отношение длин отрезков

$$\left| \frac{c_1 d_2 - c_1 d_1}{c_1 d_2} \right|.$$

За меру отношения можно взять величину

$$\max \left| \frac{\sigma' - \beta_k \sigma}{\sigma'} \right|, \quad (20)$$

При действительных распределениях напряжений и деформаций, рассматриваемые меры отклонений будут по-видимому достигать меньших величин. В частности возможно было бы осуществлять подбор оптимальных значений β , γ таким образом, чтобы величины (19) и (20) достигали наименьших значений. Вообще способ подбора оптимальных значений β и γ , по-видимому, может в определенной мере зависеть от характера поставленной задачи и подлежит изучению для каждого конкретного случая в отдельности. Например, в тех случаях, когда имеют место большие пластические деформации, по-видимому не надо проявлять особенной заботы в точной аппроксимации индикаторной кривой в упругой зоне.

Собственно говоря, таким свойством обладает как раз метод наименьших квадратов. Но можно еще более усилить требование о более точной аппроксимации функций в зоне больших деформаций, для чего можно использовать какой-либо другой прием приближения, в частности, с использованием приближений по весу. Наиболее существенным в изложенном мы считаем то, что показана принципиальная возможность улучшения методов экспериментирования над моделями при условии всестороннего аналитического исследования выбора множителей подобия β и γ для обеспечения возможно точного подобия между оригиналом и моделью при приближенном моделировании.

§ 3. Подбор модельного материала с учетом статистики

Неоднородность материала как оригинала так и модели делает целесообразным во многих случаях осуществлять моделирование, исходя из условий подобия в статистическом смысле [3]. Простейшее решение этого вопроса заключается в следующем. Для материала оригинала, на основе испытания серии опытных образцов, устанавливают средние значения интересующих нас механических величин, а также их дисперсий и корреляций. При тех же условиях осуществляют испытания серии модельных образцов и для них также получают данные о средних величинах, дисперсиях и корреляциях. Если они удовлетворяют условиям статистического подобия, то материалы признаются подобными в статистическом смысле. В частности метод приближенного подбора оптимальных значений β и γ , данный в предыдущем параграфе, сохраняет свою силу и в случае статистического подобия. Необходимо лишь оперировать с осредненными индикаторными кривыми для материалов оригинала и модели.

§ 4. Подбор модельного материала для динамической нагрузки

При динамических процессах в строительных материалах большое значение имеет раскрытие петли гистерезиса, поскольку внутреннее трение для них зависит от площади, ограниченной петлей. Вязкое же сопротивление, обусловленное скоростью деформации, как известно, не имеет существенного значения в обычных строительных материалах. При точном подобии между индикаторными кривыми материалов оригинала и модели, одну индикаторную кривую можно превратить в другую с помощью аффинных преобразований

$$\sigma' = \beta \sigma, \epsilon' = \gamma \epsilon. \quad (21)$$

При этом, как было показано нами, подобие сохраняется и при динамических процессах. Однако обеспечение условий (21) в строении петель гистерезиса для обоих материалов является задачей практически неразрешимой. Здесь целесообразно воспользоваться результатом Писаренко, показавшего, что в первом приближении для затухания упругих свободных колебаний не имеют значения детали строения петли гистерезиса [4]. Декремент затухания колебаний с достаточной точностью характеризуется площадью, ограниченной петлей гистерезиса.

Обозначим максимальную упругую энергию, при циклических нагрузках, отнесенную к единице объема материала M , через U , а поглощенную энергию через W , тогда для материала M' должно быть

$$U' = \beta \gamma U, \\ W' = \beta \gamma W.$$

Таким образом, коэффициенты поглощения ψ материалов M и M' совпадают и равны.

$$\psi = \frac{W'}{U'} = \frac{W}{U}.$$

Если же совпадают коэффициенты поглощения, то должны совпадать и декременты затухания. Поэтому можно предложить следующий упрощенный критерий подобия между материалами в смысле поглощения энергии. Следует из материалов M и M' изготовить брусья. Путем прямых испытаний получить для них множители подобия β и γ . Далее этим брусьям сообщаются свободные колебания, для чего их следует подвесить и сообщить им удары. Если декременты затухания их свободных колебаний будут одинаковыми, то исследуемые материалы, из которых изготовлены брусья, можно считать подобными.

Если в моделируемой конструкции преобладают осевые напряжения, то пробные образцы лучше готовить в виде брусьев и их подвергать изгибным, а если возможно, продольным свободным колебаниям. Если же в конструкции преобладают сдвиговые деформации, то опытным образцам лучше всего придавать форму цилиндра или полого цилиндра и подвергать их свободным крутильным колебаниям.

Этот критерий подобия достаточно практичен, в особенности для одноосного напряженного состояния. Мы здесь не останавливаемся на проблеме поглощения энергии при сложном напряженном состоянии, так как в этом направлении нам неизвестны экспериментальные исследования, по крайней мере, в инженерной постановке. Некоторые соображения теоретического порядка нами рассмотрены в работе [5].

В случае, если модельный материал обладает меньшими демпфирующими свойствами, то не исключена возможность подключения к модели дополнительного демпфирующего устройства, компенсирующего недостаточность поглощения энергии моделью.

При такого рода исследованиях следует также иметь ввиду, что для модельного материала, в особенности низкомодульного, не исключена возможность значительно большей вязкости, нежели для материала оригинала. В этом случае в модели может иметь место затухание не только из-за статического гистерезиса, но и из-за вязкости материала. В этом случае декремент затухания свободных колебаний образцов из модельного материала будет возрастать с повышением частоты колебаний. Поэтому следует пытаться добиться примерно одинаковых декрементов затухания для оригинала и модели, хотя бы в пределах их основных частот свободных колебаний.

При знакопеременных нагрузках в области упруго-пластических деформаций, прямое установление подобия материалов значительно проще в смысле техники экспериментирования, так как имеется возможность прямого сопоставления форм петель гистерезиса и их площадей. Но подбор подходящего модельного материала, в таких случаях, не представляется простой задачей.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии

АН Армянской ССР

Поступило 15.X-62

Ա. Գ. ՆԱԶԱՐԵԱՆ

ՊԻՆԴ ՄԱՐՄԻՆՆԵՐԻ ՄԵՆԱՆԻԿԱԿԱՆ ՆՄԱՆՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ
ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐԻ ՈՒ ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔՆԵՐԻ ՍԵՅՍՄԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՄԵՋ
ՆՐԱ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

(Հաղորդում 7)

Ա մ փ ո փ ու մ

Սույն հաղորդագրության մեջ դիտարկվում է նյութերի նմանության ապահովման պայմանները՝ հիմնված նմանության ընդլայնված տեսության վրա: Հիմնական ուշադրությունը դարձված է առաձգական զոնայի և առաձգական զոնայից դուրս աշխատանքի համար նյութերի ընտրության վրա: Յույց է տրված, որ մոդելի և օրիգինալի նյութերի մոտավոր մոդելացման խնդիրը բերվում է հետևյալ մաթեմատիկական տեսքին: Տրված են օրիգինալի և մոդելի նյութերի համար $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ և $\sigma' = \sigma'(\varepsilon')$ ինդեկստորալին կորերը: Պետք է

դոնել լարվածության և դեֆորմացիայի համար երկու այնպիսի բազմապատկիչներ β և γ , որպեսզի ինդիկատորային կորերից մեկը մյուսին աֆինային փոխակերպման դեպքում ըստ $\sigma' = \beta\sigma$ և $\varepsilon' = \gamma\varepsilon$ օրենքի, ինդիկատորային կորերը հնարավորին չափ քիչ տարբերվեն միմյանցից: Այդ նպատակով օդտադործված է ամենափոքր քառակուսային եղանակը: Ապացուցված է նման դրվածքի դեպքում խնդրի կորեկտությունը, ինչպես և ցույց է տրված նրա լուծման պրակտիկ եղանակը [(6)–(18) բանաձևերը]: Յուցագրված է միանման դեֆորմացիաների դեպքում լարվածությունների տարբերության, ինչպես և միանման լարվածությունների դեպքում դեֆորմացիաների տարբերության գնահատման եղանակը, որը բերում է փորձարկման սխալի տարբերության գնահատմանը շատ դեպքերում մեծ պաշարով (19 և 20 բանաձևերը):

Յուցումներ են տրված նյութերի նմանության գնահատման համար վիճակադրական առումով նմանության դեպքում, ինչպես և զինամիկական երևույթների համար: Մասնավորապես ցույց է տրված, որ վերջին դեպքերի համար ի լրացում վիճակադրական առումով նմանության պայմանների բավարար է օրիգինալի և մոդելի նյութերի համար պահպանել նյութի էներգիայի կլանման զործակիցի հավասարությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Назаров А. Г. Известия АН Армянской ССР, серия технических наук, т. X, вып. 5, 1957.
2. Сагдиев Т. Г. Известия АН Таджикской ССР, 1960.
3. Назаров А. Г. Известия АН Армянской ССР, серия технических наук, т. XV, вып. 6, 1962.
4. Писаренко Г. С. Колебания упругих систем с учетом рассеяния энергии в материале, изд. АН Украинской ССР, Киев, 1955.
5. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Изд. АН Армянской ССР, 1959, Ереван.

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

К. М. ХУБЕРЯН

НАПРЯЖЕНИЯ В СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ ФЕРМЕ,
ОТВЕЧАЮЩИЕ НАИМЕНЬШЕМУ ЕЕ ВЕСУ ПРИ
ФИКСИРОВАННЫХ УСИЛИЯХ

С о о б щ е н и е 1

Задача о минимуме теоретического веса статически неопределимой фермы, рассматриваемого в виде функции усилий и напряжений при строгой ее постановке подчинена следующим условиям: усилия и напряжения связаны уравнениями равновесия и уравнениями неразрывности деформаций в форме канонических уравнений метода напряжений; напряжения подчинены неравенствам, а именно, ни одно из них не должно превышать соответствующего допускаемого напряжения; допускаемые напряжения, по крайней мере для сжатых стержней, являются функциями усилий и напряжений; гибкости стержней также подчинены неравенствам, т. е. ни одна из них не должна превышать соответствующей допускаемой гибкости; перемещения некоторых узлов фермы также подчинены неравенствам, т. е. прогиб фермы не должен превышать допускаемой величины.

Исследования указанной задачи в подавляющем большинстве ограничивались случаем расчета статически неопределимой фермы на единственное нагружение статической нагрузкой, велось на основе упрощающих допущений, по пути решения частных задач. Этот вопрос рассматривался М. Леви, В. Л. Кирпичевым, И. М. Рабиновичем, Н. И. Безуховым, Ю. А. Радцигом, Д. Сведом, Н. А. Серовым, Ф. И. Слюсарчуком, Л. К. Шмидтом, Л. М. Лоши, автором и др. Допущения, позволяющие обойти некоторые из указанных выше условий, облегчают решение задачи, но отдаляют ее от реальных условий проектирования ферм.

Один из возможных путей решения указанной задачи состоит в том, что задавшись величинами лишних неизвестных при каждом расчетном воздействии в пределах их области существования и определив усилия во всех стержнях от всех расчетных воздействий, решаем частную задачу о распределении напряжений, отвечающем наименьшему теоретическому весу фермы при фиксированных усилиях. Затем задаемся иными величинами лишних неизвестных в пределах их области существования и снова решаем указанную частную задачу

и т. д. Получив достаточное число таких решений, выявим наивыгоднейшее из них, удовлетворяющее нормам прочности, устойчивости, гибкости и жесткости. Частную задачу, в случае расчета статически неопределимой фермы на единственное нагружение статической нагрузкой, исследовали И. М. Рабинович [1] и автор [2]. В общем случае расчета статически неопределимой фермы на многие нагружения и воздействия ход решения этой задачи указан автором. Ниже рассмотрен частный случай. Другой частный случай будет рассмотрен в следующем сообщении.

Случай расчета однократно статически неопределимой фермы на два нагружения статическими нагрузками

Ограничимся случаем, когда для заданных двух нагружений существует общая картина знаков¹ и она принимается при обоих нагружениях. В этом случае из двух усилий $\overset{I}{S}_i$ и $\overset{II}{S}_i$, вызываемых в стержне i нагрузками I и II, опасным будет большее по абсолютной величине усилие. Ход изложенного ниже решения остается в силе и для случая, когда каждому нагружению отвечает своя картина знаков.

Записав каноническое уравнение метода напряжений для каждого нагружения фермы, оставив в этих уравнениях без изменения напряжения, отвечающие положительным усилиям, умножив на минус единицу напряжения, отвечающие отрицательным усилиям, сгруппировав полученные в результате положительные и отрицательные члены уравнений и сгруппировав члены с опасными напряжениями и члены с неопасными напряжениями, получим так называемые модулярные канонические уравнения

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^{i=f} a_i \overset{I}{\sigma}_i + \sum_{i=f+1}^{i=s} a_i \overset{I}{\sigma}_i - \sum_{i=s+1}^{i=h} a_i \overset{I}{\sigma}_i - \sum_{i=h+1}^{i=m} a_i \overset{I}{\sigma}_i &= 0; \\ \sum_{i=1}^{i=f} a_i \overset{II}{\sigma}_i + \sum_{i=f+1}^{i=s} a_i \overset{II}{\sigma}_i - \sum_{i=s+1}^{i=h} a_i \overset{II}{\sigma}_i - \sum_{i=h+1}^{i=m} a_i \overset{II}{\sigma}_i &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

где символы a_i , $\overset{I}{\sigma}_i$, $\overset{II}{\sigma}_i$ выражают существенно положительные величины (модули): $a_i = \overset{I}{S}_i l_i$; $\overset{I}{S}_i$ — абсолютная величина усилия в стержне i основной статически определимой системы от сил $X=1$, приложенных к разрезанной лишней связи; l_i — длина стержня i ; $\overset{I}{\sigma}_i$ — абсолютная величина напряжения в стержне i статически неопределимой фермы от нагрузки I; $\overset{II}{\sigma}_i$ — абсолютная величина напряжения в том же стержне от нагрузки II; s — число положительных членов в каждом

¹ Картиной знаков называется совокупность одновременно существующих знаков усилий во всех стержнях фермы при определенной статической нагрузке или определенном воздействии, неизменном в пределах данного расчетного состояния фермы.

из уравнений; m — число условно необходимых стержней (опорные стержни фермы в это число не входят); номерами $1, 2, \dots, f, s+1, s+2, \dots, h$ обозначены стержни, в которых опасные усилия, а, следовательно, и опасные напряжения вызывает нагрузка I; номерами $f+1, f+2, \dots, s; h+1, h+2, \dots, m$ обозначены стержни, в которых опасные усилия и опасные напряжения вызывает нагрузка II.

Такое преобразование канонических уравнений, названное модуляризацией, в принципе ничего не меняет в методе напряжений, но улучшает технику расчета статически неопределимых ферм по этому методу и, в частности, облегчает решение задач о распределении напряжений, отвечающем наименьшему теоретическому весу фермы при фиксированных усилиях.

Поскольку для любого стержня i при обоих загрузениях должна получиться одна и та же площадь сечения и, следовательно, абсолютные величины напряжений и усилий в этом стержне связаны пропорцией $\sigma_i^I | \sigma_i^II = S_i^I | S_i^II$, можно абсолютную величину каждого неопасного напряжения в уравнениях (1.1) выразить при помощи указанной пропорции через абсолютную величину опасного напряжения. Тогда неопасные напряжения будут исключены из модулярных канонических уравнений (1.1) и последние примут вид

$$\left. \begin{aligned} & \sum_{i=1}^{i=f} a_i \frac{I}{\sigma_i} + \sum_{i=f+1}^{i=s} a_i \frac{S_i^I}{S_i^II} \frac{II}{\sigma_i} - \\ & - \sum_{i=s+1}^{i=h} a_i \frac{I}{\sigma_i} - \sum_{i=h+1}^{i=m} a_i \frac{S_i^I}{S_i^II} \frac{II}{\sigma_i} = 0; \\ & \sum_{i=1}^{i=f} a_i \frac{II}{S_i^I} \frac{S_i^I}{\sigma_i} + \sum_{i=f+1}^{i=s} a_i \frac{II}{\sigma_i} - \\ & - \sum_{i=s+1}^{i=h} a_i \frac{II}{S_i^I} \frac{S_i^I}{\sigma_i} - \sum_{i=h+1}^{i=m} a_i \frac{II}{\sigma_i} = 0, \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

где символы коэффициентов, усилий и опасных напряжений выражают существенно положительные величины.

Выразив площадь каждого стержня в виде отношения абсолютной величины опасного усилия к абсолютной величине опасного напряжения получим следующую формулу теоретического объема всех условно необходимых стержней фермы:

$$T = \sum_{i=1}^{i=f} \frac{S_i^I l_i}{\sigma_i^I} + \sum_{i=f+1}^{i=s} \frac{S_i^II l_i}{\sigma_i^II} + \sum_{i=s+1}^{i=h} \frac{S_i^I l_i}{\sigma_i^I} + \sum_{i=h+1}^{i=m} \frac{S_i^II l_i}{\sigma_i^II}. \quad (1.3)$$

Выбрав среди опасных напряжений какие-нибудь два напряжения в качестве „зависимых“, например, напряжения σ_{m-1}^II и σ_m^II и решив

относительно них уравнения (1.2), запишем полученные выражения их модулей в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{m-1}^{\Pi} &= \sum_{i=1}^{i=f} A_i^I \sigma_i^I + \sum_{i=f+1}^{i=s} \pm A_i^{\Pi} \sigma_i^{\Pi} - \sum_{i=s+1}^{i=h} A_i^I \sigma_i^I + \sum_{i=h+1}^{i=m-2} \pm A_i^{\Pi} \sigma_i^{\Pi}; \\ \sigma_m^{\Pi} &= - \sum_{i=1}^{i=f} B_i^I \sigma_i^I + \sum_{i=f+1}^{i=s} \pm B_i^{\Pi} \sigma_i^{\Pi} + \sum_{i=s+1}^{i=h} B_i^I \sigma_i^I + \sum_{i=h+1}^{i=m-2} \pm B_i^{\Pi} \sigma_i^{\Pi}, \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

где

$$A_i = \frac{a_i \left(1 - \frac{\sigma_i^{\Pi}}{\sigma_i^I} \cdot \frac{\sigma_m^I}{\sigma_m^{\Pi}} \right)}{a_{m-1} \left(\frac{\sigma_{m-1}^I}{\sigma_{m-1}^{\Pi}} - \frac{\sigma_m^I}{\sigma_m^{\Pi}} \right)}; \quad (1.5)$$

$$i=1, 2, \dots, f, s+1, s+2, \dots, h;$$

$$\pm A_i = \frac{a_i \left(\frac{\sigma_i^I}{\sigma_i^{\Pi}} - \frac{\sigma_m^I}{\sigma_m^{\Pi}} \right)}{a_{m-1} \left(\frac{\sigma_{m-1}^I}{\sigma_{m-1}^{\Pi}} - \frac{\sigma_m^I}{\sigma_m^{\Pi}} \right)}; \quad (1.6)$$

$$i=f+1, f+2, \dots, s, h+1, h+2, \dots, m-2;$$

$$B_i = \frac{a_i \left(1 - \frac{\sigma_i^{\Pi}}{\sigma_i^I} \cdot \frac{\sigma_{m-1}^I}{\sigma_{m-1}^{\Pi}} \right)}{a_m \left(\frac{\sigma_{m-1}^I}{\sigma_{m-1}^{\Pi}} - \frac{\sigma_m^I}{\sigma_m^{\Pi}} \right)}; \quad (1.7)$$

$$i=1, 2, \dots, f, s+1, s+2, \dots, h;$$

$$\pm B_i = \frac{a_i \left(\frac{\sigma_i^I}{\sigma_i^{\Pi}} - \frac{\sigma_{m-1}^I}{\sigma_{m-1}^{\Pi}} \right)}{a_m \left(\frac{\sigma_{m-1}^I}{\sigma_{m-1}^{\Pi}} - \frac{\sigma_m^I}{\sigma_m^{\Pi}} \right)}; \quad (1.8)$$

$$i=f+1, f+2, \dots, s, h+1, h+2, \dots, m-2.$$

Поскольку в формулах (1.5)–(1.8) все символы выражают модули, а номера стержней $m-1$ и m при надобности можно взаимно обменивать, то всегда можно считать, что

$$\frac{\overset{I}{S}_{m-1}}{\overset{II}{S}_{m-1}} - \frac{\overset{I}{S}_m}{\overset{II}{S}_m} > 0. \quad (1.9)$$

В уравнениях (1.2), а, следовательно, и в формулах (1.5) — (1.8) любое отношение усилий является отношением абсолютной величины неопасного усилия к абсолютной величине опасного усилия. Поскольку обоим загрузениям отвечает одна и та же картина знаков, каждое указанное отношение меньше единицы. Поэтому, учитывая неравенство (1.9), из формул (1.5), (1.7) видно, что величины A_i и B_i действительно являются существенно положительными:

$$A_i > 0; B_i > 0; \quad (1.10)$$

$$i = 1, 2, \dots, f, s+1, s+2, \dots, h.$$

Рассматривая теоретический объем стержней как функцию опасных напряжений, для решения задачи об относительном минимуме этой функции подставим выражения (1.4) в формулу (1.3). Получим

$$\begin{aligned} T = & \sum_{i=1}^{i=f} \frac{\overset{I}{S}_i l_i}{\overset{I}{\sigma}_i} + \sum_{i=f+1}^{i=s} \frac{\overset{II}{S}_i l_i}{\overset{II}{\sigma}_i} + \sum_{i=s+1}^{i=h} \frac{\overset{I}{S}_i l_i}{\overset{I}{\sigma}_i} + \sum_{i=h+1}^{i=m-2} \frac{\overset{II}{S}_i l_i}{\overset{II}{\sigma}_i} + \\ & + \frac{\overset{II}{S}_{m-1} l_{m-1}}{\sum_{i=1}^{i=f} \overset{I}{A}_i \overset{I}{\sigma}_i + \sum_{i=f+1}^{i=s} \pm \overset{II}{A}_i \overset{II}{\sigma}_i - \sum_{i=s+1}^{i=h} \overset{I}{A}_i \overset{I}{\sigma}_i + \sum_{i=h+1}^{i=m-2} \pm \overset{II}{A}_i \overset{II}{\sigma}_i} + \\ & + \frac{\overset{II}{S}_m l_m}{-\sum_{i=1}^{i=f} \overset{I}{B}_i \overset{I}{\sigma}_i + \sum_{i=f+1}^{i=s} \pm \overset{II}{B}_i \overset{II}{\sigma}_i + \sum_{i=s+1}^{i=h} \overset{I}{B}_i \overset{I}{\sigma}_i + \sum_{i=h+1}^{i=m-2} \pm \overset{II}{B}_i \overset{II}{\sigma}_i}. \quad (1.11) \end{aligned}$$

Производные от этой функции по опасным напряжениям σ_1 ,

$\sigma_2, \dots, \sigma_f, \sigma_{s+1}, \sigma_{s+2}, \dots, \sigma_h$ приравняем к нулю:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \overset{I}{\sigma}_i} = & -\frac{\overset{I}{S}_i l_i}{\overset{I}{\sigma}_i^2} - \frac{\overset{II}{S}_{m-1} l_{m-1} A_i}{\overset{II}{\sigma}_{m-1}^2} + \frac{\overset{II}{S}_m l_m B_i}{\overset{II}{\sigma}_m^2} = 0; \\ & i = 1, 2, \dots, f; \\ \frac{\partial T}{\partial \overset{I}{\sigma}_i} = & -\frac{\overset{I}{S}_i l_i}{\overset{I}{\sigma}_i^2} + \frac{\overset{II}{S}_{m-1} l_{m-1} A_i}{\overset{II}{\sigma}_{m-1}^2} - \frac{\overset{II}{S}_m l_m B_i}{\overset{II}{\sigma}_m^2} = 0; \\ & i = s+1, s+2, \dots, h, \end{aligned} \quad (1.12)$$

где правые части формул (1.4) ради компактности заменены их левыми частями.



Возьмем также производные от функции (1.11) по опасным напряжениям $\sigma_{f+1}, \sigma_{f+2}, \dots, \sigma_s, \sigma_{h+1}, \sigma_{h+2}, \dots, \sigma_{m-2}$:

$$\frac{\partial T}{\partial \sigma_i} = - \frac{S_i l_i}{\sigma_i^2} \pm \frac{S_{m-1} l_{m-1} A_i}{\sigma_{m-1}^2} \pm \frac{S_m l_m B_i}{\sigma_m^2}; \quad (1.13)$$

$$i = f+1, f+2, \dots, s, h+1, h+2, \dots, m-2.$$

Поскольку выражение каждой из производных (1.12) содержит члены с разными знаками, а все символы в них обозначают модули, каждую такую производную можно обратить в нуль путем изменения входящих в ее выражение опасных напряжений и, следовательно, мы были вправе приравнять такие производные к нулю.

Иное положение может получиться с производными (1.13), выражения которых содержат величины $\pm A_i$, $\pm B_i$, определяемые формулами (1.6), (1.8). Знаки этих величин для некоторых из производных (1.13) могут оказаться такими, что все три члена выражения производной будут отрицательными. Отрицательный знак такой производной очевидно невозможно изменить путем варьирования входящих в ее выражение опасных напряжений и, следовательно, такую производную нельзя приравнять к нулю. Она взята по такой независимой переменной, по которой функция (1.11) имеет граничный минимум. Для уменьшения T опасные напряжения, по которым взяты существенно отрицательные производные, необходимо приравнять к допускаемым напряжениям.

Те из производных (1.13), которые не оказались существенно отрицательными, приравняем к нулю. Эти уравнения четвертой степени совместно с уравнениями (1.12), (1.4) следует решить на электронной цифровой машине. Если среди решений указанной системы уравнений четвертой степени окажется вещественное решение, при котором все искомые неизвестные (модули опасных напряжений) положительны и не превышают допускаемых величин, то задача решена. Если все искомые неизвестные получатся положительными, но некоторые опасные напряжения превысят допускаемые напряжения, то эти опасные напряжения приравняем к допускаемым напряжениям. Задачу о минимуме функции (1.11) решим заново при меньшем количестве независимых переменных. Если и в этом решении все искомые неизвестные получатся положительными, но некоторые из них превысят допускаемые величины, то поступим так же, как в предыдущем решении и т. д. Если в результате таких попыток не удастся получить удовлетворительное решение, то в качестве „зависимых“ опасных напряжений вместо σ_{m-1} и σ_m придется выбрать другие опасные напряжения и повторить расчет заново.

Таким путем, удастся найти решение, при котором все искомые неизвестные положительны и не превышают допускаемых величин. Следовательно, удастся найти распределение опасных напряжений, отвечающее наименьшему теоретическому объему стержней при заданной величине усилия в лишней связи от нагрузки I и заданной величине усилия в той же связи от нагрузки II, если только принятые величины этих лишних неизвестных находятся в пределах их области существования.

ТНИСГЭИ

Поступило 2.1.61.

Կ. Մ. ԽՈՒԲԵՐՅԱՆ

ՍՏԱՏԻՍՏԻԿԱԿԱՆ ԱՆՈՐՈՇԵԼԻ ՖԵՐՄԱՅԻ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԸ ՆՐԱ ԱՄԵՆԱԹԵԹԵԿ
ՔԱՇԻՆ ՀԱՄԱՊԱՏԱԽԱՆՈՂ ՀԱՍՏԱԳՐՎԱԾ ՃԻԳԵՐԻ ԴԵՊԲՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Ստատիկորեն անորոշելի ֆերմայում նրա տեսականորեն ամենաթեթև քաշին համապատասխանող հաստադրված ճիգերի դեպքում լարումների բաշխման խնդիրը, որը հանդիսանում է ստատիկորեն անորոշելի ամենափոքր քաշի ֆերմայի վերաբերյալ խնդրի բաղկացուցիչ մասը, լուծված է երկու մասնավոր պայմանների համար՝ 1) ստատիկորեն միակի անորոշելի ֆերմայի հաշվարկի դեպքում ստատիկական բեռնավորման երկու բեռնվածքի այն պայմանով, որ յուրաքանչյուր ձողում ճիգը երկու բեռնվածքից էլ ունենում է միևնույն նշանը. 2) նույնանման ֆերմայի ստատիկական բեռնվածքով՝ համակերպված բաղմամբիվ ջերմային անհավասարաչափ աղդեցութչուններից յուրաքանչյուրի հետ հաշվարկի դեպքում, ըստ որում ճիգերի նշանների պայմանը սրահպանելով նույնը, ինչ որ նախորդ դեպքում է:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. И. М. Рабинович. К теории статически неопределимых ферм, Трансжелдориздат, 1933.
2. К. М. Хуберян. К расчету статически неопределимых ферм. Тбилисский научно-исследовательский институт сооружений (ТНИС), вып. XXXII, 1938.
3. К. М. Хуберян, Усовершенствованный метод расчета порталных ферм сегментных затворов, «Сборник аннотаций научно-исследовательских работ по строительству, Работы, выполненные в 1952 г.», Госстройиздат, 1954.

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Б. К. КАРАПЕТЯН, Г. А. МАРОЯН, Г. С. ТУМАНОВ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЙСМОМЕТРОВ АИС-2М ПРИ ВЗРЫВАХ

В результате совместной работы группы научных работников и конструкторов, в составе: А. Г. Назарова, Б. К. Карапетяна, Р. С. Вартаняна (Институт геофизики и инженерной сейсмологии Академии наук Армянской ССР) и В. В. Суходольского, М. В. Забелина (ОКБ Института физики Земли Академии наук СССР) была разработана модернизированная конструкция многомаятникового сейсмометра АИС-2М. Опытный экземпляр сейсмометра был установлен на инженерно-сейсмологической станции ИГИС в Ленинакане [1]. Другие два опытных экземпляра проверялись в полевых условиях при взрывах, осуществляемых на строительном участке.

Сейсмометр АИС-2М имеет 9 вертикальных сферических маятников для записи перемещений в горизонтальной плоскости и 3 горизонтальных поляризованных маятника для записи вертикальных перемещений. Вертикальные маятники имеют периоды свободных колебаний: 0,08; 0,10; 0,15; 0,20; 0,30; 0,40; 0,60; 0,80; 1,20; горизонтальные маятники—0,08; 0,15; 0,30 сек. Все маятники упруго заделаны в резиновые цилиндрики, играющие одновременно роль пружины и демпфера. Логарифмический декремент затухания маятников находится в пределах $\delta = 0,3—0,5$. Каждому периоду свободных колебаний маятников соответствуют определенные длина маятника и высота резинового цилиндрика. В конструкции вертикальных и горизонтальных маятников предусмотрены, соответственно, струнный подвес или спиральная пружина, обеспечивающие разгрузку резиновых цилиндров в нулевом положении маятников. Регистрация колебаний вертикальных и горизонтальных маятников осуществляется посредством записи по копоти, покрывающей тонким слоем стеклянные пластины, установленные в металлические кассеты. Запись осуществляется корундовой иглой, присоединенной с помощью пермалоевых пластин к гайке, навинчиванием которой на стержень маятника обеспечивается определенное усилие прижатия иглы к поверхности стекла кассеты. Кассеты вертикальных маятников вставляются в пазы на подвижном столике. При вдвигании кассеты игла прочерчивает по закопченному стеклу одну из осей, параллельную направляющим кассеты. Вторая, перпендикулярная ей ось получается после окончания регистрации колебатель-

ного процесса, путем перемещения подвижного столика с установленными кассетами до момента, когда иглы сойдут с поверхности стекол. Пересечение этих осей дает нулевую точку, необходимую при обработке записей. Аналогично производится подготовка и запись горизонтальными маятниками. Однако приспособления для этой цели значительно проще по конструкции.

Максимальное приведенное сейсмическое ускорение, на основании полученных сейсмометром записей, определяется по формуле:

$$\tau = \frac{g}{a} \left(\frac{T_0}{T} \right)^2 f = kf,$$

где f — измеренное на записи максимальное отклонение маятника в см;

a — расстояние от острия иглы до центра вращения упругого маятника в см;

$$g = 981 \text{ см/сек}^2$$

T_0 — период свободных колебаний рассматриваемого маятника, шарнирно подвешенного за его центр вращения, в сек;

T — период свободных колебаний того же маятника при упругой его заделке в резиновую пробку, т. е. в его рабочем состоянии, в сек;

k — постоянный для данного маятника коэффициент, приводимый в паспорте к сейсмометру, в сек^{-2} .

Целью описываемых сейсмометрических наблюдений, в основном, являлась апробация сейсмометров АИС-2М при взрывах. Однако, наряду с этим, оказалось возможным получить и некоторые другие данные, интересные с точки зрения воздействия сейсмовзрывных волн на сооружения и определения безопасного в сейсмическом отношении расстояния от источника взрывания.

Замеренный нами взрыв был произведен в четырех шурфах глубиной 3,5—3,9 м, при количестве заряда 123 кг. Подробные данные о расположении и расчете зарядов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Данные о расположении и расчете зарядов

Номера шурфов	Глубина шурфа H м	Линия наименьшего сопротивления r м	W^3 м ³	Расстояние между зарядами a м	k	Вес заряда Q кг	
						расчетный	принятый
1	3,5	3,5	42,8	3,8	0,9	25,7	26
2	3,5	3,5	42,8	3,5	0,6	25,7	26
3	3,9	3,9	59,0	3,5	0,6	35,4	36
4	3,8	3,8	54,8		0,6	32,8	33

Вес заряда вычислялся по формуле $Q = k\tau^3$,

где Q — вес заряда в кг;

k — удельный расход взрывчатого вещества в кг/м^3 ;

w — линия наименьшего сопротивления (при одной обнаженной поверхности, равная глубине шурфа $-H$).

Расчетный коэффициент k , на основании практических данных был принят равным 0,6.

Расчет безопасного с точки зрения сейсмического воздействия расстояния производился по формуле [2]:

$$r_c = k_c \sqrt[3]{Q},$$

где k_c — постоянный для данного грунта коэффициент, в случае скалы, равный 1,5—3 [3].

Для исследованного участка, сложенного из базальтов, имеющих глыбовую структуру, с прослойками белозема, при $k_c=3$, безопасное с точки зрения сеймики расстояние получилось равным 15 м. Поэтому примыкавшее к участку здание, находившееся на расстоянии 17 м от места взрыва, было расположено в безопасной в сейсмическом отношении зоне. Схема исследуемого участка с указанием мест шурфов и расположения сейсмометров приведена на рис. 1.

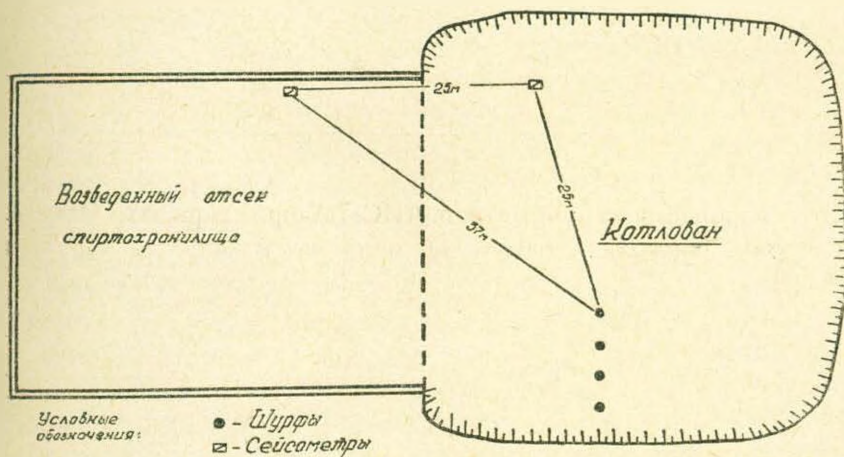


Рис. 1.

Перед производством основного взрыва, в подготовленных для этой цели четырех шурфах были пройдены шпурсы и осуществлен взрыв заложенного заряда весом 2,5 кг с целью доведения глубины шурфов до проектной отметки.

Этот взрыв был замерен. Кроме сейсмометра АИС-2М, расположенного на грунте, были установлены приборы для записи колебаний во времени как на грунте, так и в возведенном отсеке здания. Данные сейсмометрических наблюдений полученные при этом взрыве, приведены в первых строках табл. 2. В последующих строках этой же таблицы даны результаты замеров, полученные при основном взрыве. Надо отметить, что произведенная при предварительном и основном взрывах запись сейсмометрами, отличалась четкостью и определенностью, в отношении установления начала отсчета, которое полу-

Таблица 2

Результаты замеров, полученные сейсмометрами АИС-2М при взрывах

Дата взрыва и место установки прибора	Количество ВВ и расстояние от места взрыва	Вид маятников	T сек	f см	κ сек ²	$\ddot{x}$ см/сек ²
13.VIII. 1962 г. на грунте	2,5 кг (в 10 шпурах) на расстоянии 25 м от крайнего шурфа	вертикальные	0,08	0,10	2840	284
			0,10	0,08	1780	142
			0,15	0,04	900	36
			0,30	0,04	224	9
			0,60	0,04	75	3
14.VIII 1962 г. на грунте	123 кг (в четырех шурфах) на расстоянии 25 м от крайнего шурфа	вертикальные	0,08	0,564	2840	1602
			0,10	0,305	1780	543
			0,15	0,226	900	203
			0,20	0,250	564	141
			0,30	0,200	224	45
			0,40	0,122	180	22
			0,60	0,107	75	8
			0,80	0,800	50	4
			1,20	0,086	16	1
		горизонтальные	0,08	0,230	3345	769
			0,15	0,450	965	434
			0,30	0,165	265	44
14. VII. 1962 г. в здании	123 кг (в четырех шурфах) на расстоянии 37 м от крайнего шурфа	вертикальные	0,08	0,510	2840	1448
			0,10	0,354	1780	630
			0,15	0,300	900	270
			0,20	0,170	564	96
			0,30	0,155	224	35
			0,40	0,090	180	16
			0,60	0,138	75	10
			0,80	0,072	50	4
			1,20	0,070	16	1
		горизонтальные	0,08	0,280	3345	937
			0,15	0,277	965	267
			0,30	0,052	265	14

чалось во всех случаях, в результате пересечения двух линий (в начале и в конце производства записи). Примеры записи приведены на рис. 2 (зазубрины получены от взрыва в шпурах небольшого количества взрывчатки (7 кг), осуществленного одновременно с замеренным взрывом).

В результате проведенного исследования можно утверждать, что сейсмометры АИС-2М оправдали свое назначение в качестве приборов для записи сейсмических колебаний при сильных землетрясениях и взрывах. Изученная модель сейсмометра АИС-2М может быть рекомендована, в первую очередь, для стационарной установки на сейсмических станциях. Для производства замеров при взрывах целесообразнее сконструировать портативный вариант сейсмометра АИС-2М.

ограничиваясь при этом меньшим количеством маятников, а также уменьшив вес и размеры прибора.

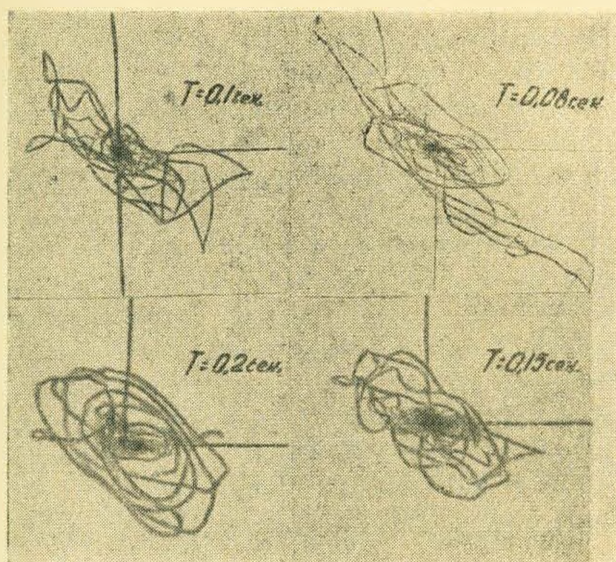


Рис. 2.

Сравнивая результаты замеров, полученные сейсмометрами АИС-2М на грунте и в здании замечаем, что для большинства маятников величины приведенных сейсмических ускорений на грунте намного больше, чем в здании; для маятников же с периодами $T=0,10$ и $0,15$ сек, наоборот, приведенные сейсмические ускорения в здании больше, чем на грунте. Последнее является следствием того, что период колебаний здания ($T=0,13$ сек) близок к этим периодам ($T=0,10$ и $0,15$ сек), в результате чего происходит усиление колебаний.

Для маятников с периодами колебаний $T=0,08—0,40$ сек величины приведенных сейсмических ускорений оказались намного больше, чем для $T=0,6—1,2$ сек т. е.

получается, что при взрывах в скальных породах величины приведенных сейсмических ускорений для периодов колебаний больше $0,6$ сек, практического значения не имеют и, следовательно, для относительно гибких сооружений взрывы большой опасности представлять не будут.

С целью сравнения спектральных кривых сейсмических ускорений для всех трех случаев построены кривые $\tau(T)$, приведенные к единице (рис. 3, 4 и 5). Характер кривых получился таким же, как

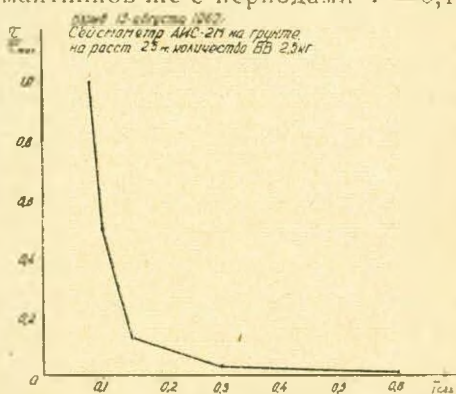


Рис. 3.

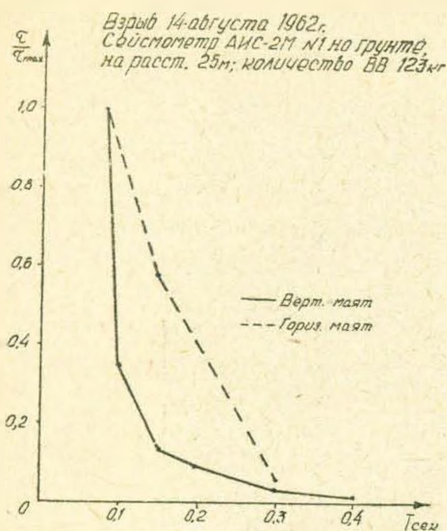


Рис. 4.

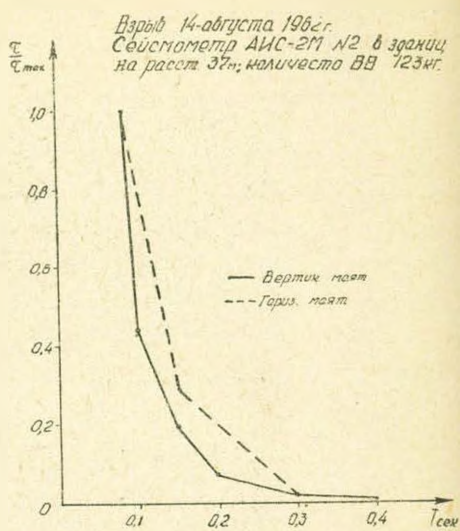


Рис. 5.

и при предыдущих взрывах, осуществленных в других районах [4], а именно, с характерным резким падением кривой при увеличении периода колебаний.

По полученным с помощью сейсмометров данным величину скорости колебаний частиц грунта можно вычислить по формуле [5].

$$V = \frac{aT}{2\pi}.$$

Так, например, для периода $T=0,15$ сек, что ближе всего к периоду колебаний здания, приведенное сейсмическое ускорение равно $a=270$ см/сек². Скорость колебаний частиц грунта при этом получается равной $V=6,5$ см/сек.

Институт геофизики
и инженерной сейсмологии
АН Армянской ССР

Поступило 12.XI.1962 г.

Р. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Հ. Հ. ՄԱՐՈՅԱՆ, Գ. Ս. ԹՈՒՄԱՆՈՎ

ՊԱՅԹԵՅՈՒՄՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿԻ ԱԻՏ-2Մ ՍԵՅՍՄՈՒՄԵՏՐԵՐԻ ԿՈՒՐԱՌՄԱՆ ՓՈՐՁԸ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Աշխատանքում բերված են նոր տիպի АИС-2М սեյսմոմետրերի՝ դաշտային պայմաններում պայթեցումների ժամանակ կատարված ստուգումները և նրանց միջոցով ստացված արդյունքները: Տրվում են նաև այդ սեյսմոմետրի կոնստրուկցիային վերաբերվող համառոտ տվյալները:

Պայթեցումները կատարվել են Երևանի Կոնյակի գործարանի տնտեսական (որը կազմված է բազալտներից) կառուցվող շենքերից մեկի մոտ:

Դիտումների ժամանակ տեղադրվել են АИС-2М երկու սեյսմոմետրեր՝ մեկը շենքից դուրս, իսկ մյուսը՝ շենքի ներսում, նույնպես գրունտի վրա:

Կատարված դիտումները ցույց են տալիս, որ АИС-2М սեյսմոմետրերը վատաճորեն կարելի է կիրառել ուժեղ երկրաշարժերը և պալթեցումները ուսումնասիրելու ժամանակ: Առաջին հերթին վերահիշյալ սեյսմոմետրերի կիրառությունը նպատակահարմար է սեյսմիկ կայաններում ստացիոնար դիտումների ժամանակ: Պալթեցումների ուսումնասիրման համար անհրաժեշտ է մշակել АИС-2М սեյսմոմետրերի տեղադրման ավելի հարմար և թեթև տեսակը:

Ստացված ավալների հիման վրա կառուցվել են սեյսմիկ արագացումների սպեկտրալ կորերը, որոնք ունեն նույն տեսքը, որը նկատվել էր նախորդ փորձերում (մոտավորապես հիպերբոլիկ կորի տեսք): Սեյսմիկ արագացումների արժեքը՝ $T=0,08-0,4$ վրկ. սեփական տատանումների տեղումն ունեցող ճոճանակների դեպքում ստացվել են անհամեմատ մեծ, քան $T=0,6-1,2$ վրկ. համար: Այստեղից բխում է այն եզրակացությունը, որ ձկուն կառուցվածքների համար պալթեցումները մեծ վտանգ չպետք է ներկայացնեն: Պալթեցման հետևանքով շենքում առաջացած առտանման արագություն մեծությունը գտնվում է թուլյատրելի սահմաններում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Карапетян Б. К., Суходольский В. В. Усовершенствование конструкции маятниковых сейсмометров для записи сильных и слабых землетрясений. Бюллетень Совета по сейсмологии, № 14, М., 1963.
2. Садовский М. А. Простейшие приемы определения сейсмической опасности массовых взрывов. М.-Л., 1946.
3. Ляхов Г. М., Покровский Г. И. Взрывные волны в грунтах, М., 1962.
4. Карапетян Б. К. Результаты сейсмометрических наблюдений при массовых взрывах, Известия АН Армянской ССР, серия т. н. X, № 3, 1957.
5. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил, Греван, 1959.

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А. М. ГАСПАРЯН, А. А. ЗАМИНЯН и Н. С. ИКАРЯН

ПРОВЕРКА УРАВНЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ
ПОЛИДИСПЕРСНОЙ СУСПЕНЗИИ

Ранее было выведено уравнение скорости стесненного падения (с.с.п.) монодисперсных сферических частиц [1, 2]:

$$C = K C_0 (1 - \varphi)^n \quad (1)$$

и экспериментально определены значения K и n в зависимости от числа Рейнольдса. В дальнейшем значения K и n , а также числа Рейнольдса, ограничивающие переходную область, были уточнены [3]. Затем было получено уравнение с.с.п. бесформенных монодисперсных частиц помола [4]:

$$U = \frac{\beta K C_0}{\alpha^{1/2}} (1 - \alpha \varphi)^n = \frac{\beta K C_0}{\alpha^{1/2}} (1 - \varphi_s)^n. \quad (2)$$

В этих уравнениях C_0 — скорость свободного падения сферы, или эквивалентной сферы, φ — объемная концентрация частиц в слое (взвеси), α и β коэффициенты объема и формы псевдочастиц [4].

Далее было выведено и экспериментально подтверждено уравнение, описывающее вертикальное движение (снизу-вверх) монодисперсной суспензии [5]:

$$\varphi = \frac{V_{\varepsilon}}{V - C(U)}, \quad (3)$$

где C или U — ссп частиц, определяемых по (1) или (2), V — скорость потока суспензии по колонке, ε — объемная концентрация частиц в расходе суспензии. В случае потока, направленного вертикально вниз, знак в знаменателе (4) меняется на положительный.

Для вертикального же потока полидисперсной суспензии было выведено уравнение [6]:

$$\varphi = \varphi_1 + \dots + \varphi_x + \dots + \varphi_N = \frac{V_{\varepsilon_1}}{V - C_1} + \dots + \frac{V_{\varepsilon_x}}{V - C_x} + \dots + \frac{V_{\varepsilon_N}}{V - C_N}, \quad (4)$$

где $\varphi_1 \dots \varphi_N$ — концентрации компонентов (фракций) $1 \dots N$, возникающие в колонке; $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_N$ — концентрации компонентов в расходе, а

$C_1 \dots C_N$ (или $U_1 \dots U_N$ для бесформенных частиц)—соответствующие с.с.п. Принята гипотеза [6], согласно которой с.с.п. данного компонента x определяется уравнениями (1) или (2), если в них под концентрацией φ (в случае, когда все компоненты сферичны) или φ_s (когда в суспензии имеются также бесформенные частицы) подразумевать суммарную концентрацию всех компонентов, входящих в слой:

$$C_x = K_x C_{0x} (1 - \sum \varphi)^{n_x} \quad (5)$$

или

$$U_x = \frac{\beta_x K_x C_{0x}}{\alpha_x} (1 - \alpha_1 \varphi_1 - \dots - \alpha_x \varphi_x - \dots - \alpha_N \varphi_N)^{n_x}. \quad (6)$$

В данном сообщении излагаются методы и результаты проверки уравнений (4)—(6).

Статья [6] была посвящена выводам уравнений (4)—(6) движения полидисперсной суспензии и содержит лишь конечные результаты их экспериментальной проверки. Методика экспериментальной проверки этих уравнений представляет, на наш взгляд, самостоятельный интерес и, насколько нам известно, предложена и осуществлена авторами впервые. Настоящее сообщение посвящено изложению именно этой части исследований.

О материалах примененных в опытах. Уравнения (4, 5, 6) проверялись для двухдисперсных и трехдисперсных суспензий получаемых из почти монодисперсных алюмосиликатных сфер с диаметром 1 мм; из узкой фракции речного песка с эквивалентным диаметром 453 мк; из узких фракций кварцевого песка со средними эквивалентными диаметрами 130, 180, 280 и 460 мк.

Алюмосиликатные шарики, в количестве около 100 г были получены путем просеивания. Отбирались только те частицы, которые застревали в отверстиях сита с миллиметровыми ячейками.

Речной песок предварительно был промыт и из него были удалены грубые, тяжелые и легкие примеси. Затем была выделена ситовая фракция — 0,5+0,25 мм в количестве 30 кг. Эта фракция в колонке $d=60$ мм и $h=2$ м была, по частям (по 1 кг) подвергнута гидросепарации.

Для улучшения степени монодисперсности одна из узких фракций в количестве 7 кг, подверглась, по частям, повторной гидросепарации и для использования была отобрана небольшая доля из середины слоя. Была получена более узкая фракция в количестве 0,7 кг. Эта фракция еще раз подверглась гидросепарации в колонке и из нее отбиралось 0,25 кг. Проверка после трехкратной гидросепарации дала следующие результаты. Верхний слой объемом 25 см³, имел концентрацию 0,122. Следующий слой объемом 25,6 см³, имел $\varphi=0,127$. Третий слой объемом 15,1 см³, имел $\varphi=0,138$. Последний слой объемом 13,7 см³, имел $\varphi=0,152$. Песок с плотностью 2,82 и средним эквивалентным диаметром зерен 0,453 мм, был ис-

пользован как „монодисперсный“ в описанных ниже опытах по первому способу.

Кварцевый песок. Методы экспериментов требовали также наличие узких фракций материала в больших количествах, обеспечивающих непрерывный поток суспензий через колонку в течение нескольких часов. В качестве такого материала был выбран кварцевый песок.

Из большой партии песка были выделены 6 ситовых фракций между размерами 100 и 500 $\mu\text{к}$. Затем каждая ситовая фракция в отдельности была подвергнута гидросепарации, причем для использования бралась средняя треть взвеси. Эти фракции кварцевого песка предназначались для создания непрерывного и продолжительного потока суспензии через колонку, поэтому их степень монодисперсности (вернее склонности к сепарации в потоке) была испытана следующим образом. Суспензия из гидросепарированной фракции—0,42+0,315 мм пропусклась через колонку с пьезометрами в течение 3,5 часов. Первоначальная разность показаний крайних пьезометров составила 13,9 см водяного столба, что соответствовало $\varphi=0,142$. Эта разность показаний медленно росла в течение опыта и через 3,5 часа стала равной 15,85 см , что соответствовало $\varphi=0,161$, или росту концентрации на 13%. Учитывая, что продолжительность каждого комплекса измерений не превышало 20 минут и за это время изменение концентрации в результате сепарации составляло порядка 1%, применение такого материала для экспериментов авторы сочли допустимым.

Для экспериментальной проверки выдвинутой гипотезы были разработаны и применены описанные ниже три способа.

Первый способ и результаты его применения. В стеклянную колонку 1 (рис. 1), на сетку 2, загружалась навеска G_1 , частиц крупного компонента. Затем снизу колонки подавалась монодисперсная суспензия мелкого компонента, легко проходящего через сетку 2, и состоящая из секундных расходов воды Q и частиц W_2 . При постоянстве Q и W_2 быстро возникало стационарное состояние, при котором нижний слой высотой l_2 , представлял двухдисперсную взвесь с четким уровнем раздела, а верхний слой l_3 —монодисперсную взвесь, состоящую только из мелких частиц. В условиях стационарности, о чем судили по показаниям пьезометрических труб, измеряли l_2 и l_3 , и взятием нескольких проб из слива, определяли Q и W_2 . Затем, прекратив подачу суспензии, из колонки извлекали содержимое и определяли количество мелкого компонента G_2 . Очевидно, $G_2 = G_2 + G_2$, где G_2 —количество мелкого компонента, находящегося в слое l_2 , при опыте, а G_2 —то же в

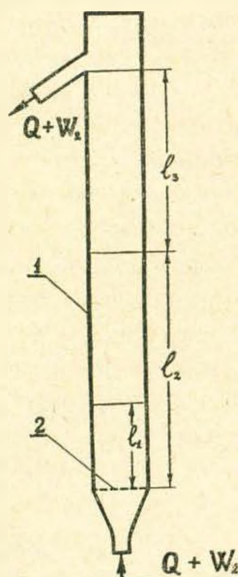


Рис. 1.

слое l_3 . Зная Q , W_2 и диаметр колонки, определяли скорость суспензии V и концентрацию мелких частиц в расходе $\varepsilon_2 = W_2/(Q + W_2)$.

Согласно (3):

$$\varphi_2 = \frac{V \varepsilon_2}{V - U_2} \quad (7)$$

где φ_2 и U_2 концентрация песка и его с.с.н. в монодисперсном слое l_3 . Пользуясь кривой $U_2 = f(\varphi_2)$ на основании (7) находили значение φ_2 . Зная объем слоя l_3 находили G_2 , а затем и $\bar{G}_2$, по величине которого подсчитывали концентрацию φ_2 мелких частиц в слое l_2 . Концентрацию же φ_1 крупных частиц определяли исходя из навески $\bar{G}_1$ объема слоя l_2 .

Таким образом из опыта определялись фактические значения V , ε_2 , φ_1 и φ_2 , а также ссп крупных частиц C_1 , численно равной V .

Данному значению измеренной скорости C_1 соответствовала найденная из опыта суммарная концентрация двухфазного слоя $\varphi = \varphi_2 + \varphi_1$. По этому же значению C_1 из экспериментальной кривой $C = f(\varphi)$, составленной для крупных частиц, находили *гипотетическое* значение суммарной концентрации, φ' . Согласно принятой гипотезе или (5) должно иметь место: $\varphi = \varphi'$.

Далее по опытному значению суммарной концентрации φ из экспериментальной кривой $U = f(\varphi)$, составленной для мелких частиц, находили *гипотетическое* значение ссп этих частиц в двухфазном слое, U_2 . По величине U_2 из (3) определяли, по известным из опыта V и ε_2 , *гипотетическое* значение φ_2 . Гипотеза требует, чтобы имело место: $\varphi_2 = \varphi_2$. Результаты опытов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты опытов с алюмосиликатными шариками и кварцевым песком (первый способ)

$V = C_1$	φ_1	φ_2	ε_2	φ' по C_1	U_2 по φ	φ'/φ	φ_1'/φ_1	φ_2'/φ_2
5,28	0,056	0,033	0,030	0,080	0,554	0,90	0,80	1,01
5,00	0,081	0,023	0,020	0,098	0,508	0,94	0,93	0,97
5,00	0,092	0,012	0,011	0,098	0,508	0,94	0,93	1,00
4,90	0,046	0,059	0,056	0,104	0,506	0,99	0,91	1,06
4,83	0,061	0,048	0,044	0,107	0,496	0,99	0,95	1,03
4,83	0,080	0,032	0,029	0,107	0,486	0,96	0,94	0,99
4,60	0,110	0,013	0,012	0,122	0,460	0,99	0,99	0,99
4,51	0,105	0,029	0,023	0,128	0,434	0,96	0,98	0,89
4,32	0,083	0,070	0,066	0,140	0,390	0,91	0,81	1,04
3,73	0,123	0,049	0,048	0,178	0,348	1,03	1,01	1,08
3,62	0,155	0,034	0,031	0,188	0,310	1,00	0,99	1,02
3,17	0,121	0,079	0,077	0,223	0,286	1,10	1,14	1,08
3,07	0,149	0,067	0,066	0,232	0,256	1,07	1,06	1,08
2,54	0,148	0,101	0,098	0,258	0,208	1,04	1,03	1,05
2,40	0,187	0,085	0,084	0,293	0,180	1,07	1,08	1,06
2,39	0,179	0,093	0,089	0,293	0,180	1,07	1,10	1,02
Осредненные величины						0,998	0,978	1,023

Как видно из табл. 1, отношение гипотетической суммарной концентрации φ' , к фактически найденной φ близко единице, с разбросом $\pm 10\%$. Среднее же значение этого отношения равно 0,998. Отношение гипотетической концентрации мелкого компонента φ_2 к фактической φ_2 в среднем составляет 1,023. В предпоследней графе таблицы 1 приведены те же отношения для крупного компонента. Расхождение в трех случаях доходит до 20% , но среднее значение близко к 0,978. Значение $\varphi_1 = \varphi' - \varphi_2$.

Аналогичные опыты были проведены с двухдисперсной суспензией, крупная фракция в которой состояла из узкой фракции речного песка, выделение которой описывалось выше. Плотность этого песка 2,82, а эквивалентный средний диаметр 453 мк. Мелким компонентом служил кварцевый песок, с плотностью 2,64 и со средним эквивалентным диаметром 180 мк. В этих опытах сетка 2 в колонке 1 (рис. 1) была заменена пучком тонкостенных трубок с диаметром в 1 мм, что препятствовало провалу вниз частиц речного песка.

Результаты этих 16 опытов в общем аналогичны предыдущим, но отличаются односторонностью отклонений. Так, без исключения гипотетическая суммарная концентрация φ' оказалась меньше фактической φ , а в среднем их отношение составило 0,93. Гипотетическая концентрация мелкого компонента φ_2 , наоборот, в подавляющем большинстве случаев оказалась больше фактической φ_2 и в среднем их отношение составило 1,05. Соотношение же (φ_1/φ_1) в среднем составило 0,89.

Во всех опытах первого способа измерялись также разность пьезометрических давлений в слоях l_2 и l_3 и скорость осаждения монодисперсного слоя l_3 в конце опыта, после отключения подачи суспензии.

Первый способ является, в некоторой степени, косвенным, так как в питающей колонке суспензии отсутствовала крупная фракция.

Второй способ и результаты его применения. После некоторых поисков была создана установка с отдельным приготовлением двух монодисперсных суспензий с последующим их смешением, что обеспечивало получение бидисперсной суспензии заданного постоянного состава.

Схема установки изображена на рис. 2. В пятилитровую коническую колбу 9, заполненной одним из компонентов песка, по трубке 16, с заданной постоянной скоростью, поступила вода. Кончик трубки был обтянут сеткой 18, не пропускающей песок.

Паста песка, выделенная этой водой через трубку 17, сразу же по выходе из колбы 9, разбавлялась другой порцией воды, поступающей по трубке 19, также с заданной скоростью. Так образовывалась монодисперсная суспензия одного из компонентов. Одновременно образовывалась монодисперсная суспензия второго компонента, загру-

женного в колбу 10. Эти монодисперсные суспензии в смесителе 11 перемешивались, и проходя кран 12 поступали в колонку 13. Колонка 13 с сечением в $3,82 \text{ см}^2$ была снабжена пьезометрическими трубками. Из колонки суспензия, через отвод 21, сливалась в приемную емкость.

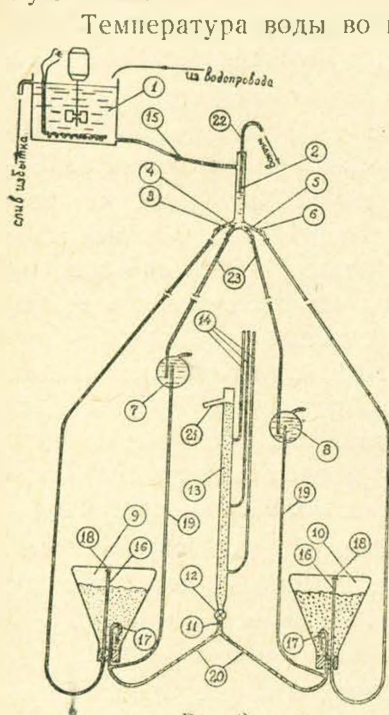


Рис. 2.

Температура воды во всех опытах поддерживалась в пределах $20 \pm 0,5^\circ \text{C}$. Это достигалось при помощи термостата 1 с автоматическим регулятором температуры.

Вода из термостата, с некоторым избытком против необходимого для составления суспензии количества, поступала в сосуд 2. В этом сосуде при помощи трубки 22 можно было поддерживать различные уровни воды. Трубка 22 была соединена с водоструйным насосом, который весь избыток воды удалял из сосуда. Путем подбора соответствующего диаметра съемных наконечников 3—6 и изменения уровня воды в сосуде 2, можно было получить любые расходы жидкости.

Обычно на разбавление пасты через наконечники 4 и 5 подавалось большое количество воды и иногда потоком воды в трубку 23 засасывало пузырьки воздуха. Эти пузырьки быстрым потоком уносились вниз и попадали в колонку 13. Шары 7 и 8 предусмотренные в системе препятствовали этому явлению.

Трубка 17, выводящая пасту из колбы, была сделана так, чтобы паста в отводящую трубку попадала по направлению снизу вверх, иначе равномерность концентрации пасты нарушалась и система могла засориться.

В колбу 9 и 10 загружалось по 5—6 кг песка, что обеспечивало непрерывную работу установки до пяти часов. Из вытекающей суспензии отделялся песок и мокрым рассевом разделялся на исходные компоненты для новых опытов.

Установка запускалась следующим образом. При закрытых наконечниках в сосуд 2 подавалась вода, запускался водоструйный насос и при помощи трубки 22 устанавливался нужный уровень в сосуде. Затем через трубки 23—19—20 вода заполняла колонку и вытекала из нее. После этого открывался наконечник 3 (или 6) и начиналось выдавливание пасты из колбы, которая разбавляясь водой, поступала в колонку. Убедившись в нормальности работы одной колбы, запускалась вода во вторую колбу, что приводило к образованию второй суспензии. После пуска всей установки, следили за показанием пьезо-

метрических трубок; стационарный режим в колонке наступал при постоянстве показаний. Тогда замерялись: скорость суспензии в колонке V путем отбора пробы из отвода 21; показания пьезометров 14.

Эти измерения производились, в течение 20—25 минут, несколько раз. После этого краны на пьезометрах и кран 12 закрывались, и прекращалась подача воды через все наконечники. Осевший в колонке песок переводили в стакан, сушили, просеиванием разделяли на исходные фракции, взвешивали, рассчитывали возникшие при опыте концентрации компонентов в колонке φ_1 и φ_2 .

Одновременно определялась концентрация компонентов в расходе суспензии ε_1 и ε_2 .

Таким образом, по описанному способу в опытах определялись V , ε_1 , ε_2 , φ_1 , и φ_2 . Эти величины входят в уравнение двухдисперсной суспензии из несферических частиц:

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_1 + \varphi_2 = \frac{V \varepsilon_1}{V - U_1} + \frac{V \varepsilon_2}{V - U_2}, \\ \varphi_1 &= \frac{V \varepsilon_1}{V - U_1}, \quad \varphi_2 = \frac{V \varepsilon_2}{V - U_2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Для суждения о степени точности принятой гипотезы можно поступить двояко. Во-первых из выражения (8) при величинах полученных экспериментальным путем можно найти значение U_1 и U_2 и сравнить их с *гипотетическими* значениями U'_1 и U'_2 . Во-вторых, по значениям гипотетических U'_1 и U'_2 можно вычислить

$$\varphi'_1 = \frac{V \varepsilon_1}{V - U'_1}, \quad \varphi'_2 = \frac{V \varepsilon_2}{V - U'_2}, \quad \varphi'_1 + \varphi'_2 = \varphi' \quad (9)$$

и сравнить их с фактическими значениями φ_1 , φ_2 и φ .

По второму способу изучались двухдисперсные суспензии состоящие из кварцевого песка со средними эквивалентными диаметрами 380 и 180 мк. Результаты опытов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты опытов с кварцевым песком диаметром 380 и 180 мк.

(второй способ)

φ_1	φ_2	φ'/φ	φ'_1/φ_1	φ'_2/φ_2
0,044	0,044	1,017	0,980	1,055
0,077	0,022	1,043	1,031	1,088
0,087	0,050	1,008	0,948	1,100
0,114	0,039	1,007	0,945	1,170
0,117	0,081	0,980	0,913	1,080
0,171	0,041	1,005	0,980	1,090
0,227	0,020	1,032	1,031	1,070
0,243	0,044	1,000	0,982	1,013
0,236	0,082	1,037	1,038	1,016
0,140	0,184	1,045	1,091	1,010
0,230	0,105	1,044	1,086	1,013
Осредненные величины		1,018	1,003	1,064

Из табл. 2 видно хорошее совпадение расчетных и опытных величин.

Третий способ и результаты его применения. Второй способ обеспечивал почти полное постоянство состава питающей колонку суспензии. Опыт показал, что колебания ε_1 и ε_2 по времени не превышают $\pm 1\%$. Однако он для трехдисперсной системы становится трудноуправляемыми. Поэтому для трехдисперсной суспензии был выбран более простой, но несколько менее точный способ, заключающийся в следующем. Из трех отдельных гидросепарированных узких фракций кварцевого песка составлялась смесь заданного состава и загружалась в монжус (пятилитровый), монтированный и соединенный с колонкой согласно рис. 3. По трубке 8 подавалась вода вытесняющая пасту, а по трубке 7—вода разбавляющая пасту. Образованная таким образом суспензия через трубку 4 и кран 3 поступала в колонку 1, с нижнего конца которой сетка 2 была удалена.

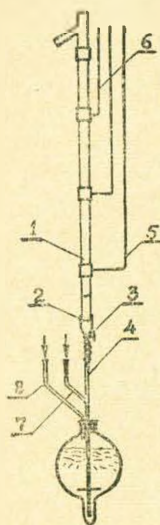


Рис. 3.

В качестве компонентов для составления трехдисперсной суспензии были выбраны гидросепарированные фракции кварцевого песка— $0,5 + 0,42 \text{ мм}$; $-0,315 + 0,25 \text{ мм}$; $-0,200 + 0,15 \text{ мм}$. Такой выбор фракций, когда между двумя ближайшими фракциями имелась еще одна ситовая фракция гарантировало при просеивании быстрое и полное разделение смеси фракций на исходные компоненты.

Исходные компоненты трехдисперсной суспензии в выбранной пропорции перемешивались в сухом виде во всей массе, затем отдельными порциями $0,3\text{—}0,5 \text{ л}$ в конической колбе (емк. $1,5 \text{ л}$), после чего снова перемешивались во всей массе. Затем к смеси медленно добавлялась вода, которая просачивалась в массу благодаря капиллярным силам. Когда вся смесь насытилась водой без ее избытка, она тщательно перемешивалась.

Полученная таким образом паста загружалась в монжус и включалась в схему для работы.

Исследования степени однородности приготовленной таким образом пасты показали, что содержание данного компонента в отдельных пробах смеси отклонялось от взятого порядка $\pm 3,5\%$. Это значительное отклонение и недостаток третьего способа по сравнению со вторым способом заключается именно в этом.

Каждый раз в монжус загружалась паста, содержащая около 6 кг сухого песка. На таком количестве песка производились 3—4 опыта по вертикальному движению трехдисперсной суспензии. В этих опытах соотношение $\varepsilon_1/\varepsilon_2/\varepsilon_3$ в питающей колонку суспензии оставалось постоянным. Опыты отличались друг от друга скоростью V , степенью разбавления пасты и концентрациями φ_1 , φ_2 и φ_3 .

По окончании опытов с данной загрузкой, песок отделялся, сушился и при помощи сит опять разделялся на исходные три фракции. Затем из этих фракций составлялась смесь нового состава, загружалась в монжус и производилась новая группа экспериментов. Всего были произведены 3 группы экспериментов (три загрузки монжуса с различным составом смеси), содержащих 11 отдельных опытов, сведенных в табл. 3.

Таблица 3

Результаты опытов с кварцевым песком 460, 280 и 180 мк. (третий способ)

φ_1	φ_2	φ_3	φ'/φ	φ_1/φ_1	φ_2/φ_2	φ_3/φ_3
0,040	0,032	0,054	1,020	1,010	0,996	1,074
0,017	0,008	0,014	1,010	0,965	1,154	1,000
0,087	0,024	0,019	1,022	0,980	1,043	1,167
0,074	0,026	0,035	1,028	0,877	1,132	1,280
0,153	0,031	0,030	1,062	0,900	1,140	1,100
0,132	0,063	0,065	1,027	1,000	1,060	1,041
0,152	0,022	0,029	0,980	0,895	1,210	1,240
0,125	0,063	0,092	1,000	0,976	1,015	0,020
0,151	0,044	0,062	0,976	0,845	1,110	1,180
0,199	0,045	0,040	1,010	0,970	1,060	1,020
0,198	0,063	0,092	1,055	1,000	1,021	1,000
Осредненные величины			1,008	0,955	1,085	1,102

Уравнение (4) для трехдисперсной суспензии песка имеет вид:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = \frac{V\varepsilon_1}{V-U_1} + \frac{V\varepsilon_2}{V-U_2} + \frac{V\varepsilon_3}{V-U_3} \quad (10)$$

Из опыта непосредственно находились значения всех величин, входящих в это уравнение, за исключением U_1 , U_2 и U_3 . Затем по кривой $U = f(\varphi)$, приведенных на рис. 4, значения с.с.п. U_1 , U_2 и U_3 соответствующие суммарной концентрации φ . По этим значениям с.с.п. рассчитывались гипотетические значения концентрации компонентов и их сумма:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1' &= \frac{V\varepsilon_1}{V-U_1}, \quad \varphi_2' = \frac{V\varepsilon_2}{V-U_2}, \\ \varphi_3' &= \frac{V\varepsilon_3}{V-U_3}, \quad \varphi' = \varphi_1' + \varphi_2' + \varphi_3'. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

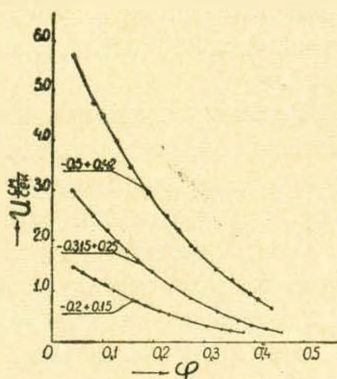


Рис. 4.

В табл. 4 сведены основные данные всех четырех серий опытов. Из этих данных, а также данных таблиц 1—3 следует, что:

1. Суммарная расчетная концентрация φ' для всех фракций очень хорошо совпадает с суммарной фактической концентрацией φ . Расхождение составляет несколько процентов. Только в двух случаях из

Сводная таблица

Серия опытов	Дисперсность суспензии	Способ	Размеры компонентов в микронах			φ'/φ	φ_2'/φ_1	φ_3'/φ_2	φ_3'/φ_3
			1	2	3				
1	Двухдисперсная	I	1000	130	—	0,998	0,978	1,023	—
2	"	I	450	180	—	0,930	0,890	1,050	—
3	"	II	380	180	—	1,018	1,003	1,064	—
4	Трехдисперсная	III	460	180	180	1,008	0,955	1,083	1,102
Осредненные величины						0,989	0,955	1,055	1,022

38 это расхождение достигает 10%. Среднее значение соотношения φ'/φ для всех опытов составляет число близкое к единице (0,989).

2. Расчетная концентрация крупной фракции φ_1 в большинстве случаев оказывается меньше фактической. Соотношение φ_1'/φ_1 в среднем составляет 0,955. Иначе говоря фактическая концентрация выше ожидаемой на 4,5%. Здесь следует отметить, что когда размеры частиц, входящих в суспензию, друг от друга сильно отличаются, мелкие фракции, заходя в гидравлическую тень больших, садятся на них. Это наблюдается визуально. В любой момент опыта определенное количество мелких частиц садится на теневой стороне крупных. Это вызывает утяжеление крупных частиц, увеличивается их с.с.п. и следовательно, их концентрация φ_1 .

3. Расчетная концентрация мелкой фракции как правило больше фактической. Как видно из табл. 4 среднее соотношение φ_2'/φ_2 составляет 1,055. В четвертой серии опытов фактическая концентрация третьей (наименьшей) фракции оказалась на 10,2% меньше расчетной.

Резюмируя изложенное отметим, что авторами разработаны три способа проверки уравнений (4), (5) и (6). Первый способ отличается простотой, но пригоден только для двухдисперсной системы. Второй способ отличается точностью и постоянством состава изготавливаемой суспензии, однако он сложен и становится громоздким и трудноуправляемым для систем, содержащих более двух фракций. Третий способ менее точен, чем второй, но более прост и может быть применен для систем с любым числом фракций.

Четырьмя сериями опытов с точностью до 10% установлена приемлемость уравнений (4), (5) и (6) для двухдисперсных и трехдисперсных систем (суспензий).

Ա. Մ. ԴԱՍՊԱՐՅԱՆ, Ա. Հ. ԶԵՄԻՆՅԱՆ, Ն. Ա. ԻՎԱՆՅԱՆ

ՊՈԼԻԴԻՍԴԵՐՍ ՍՈՒՍՊԵՆԶԻԱՅԻ ԳԵՐՏԻՎԱԼ ՇԱՐԺՄԱՆ
ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՍՏՈԻԴՈՒՄԸ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Նախորդ հոդվածներում մենք ցույց ենք տվել, որ կաշկանդված անկման արագությունը մոնոդիսպերս զնդածե մասնիկների դեպքում արտահայտվում է (1) հավասարումով [1, 2], իսկ տեղի մասնիկների դեպքում՝ (2) հավասարումով [4]: Մոնոդիսպերս սուսպենդիայի վերտիկալ շարժման համար առաջարկված է (3) հավասարումը [5], իսկ պոլիդիսպերս սուսպենդիայի համար՝ (4) հավասարումը [6]: Ընդունված է հիպոթեզ, որի համաձայն պոլիդիսպերս սուսպենդիայում ցանկացած կոմպոնենտի կաշկանդված անկման արագությունը կարելի է հաշվել (5) կամ (6) հավասարումների օգնությամբ: (4, 5, 6) հավասարումների ճշտությունն ստուգելու նպատակով կատարել ենք փորձեր, որոնք նկարագրված են ստորև: Մշակվել և կիրառվել են փորձարկումների հետևյալ եղանակները:

I եղանակի դեպքում, որը պիտանի է միայն երկդիսպերս սուսպենդիաների համար, փորձախողովակի մեջ լցվում է G քանակի խոշոր կոմպոնենտ և նրա ներքևից արվում է մանրակոմպոնենտ սուսպենդիան: Փորձախողովակում հավասարակշռված միճակ ստեղծվելուց հետո չափվում է խոշոր կոմպոնենտի l_0 բարձրությունը (նկար 1) և հետագոյ սուսպենդիայից վերցվում է նմուշ V արագություն ունեցող համար: Այնուհետև դադարեցվում է սուսպենդիայի շարժումը և որոշվում է մանր կոմպոնենտի քանակը փորձախողովակում: Փորձից ստացված տվյալները և ստանձին կոմպոնենտների $U=f(\varphi)$ էքսպերիմենտալ կորերը հնարավորություն են տալիս որոշելու V , ε_1 , φ_1 , φ_2 և φ արժեքները, ինչպես նաև φ'_1 , φ'_2 և φ' հիպոթետիկ կոնցենտրացիաների արժեքները: Աղյուսակ 1-ի 7, 8 և 9 սյունակներում արված են հիպոթետիկ և չափված կոնցենտրացիաների հարաբերությունները 16 փորձերի համար: Այս փորձերում խոշոր կոմպոնենտը եղել է ալյումոսիլիկատային զնդիկների նեղ ֆրակցիան, իսկ մանր կոմպոնենտը՝ կվարցային ավազի նեղ ֆրակցիան: Ալյումոսիլիկատային զնդիկների փոխարեն փորձարկվել է նաև գետային ավազը:

II եղանակի դեպքում խոշոր և մանր կոմպոնենտները փորձախողովակ են արվում սուսպենդիայի ձևով: Սխեմայի մանրամասնությունները ցույց են տրված նկար 2-ում: Երբ պիեզոմետրերի ցուցումները դադնում են հաստատուն, դրանք դրանցվում են և հետագոյ սուսպենդիայից վերցվում է նմուշ V արագություն ու կոմպոնենտների ε_1 և ε_2 արժեքները որոշելու համար: Այնուհետև, փակելով պիեզոմետրերի փականները և 12 փականը, որոշում են փորձախողովակում եղած կոմպոնենտների քանակները, համապատասխան φ_1 և φ_2 կոնցենտրացիաները որոշելու համար: (8) հավասարումներից կարելի է որոշել U_1 և U_2 արագությունները և դրանք համեմատել $U=f(\varphi)$ կորերից ստացվող U'_1 և U'_2 հիպոթետիկ արժեքների հետ: Կարելի է նաև (9) հավասարումներից ստանալ φ'_1 , φ'_2 և φ' հիպոթետիկ կոնցենտրացիաները և համեմատել φ_1 , φ_2 և φ արժեքների հետ: Աղյուսակ 2-ում այդպիսի

համեմատում կատարված է կվարցային ավազի երկու ֆրակցիաների հետ կատարված 11 փորձերի համար: Պետք է նշել, որ այս եղանակով փորձարկումները 3 և ավելի կոմպոնենտների դեպքում շատ դժվար կլինի իրագործել:

III եղանակի դեպքում, նախորդ պատրաստված կոմպոնենտների որոշակի հարաբերություն ունեցող խառնուրդը փորձախոզովակ է տրվում սուսպենզիայի ձևով: Այս եղանակի սխեման ցույց է տրված նկար 3-ում: Չափումները կատարվում են նախորդ եղանակի նման: Փորձարկվել են կվարցային ավազի երեք նեղ ֆրակցիաներ: Նկարագրված է սովյալ բաղադրություն խառնուրդ պատրաստելու պրոցեսը: Կատարված 11 փորձերի տվյալներից և նկար 4-ում բերված $U=f(\varphi)$ կորերից որոշվել են հիպոթետիկ կոնցենտրացիաների $\varphi'_1, \varphi'_2, \varphi'_3$ և φ' արժեքները, որոնք աղյուսակ 3-ում համեմատված են $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ և φ չափված կոնցենտրացիաների հետ:

Աղյուսակ 4-ում տրված են կատարված փորձերի ընդհանրացված արդյունքները, որոնց հիման վրա կարելի է եզրակացնել՝ 1) հիպոթետիկ կոնցենտրացիաները բավարար չափով համընկնում են փորձերից ստացված համապատասխան արժեքների հետ և 2) խոշոր կոմպոնենտների դեպքում կոնցենտրացիայի չափված արժեքը միշտ ավելի մեծ է ստացվում նրա հաշվաչին արժեքից $\varphi_1 > \varphi'_1$: Մանր կոմպոնենտների դեպքում հակառակն է ճիշտ:

Պետք է նշել, որ լազմադիսպերս սուսպենզիաների դեպքում, տարբեր կոմպոնենտների մասնիկների α ծավալային գործակիցները տարբեր լինելու հանգամանքը հաշվի չառնելու հետևանքով φ'_1 -ի արժեքները մեծացված են ստացվում: Նկատված է նաև, որ տարբեր կոմպոնենտների մասնիկների չափերի միջև մեծ տարբերություն լինելու դեպքում փոքրերի մի մասը նստում է մեծերի վրա և գրանով մեծացնում նրանց կոնցենտրացիան:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гаспарян А. М., Заминян А. А. Известия АН Армянской ССР, серия ТН, т. XII, № 4, 1959.
2. Гаспарян А. М., Заминян А. А. Известия АН Армянской ССР, серия ТН, т. XII, № 5, 1959.
3. Гаспарян А. М., Икарян Н. С. Известия АН Армянской ССР, серия ТН, т. XV, № 2, 1962.
4. Гаспарян А. М., Икарян Н. С. ДАН Армянской ССР, т. XXXV, № 1, 1962.
5. Гаспарян А. М., Заминян А. А. ДАН Армянской ССР, т. XXVIII, № 3, 1959.
6. Гаспарян А. М., Заминян А. А. ДАН Армянской ССР, т. XXXI, № 3, 1960.
7. Гаспарян А. М., Икарян Н. С. ДАН Армянской ССР, т. XXVI, № 2, 1948.

ПРИКЛАДНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

С. Е. АКОПЯН

К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗАЩИЩЕННОСТИ
МЕТЕОСТАНЦИЙ ГОРНЫХ РАЙОНОВ

Большинство метеостанций на территории Армянской ССР расположено на площадках, защищенных от ветра, вследствие чего замеренные скорости ветра оказываются существенно заниженными. При энергетических расчетах по использованию энергии ветра это обстоятельство должно быть принято во внимание. Изучению вопроса изменения ветров и метода подсчета энергии ветра посвящены [1—4].

Задача определения степени защищенности метеостанции в горных районах по сравнению с метеостанциями в равнинных районах гораздо сложнее, так как первые защищены не только искусственными, но и естественными препятствиями (горы, ущелья и т. д.).

В 1957—1958 гг. Советом по изучению производительных сил АН Армянской ССР по затронутому вопросу проводились исследования [5].

С целью установления правильной методики определения степени защищенности метеостанций, применительно к горным районам Армянской ССР, Институтом энергетики и гидравлики АН Армянской ССР в 1959 году дополнительно проводились круглогодичные исследования в окрестностях и на самой метеостанции села Семеновка. В районе метеоплощадки были выбраны три пункта наблюдений (рис. 1), имеющие разную степень защищенности в зависимости от направления ветра. Измерения производились на этих пунктах в разное время суток анемометрами на высоте 2 м, синхронно с наблюдениями на метеостанции по флюгеру на высоте 11 м и анемометром на высоте 2 м. По результатам наблюдений был определен коэффициент защищенности для каждого пункта для флюгера по формуле $K_{\phi} = V/V_{\phi}$ и для анемометра по формуле $K_a = V/V_a$, где V — скорость ветра на высоте двух метров по анемометру на открытой площадке в районе метеостанции; V_{ϕ} — скорость ветра на высоте 11 м по флюгеру на метеоплощадке; V_a — скорость ветра на высоте двух метров по анемометру на метеоплощадке.

В результате наблюдений оказалось, что коэффициент защищенности по определенным направлениям на выбранных пунктах отклоняется от среднегодового значения в среднем на 0,1—0,4. Если учесть, что метод расчета дает допускаемую погрешность порядка

0,1—0,5, в зависимости от числа случаев в данном интервале и направлении ветра, то можно допустить, что коэффициент защищенности данной метеостанции довольно стабилен по величине независимо от времени года. В этом можно убедиться по рис. 2, на котором приведены коэффициенты защищенности в различных пунктах наблюдений при определенных направлениях ветра по месяцам.

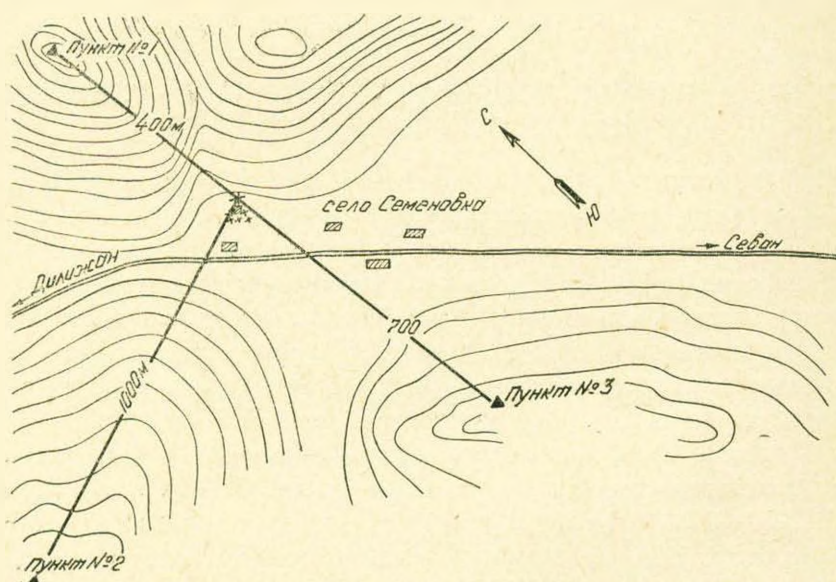


Рис. 1. Схема расположения анемометрических пунктов на территории с. Семеновки.

Данные, приведенные в табл. 1 показывают, что коэффициент защищенности мало изменяется в течение любых промежутков времени.

Значения коэффициентов защищенности, по двум направлениям в зависимости от интервалов скорости ветра представлены в табл. 2.

По данным табл. 2 видно, что коэффициент защищенности мало зависит от абсолютной величины скорости ветра.

Рассматривая максимальные отклонения среднегодового значения коэффициента защищенности от среднемесячного по интервалам скорости (рис. 3), легко видеть, что отклонения по всем интервалам незначительны. Большие отклонения наблюдаются только в интервале скорости ветра 0—2 м/сек, что кстати говоря в энергетических расчетах не играет существенной роли. Это отклонение, в основном, следует объяснить инерционностью флюгера.

Величины коэффициентов защищенности пунктов № 1—№ 3, и вычисленных для отдельных направлений по результатам годовых наблюдений приведены в табл. 3

Анализ данных табл. 3 показывает, что коэффициенты защищенности пунктов наблюдений № 1—№ 3, имеющих различную степень за-

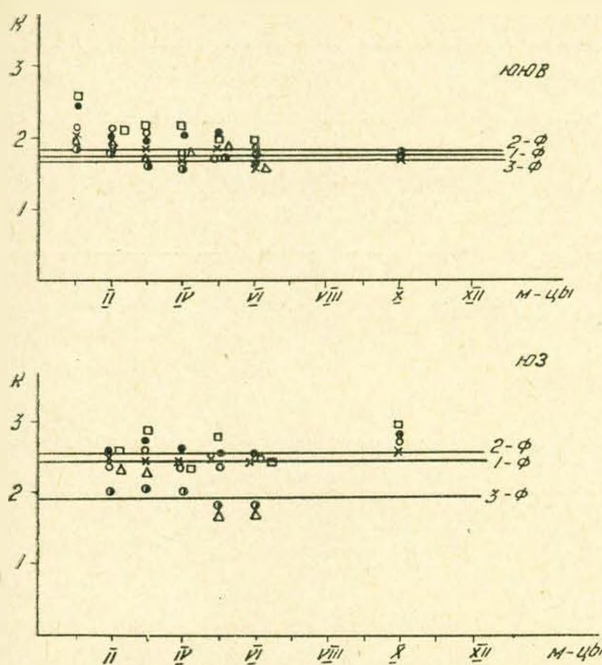


Рис. 2. Графики коэффициентов защищенности. 1-ф — осредненные значения по показаниям флюгера в пункте № 1; 2-ф и 3-ф то-же в пунктах № 2 и № 3.

Таблица 1
Среднесуточные и среднемесячные коэффициенты защищенности по отдельным интервалам скорости ветра направлений ЮЮВ

Дата наблюдения	Пункт № 1			Пункт № 2			Пункт № 3		
	V м/сек	K_{Φ}	K_a	V м/сек	K_{Φ}	K_a	V м/сек	K_{Φ}	K_a
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$0 < V_{\Phi} \leq 2$ м/сек									
1. III—59 г.	3,77	1,95	2,20	4,81	1,97	2,20	3,17	1,65	1,87
2. III—59 г.	3,03	1,60	1,76	3,70	1,94	1,14	3,17	1,65	1,86
7. III—59 г.	3,35	1,67	2,05	3,26	1,63	1,96	3,99	2,00	2,40
14. III—59 г.	3,96	1,96	2,50	4,51	2,20	2,90	3,88	1,94	2,50
21. III—59 г.	3,20	1,80	2,30	4,01	1,60	2,20	—	—	—
Средне месячные	3,75	1,98	2,14	4,37	2,30	2,48	3,52	1,86	2,00
$2 < V_{\Phi} \leq 4$ м/сек									
1. III—59 г.	4,94	1,45	2,08	4,77	1,40	2,02	4,38	1,30	1,89
2. III—59 г.	2,09	1,37	1,70	4,50	1,50	1,90	4,28	1,40	1,76
14. III—59 г.	5,75	1,90	2,30	5,91	1,90	2,20	4,22	1,40	1,75
18. III—59 г.	5,29	1,56	1,83	6,05	1,97	2,30	4,70	1,38	1,62
20. III—59 г.	5,40	1,80	2,10	5,30	1,76	2,10	5,02	1,60	1,95
30. III—59 г.	4,95	1,65	2,30	4,64	1,55	2,20	3,92	1,30	1,90
Средне месячные	4,95	1,65	1,90	5,02	1,66	2,07	4,44	1,47	1,85

Продолж. табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$4 < V_{\Phi} < 6 \text{ м/сек}$									
9.III—59	5,15	2,03	2,0	4,59	1,66	2,07	4,62	1,4	1,70
Осредненные значения	4,26	1,78	2,03	4,66	1,97	2,10	3,89	1,65	1,77

Таблица 2

Коэффициенты защищенности по данным направлениям
и интервалам скорости ветра

Интервалы скорости ветра	Пункты наблюдения						Месяцы
	№ 1		№ 2		№ 3		
	K_{Φ}	K_a	K_{Φ}	K_a	K_{Φ}	K_a	
	2	3	4	5	6	7	
1							8

Направление ЗЮЗ

От 0 до 2 м/сек	2,20	3,40	3,20	3,80	2,30	2,60	II
	2,40	8,40	2,80	3,00	—	—	III
	1,50	1,50	2,30	2,36	2,50	2,90	IV
	3,20	2,80	3,00	2,90	—	—	X
	Осредненные значения	2,32	2,70	2,82	3,02	2,40	2,77
От 2 до 4 м/сек	2,20	2,60	2,30	2,70	2,00	2,40	II
	2,50	2,70	2,80	3,00	2,30	2,50	III
	2,20	2,50	2,50	2,30	1,90	2,03	IV
	2,05	2,35	2,16	2,41	—	—	X
	Осредненные значения	2,24	2,54	2,44	2,60	2,06	2,30
От 4 до 6 м/сек	2,90	2,39	2,34	2,44	1,80	1,93	II
	2,00	2,22	2,57	2,36	—	—	III
	2,29	2,39	2,34	2,44	1,80	1,93	IV
	2,06	2,22	2,57	2,36	—	—	X
	Осредненные значения	2,14	2,30	2,45	2,40	1,80	1,93
От 6 до 8 м/сек	2,16	2,20	1,90	2,30	1,50	1,90	III
	2,16	2,44	2,20	2,58	1,80	2,04	IV
Осредненные значения	2,13	2,32	2,05	2,44	1,68	1,97	

Продолж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Направление ЮЗ							
От 0 до 2 м/сек	2,90	3,40	3,26	3,83	2,23	2,60	II
	3,20	3,40	3,38	5,59	2,23	2,37	III
	2,65	2,32	2,86	2,49	2,47	2,08	IV
	2,50	2,80	3,04	2,80	2,10	2,01	V
	2,56	2,36	2,59	2,38	1,92	1,80	VI
	3,6	3,50	3,90	3,93	—	—	X
	Осредненные значения	2,80	2,90	3,16	3,24	2,19	2,19
От 2 до 4 м/сек	2,24	2,67	2,33	2,78	2,01	2,40	II
	2,50	2,82	2,62	2,96	2,25	2,53	III
	2,60	2,80	2,76	2,92	2,00	2,17	IV
	2,21	2,42	2,40	2,40	1,70	1,80	V
	2,40	2,59	2,41	2,59	1,65	1,78	VI
	2,14	2,30	2,35	2,54	—	—	X
	Осредненные значения	2,26	2,60	2,48	2,60	1,90	2,16
От 4 до 6 м/сек	2,04	2,50	2,10	2,59	2,0	2,45	II
	2,90	2,70	2,25	2,80	1,94	2,42	III
	2,37	2,66	2,40	2,67	1,80	2,01	IV
	2,02	2,20	2,00	2,21	1,30	1,44	V
	2,27	2,60	2,10	2,43	—	—	X
	Осредненные значения	2,30	2,52	2,18	2,55	1,75	2,08
От 6 до 8 м/сек	1,72	2,20	1,77	2,20	1,92	2,46	II
	2,46	2,84	2,20	2,51	1,80	2,08	IV
Осредненные значения	2,09	2,52	2,00	2,38	1,85	2,27	

щищенности, меняются в зависимости от изменения направления скорости ветра. Коэффициент защищенности получается одинаковым по различным румбам в случае, когда пункты наблюдений имеют одинаковую защищенность по разным направлениям.

На основании полученных коэффициентов защищенности пунктов наблюдений и по данным многолетних наблюдений Семеновской метеостанции определена истинная величина скорости ветра. Результаты расчета приведены в табл. 4. Третий пункт наблюдений был расположен в относительно более защищенном месте (рис. 1). Поэтому, коэффициенты защищенности метеостанции по третьему пункту меньше чем соответствующие коэффициенты первого и второго пунктов. Средне-взвешенный коэффициент защищенности территории Семеновской метеостанции по годовым наблюдениям (1959 г.) равен 1,8, а по данным недельных наблюдений 1957 г. оказался равным 1,74, что свидетельствует о слабой зависимости коэффициента защищенности от длительности наблюдений и величины скорости ветра.

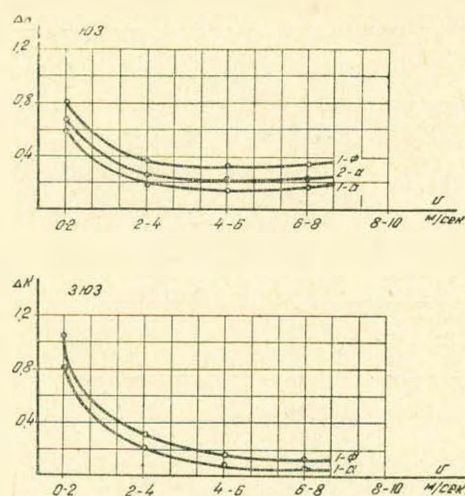


Рис. 3. Кривые максимальных отклонений средне-годовых коэффициентов от средне-месячных по интервалам. 1-ф — по показаниям флюгера в пункте № 1; 1-а и 2-а по показаниям анемометров соответственно в пунктах № 1 и 2.

Таблица 3

Коэффициенты защищенности пунктов наблюдений по направлениям ветра
Семеновской метеостанции

Направление ветра	Пункт № 1		Пункт № 2		Пункт № 3	
	K_{ϕ}	K_a	K_{ϕ}	K_a	K_{ϕ}	K_a
Ю	2,2	2,48	2,52	2,85	1,94	2,16
ЗЮЗ	2,18	2,4	2,32	2,72	2,08	2,3
С	1,75	1,93	1,77	1,63	1,9	2,1
ЮЗ	2,5	2,64	2,54	2,58	1,92	2,08
З	2,0	2,14	2,12	2,2	1,69	1,89
СЗ	1,40	1,65	1,50	1,75	1,51	1,74
ССЗ	1,58	1,74	1,60	1,87	2,27	2,62
ЮЮВ	1,70	1,98	1,87	2,04	1,75	1,81
ЮВ	1,80	1,91	1,91	2,14	1,13	1,71
СВ	1,73	2,10	1,7	2,05	2,20	2,20
ЮЮЗ	2,55	2,80	2,62	2,94	1,95	2,18
ССВ	1,85	1,90	1,90	2,45	2,35	1,13
В	1,47	1,62	1,63	1,77	1,75	1,72

Таким образом истинная скорость ветра в окрестности Семеновской метеостанции оказалась равной 5,8 м/сек вместо 3,2 м/сек, полученной по данным непосредственных наблюдений на самой станции.

Классификация метеостанций по защищенности в горных районах представляет значительные трудности. Все известные классификации метеостанций [1, 3, 5] построены на основе изучения особенностей станций, расположенных на равнинах и местностях со слабо расчлененным рельефом, в то время как горные районы Армении представляют собой слож-

Таблица 4

Вычисление истинной величины скорости ветра в зоне Семеновской метеостанции

Направление ветра	Повторяемость в течение года %, ($\sum n$)	K_{Φ}	K_a	nK_{Φ}	$\frac{\sum nK_{\Phi}}{100}$	Вычисление истинной величины скорости ветра
Пункт № 1						Средняя многолетняя скорость ветра по данным Семеновской метеостанции $V_m = 3,2 \text{ м/сек.}$ Следовательно, $V_{ист} = \frac{\sum nK_{\Phi}}{100} \cdot V_m = 1,83 \times 3,2 = 5,8 \text{ м/сек.}$
Ю, ЗЮЗ	12	2,20	2,45	26,4	1,83	
С, ЮЮВ, СВ, ССВ, ЮВ, ВЮВ	45	1,78	1,96	80		
ВСВ, СЗ, ССЗ, ЗСЗ, В	28	1,46	1,60	40,8		
ЮЗ, ЮЮЗ	15	2,52	2,70	37,4		
Пункт № 2						$V_{ист} = 1,85 \times 3,2 = 5,9 \text{ м/сек}$
Ю, ЮЗ, ЮЮЗ	17	2,55	—	43,3	1,85	
ЗЮЗ, З	4	2,20	—	8,3		
С, СВ, В	19	1,72	—	33,1		
ЮЮВ, ЮВ, ССВ, ВЮВ, ВСВ	21	1,90	—	40,5		
СЗ, ССЗ, ЗСЗ	39	1,55	—	60,3		
Пункт № 3						$V_{ист} = 1,74 \times 3,2 = 5,6 \text{ м/сек}$
Ю, С, ЮЗ, ЮЮЗ	40	1,92	—	77	1,74	
ЗЮЗ, ССЗ, СВ, ВСВ, ССВ ЗСЗ	24	2,10	—	49,8		
З, ЮЮВ, В	11	1,72	—	18,9		
ЮВ, ВЮВ	25	1,15	—	28,8		

ный рельеф, пересеченный многочисленными цепями хребтов, ущелий и т. д. Поэтому применение их в горных районах является весьма затруднительным. Для этих районов должна быть разработана специальная классификация местоположений метеостанций, в которой должна быть учтена защищенность станций со стороны наветренных и подветренных румбов, местоположений и типа ущелий, а также должны учитываться другие особенности.

В основу такой классификации были положены с одной стороны, форма рельефа, расположение гор и ущелий вокруг метеостанции и с другой стороны характер предметов, окружающих ее, а также частично отдаленность метеостанций от водной поверхности.

Различные формы рельефа сильно изменяют степень защищенности данной метеостанции. В связи с этим при классификации один и тот же класс защищенности рассматривается в трех видах: при расположении станции на вершине, склоне и котловине. Коэффициент защищенности соответственно с этим меняется. Он меняется также при изменении рас-

Таблица 5

Классификация метеостанций горных районов по степени их защищенности

Характеристика защищенности метеостанции	Место расположения метеостанции					
	Вершина		Склон		Котловина	
	А	К	Б	К	В	К
1. Метеоплощадка не защищена. Окружающие горы расположены с наветренных румбов, отдаленностью более 4 км; вблизи ущелий нет	XI	1,0	X	1,3	IX	1,6
2. Метеостанция расположена на окраине села. Кругом дуга, лес, вдали холмистая поверхность. Отдаленность окружающих гор более 2 км; имеются ущелья. Флюгер расположен выше окружающих предметов	X	1,2	IX	1,5	VIII	1,8
3. Метеостанция расположена на окраине села. Окружающие горы расположены с наветренных румбов, отдаленностью более 1 км. Высота гор порядка 50—150 м. Озеро и лес расположены на расстоянии 5—10 км. Имеется ущелье на расстоянии более 1 км	IX	1,4	VIII	1,7	VII	2,0
4. Вокруг метеостанции имеются предметы защищенности. Половина горизонта закрыта окружающими горами, высотой порядка 100—150 м. Отдаленность гор более 0,5 км; их крутизна склонов 17—30°. Флюгер расположен выше окружающих предметов	VIII	1,6	VII	1,9	VI	2,2
5. Метеостанция расположена на окраине села, недалеко от водной поверхности. Окружающие горы высотой 50—200 м, отдаленностью до 0,8 км, расположены с наветренных румбов	VII	1,8	VI	2,1	V	2,4
6. Метеостанция имеет элементы защищенности. Кругом расположены горы высотой 100—200 м отдаленностью 0,5—2 км. Флюгер расположен на уровне окружающих предметов	VI	2,0	V	2,3	IV	2,6
7. Метеостанция расположена в середине села. Флюгер расположен ниже окружающих предметов. Горы с наветренных румбов высотой 100—200 м отдаленностью 0,2—0,8 км. Вблизи имеются небольшие ущелья	V	2,3	IV	2,8	III	3,3
8. Метеостанция расположена на окраине села. Флюгер расположен ниже окружающих предметов. Кругом горы высотой до 0,8 км частично покрытые кустарником	IV	2,6	III	3,1	II	3,6
9. Метеостанция расположена в середине села. Флюгер ниже окружающих предметов. Кругом горы, расположенные с наветренных румбов высотой 200—300 м отдаленностью до 0,8 км. Имеется ущелье отдаленностью порядка 0,7 км	III	2,3	II	3,4	I	3,9

положения флюгера. Если флюгер расположен выше окружающих предметов, то влияние формы рельефа на скорость ветра не столь значительно, а если флюгер расположен ниже окружающих предметов, то влияние степени защищенности на скорость ветра гораздо больше влияния формы рельефа. С целью уточнения класса каждой станции было проведено детальное ознакомление с местоположением флюгера по данным УГМС Армянской ССР и данным, полученным экспедицией.

Таблица 6

Среднегодовые значения скорости ветра

Наименование метеостанции	$V_{\text{ж}}$ м/сек	Класс защищенности метеостанций	$K_{\text{ф}}$	$V_{\text{ист}}$ м/сек
Сисиан	2,6	XI B	1,6	4,1
Сисианский перевал (Бичанак) . . .	7,4	XI A	1,0	7,4
Горис	1,6	V B	3,5	5,8
Базарчай	2,2	VI B	2,6	5,7
Мартирос	2,2	VI B	2,6	5,7
Яных	3,8	VI A	2,0	7,6
Мазра	3,2	XI B	1,6	5,1
Мартуни	2,7	VII Б	2,1	5,7
Шоржа	3,2	IX B	2,0	6,4
Красносельск	2,5	IX Б	1,6	4,3
Семёновка	3,2	IX Б	1,8	5,8
Остров Севан	4,2	X B	1,8	7,5
Дилижан	2,1	X B	1,8	3,8
Иджеван	1,5	IX Б	1,7	2,6
Лермонтово	2,6	X Б	1,5	3,9
Ахта	2,6	IX Б	1,7	4,4
Фонтан	3,4	IX B	1,8	6,1
Камо	1,9	IX A	1,4	2,6

На основании результатов произведенных исследований с учетом данных УГМС Армянской ССР предлагается следующая классификация метеостанций горных районов в зависимости от степени их защищенности (табл. 5).

Римскими цифрами в табл. 5 обозначены классы защищенности метеостанций.

С помощью коэффициентов защищенности и данных многолетних наблюдений можно определить действительные величины среднемноголетних скоростей ветра на территории метеостанций по формуле.

$$V_{\text{л}} = V_{\text{ф}} \cdot K_1 + h \cdot K_2, \quad (*)$$

где $V_{\text{ф}}$ — многолетняя среднегодовая скорость ветра по данным метеостанции; K_1 — коэффициент защищенности; h — высота флюгера; K_2 — коэффициент, учитывающий величину роста скорости ветра с изменением высоты.

Пользуясь предлагаемой классификацией на основании данных УГМС по формуле (*) определены значения действительных (истинных) скоростей ветра для некоторых метеостанций Армянской ССР. Результаты расчета сведены в табл. 6. В этой таблице $V_{\text{ж}}$ — скорость ветра.

рость ветра по флюгеру за многолетний период; K_{ϕ} — коэффициент защищенности; $V_{\text{ист}}$ — истинная скорость ветра.

Резюмируя изложенное, можно отметить следующее. Коэффициент защищенности метеостанций горных районов зависит в основном только от направления скорости ветра. Коэффициент защищенности метеостанции можно вычислить по данным кратковременных наблюдений на основании показаний флюгера метеостанции и анемометра, находящегося в открытом месте, в районе метеостанции. В случае, когда известна характеристика метеостанции, коэффициент защищенности можно определить без полевых наблюдений, пользуясь предлагаемой классификацией (табл. 5). Для неизученных районов Армянской ССР требуется проведение дополнительных экспедиционных работ.

Институт водных проблем

АН Армянской ССР

Поступило 15.XI 1961 г.

Ս. Ե. ԱԿՈՅԱՆ

ԼՅՈՆԱՅԻՆ ՇՐՋԱՆՆԵՐՈՒՄ ՕԳԵՐԵՈՒԹԱՐԱՆԱԿԱՆ ԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ԾԱԾԿԱԾՈՒԹՅԱՆ ԱՍՏԻՃԱՆԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱՅԻ ՄԱՍԻՆ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Լեռնային շրջաններում օդերևութաբանական կայանների մեծ մասը ծածկված է արհեստական և բնական արգելքներով, որոնց շնորհիվ կայանում կատարվող չափումները նշանակալի փոքրացված են:

Հոդվածում մշակված է մեթոդիկա, որով լեռնային շրջաններում որոշվում է բամու իրական ռեսուրսների չափը՝ կախված օդերևութաբանական կայանների ծածկվածությունից և տեղագրման վայրից:

Հոդվածում շարադրված է առաջադրված մեթոդիկայի կիրառման արդյունքները և այդ հետազոտման նյութերի հիման վրա կատարված է լեռնային շրջաններում օդերևութաբանական կայանների դասակարգումը, կախված հիմնականում օդերևութաբանական կայանի ծածկվածությունից և տեղագրման վայրից: Այդպիսի դասակարգման շնորհիվ կարելի է առանց տեղում լինելու որոշել տվյալ օդերևութաբանական կայանի ծածկվածության գործակիցը, եթե նախօրոք հայտնի է տվյալ օդերևութաբանական կայանի տեղագրման նկարագրությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Подтягин М. Н. Теоретический анализ изменения ветров. Геофизика, т. V, вып. 1, М., 1935.
2. Келлер М. В. О методах подсчета энергии ветра и ее использование. М., 1957.
3. Романенко Н. Н. Энергетический расчет при использовании типовых ветродвигателей для механизации, подоснабжения и кормоприготовления в условиях Молдавской ССР. Тр. Кишиневского сельскохозяйств. института им. Фрунзе, Кишинев 1956.
4. Сапожникова С. А. Типизация метеорологических станций по влиянию и местоположению на скорости ветров. Журн. Метеорология и гидрология, № 5, 1948.
5. Акопян С. Е. О действительных ветроэнергоресурсах Армении, Ереван, ДАН Армянской ССР, т. XXVIII, в. 3, 1958.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

С. С. АВЕТИСОВ

ВТОРИЧНЫЙ ПОТОК В КАНАЛАХ ГИДРОТУРБИН

Износы на поверхности канала рабочего колеса гидротурбины, при входе потока не следуют вдоль поверхности обода и втулки, как это должно было быть в случае осесимметричного потока, а сходят с поверхности обода и втулки на выпуклый контур лопасти и направлены к среднему сечению лопасти. Резкое отклонение износов у обода и втулки можно объяснить, только, интерференцией пограничных слоев в случае лопасти конечной длины.

Канал рабочего колеса гидротурбины ограничен одним выпуклым и одним вогнутым контуром смежных лопастей, а также криволинейными поверхностями обода и втулки рабочего колеса. Изменение формы канала рабочего колеса вдоль течения жидкости должно оказывать влияние на соотношение кинетической энергии и статического давления в потоке жидкости по сечениям канала. В данном случае средняя часть выпуклой поверхности лопасти, в некотором удалении от поверхности обода и втулки, будет зоной минимального статического давления. Тормозящее действие пограничного слоя обода и втулки будет вытеснять течение в тех случаях, когда поток обтекает ту часть лопасти, которая непосредственно прилегает к ободу или втулке. Это создает градиент статического давления вдоль длины лопасти. Вследствие влияния формы граничной поверхности и вязкости жидкости в поперечном направлении потока возникает, градиент давления. Это приводит к появлению вторичных токов.

Принимая условие возникновения концевых вихрей в виде

$$\frac{d}{d_n} (\Gamma_n, V_n) \neq 0, \quad (1)$$

определим скорости вторичного течения из рассмотрения контура $ABCDEF$, показанного на рис. 1.

Согласно теории Стокса циркуляция по некоторой поверхности, ограниченной контуром, может быть вычислена интегрированием вихря по этой поверхности. Изменением циркуляции, вызванным смещением частичек F , B и E относительно выходной кромки, пренебрегаем. Интегрирование распространяем на оставшийся контур $FBCEF$ без учета смещения (рис. 1). Будем иметь

$$\Gamma = \zeta f dn_1, \quad (2)$$

где ζ — компонент абсолютного вихря, который перпендикулярен скорости; f — расстояние отставания между частичками, ξ проходящими вдоль выпуклого и вогнутого контуров лопасти; dn_1 — расстояние нормальное осесимметричным линиям тока, т. е. расстояние между B и C .

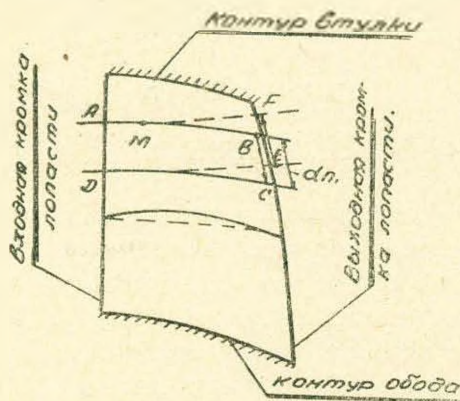


Рис. 1.

Для циркуляции, охватывающей рассматриваемую часть лопасти, имеем:

$$\Gamma = \Gamma_{CDE} - \Gamma_{BAF} + 2 v_b dn_2$$

или

$$\Gamma = - \frac{d \Gamma_{AA}}{dn_1} dn + 2 v_b dn_2, \quad (3)$$

где Γ_{AA} — циркуляция лопасти в сечении A ;

dn_2 — расстояние между F и E .

Подставив в (3) значение Γ из уравнения (2) после преобразований получим:

$$v_b = \frac{1}{2} \left(\zeta f + \frac{d \Gamma_{AA}}{dn_1} \right) \cdot \frac{dn_1}{dn_2}. \quad (4)$$

Для определения расстояния f рассмотрим линию $A_0 B_0$ составленную из жидких частиц в момент t_0 , натекания на лопасть. В другой момент времени t частицы, составляющие линию $A_0 B_0$ образуют новые линии AB и AF (рис. 1).

Линейные интегралы от скорости w по линии AB и AF будут иметь вид:

$$\Gamma_{AB} = \int_{AB} w ds; \quad \Gamma_{AF} = \int_{AF} w ds. \quad (5)$$

Жидкую частицу, в момент t_0 на линии $A_0 B_0$, будем характеризовать значением параметра w_∞ . Здесь w_∞ — относительная скорость впереди лопасти. Координаты x, y, z любой частицы лежащей в момент времени t_0 на линии $A_0 B_0$ будут функциями w_∞ и t .

Следовательно радиус-вектор точки M относительно начала координат 0

$$r = r(\omega_\infty, t). \quad (6)$$

Поэтому выражение циркуляции (5) примет вид:

$$\Gamma_{AB} = \int_{AB} \left(\omega_x \frac{\partial x}{\partial \omega_\infty} + \omega_y \frac{\partial y}{\partial \omega_\infty} + \omega_z \frac{\partial z}{\partial \omega_\infty} \right) d\omega_\infty = \int_{AB} \left(\omega \cdot \frac{\partial r}{\partial \omega_\infty} \right) d\omega_\infty. \quad (7)$$

Имея в виду, что ω_∞ и t независимые переменные в силу (6) и (7) после дифференцирования получим

$$\begin{aligned} \frac{d\Gamma_{AB}}{dt} &= \int_{AB} \left(\frac{\partial \omega}{\partial t} \cdot \frac{\partial r}{\partial \omega_\infty} \right) d\omega_\infty + \int_{AB} \left(\omega \cdot \frac{\partial^2 r}{\partial \omega_\infty \partial t} \right) d\omega_\infty = \\ &= \int_{AB} \left(\omega^1 \cdot \frac{\partial r}{\partial \omega_\infty} \right) d\omega_\infty + \int_{AB} \left(\omega \cdot \frac{\partial \omega}{\partial \omega_\infty} \right) d\omega_\infty, \end{aligned} \quad (8)$$

Первый член правой части уравнения построен совершенно аналогично выражению (7) и представляет собой линейный интеграл от ускорения:

$$\begin{aligned} \int_{AB} \left(\omega^1 \cdot \frac{\partial r}{\partial \omega_\infty} \right) d\omega_\infty &= \int_{AB} \left(\omega_x^1 \frac{\partial x}{\partial \omega_\infty} + \omega_y^1 \frac{\partial y}{\partial \omega_\infty} + \right. \\ &\quad \left. + \omega_z^1 \frac{\partial z}{\partial \omega_\infty} \right) d\omega_\infty = \int_{AB} (\omega^1 ds). \end{aligned} \quad (9)$$

Второй член правой части уравнения (8) можем представить в виде

$$\int_{AB} \left(\omega \cdot \frac{\partial \omega}{\partial \omega_\infty} \right) d\omega_\infty = \frac{1}{2} \int_{AB} \frac{\partial \omega^2}{\partial \omega_\infty} d\omega_\infty = \frac{1}{2} (\omega_B^2 - \omega_A^2). \quad (10)$$

В силу (8), (9), (10) для линии AB получим:

$$\frac{d\Gamma_{AB}}{dt} = \int_{AB} \frac{d\omega}{dt} ds + \frac{1}{2} \omega_B^2 - \frac{1}{2} \omega_A^2. \quad (11)$$

Аналогичное выражение получим для линии AF :

$$\frac{d\Gamma_{AF}}{dt} = \int_{AF} \frac{d\omega}{dt} ds + \frac{1}{2} \omega_F^2 - \frac{1}{2} \omega_A^2. \quad (12)$$

Для установившегося режима работы турбины относительная скорость ω по времени не меняется. В этом случае изменение циркуляции по времени будет зависеть от положения жидкой частицы на линии AB и AF , и уравнения (11) и (12) примут вид:

$$\frac{d\Gamma_{AB}}{dt} = \frac{1}{2} \omega_B^2 - \frac{1}{2} \omega_A^2; \quad (11)$$

$$\frac{d\Gamma_{AF}}{dt} = \frac{1}{2} w_F^2 - \frac{1}{2} w_A^2 \quad (12)$$

Подставляя выражения (11) и (12) в выражение характеризующее изменение Γ в функции от времени получим:

$$\frac{d\Gamma_{AA}}{dt} = \frac{1}{2} w_B^2 - \frac{1}{2} w_F^2.$$

Разница в промежутке времени прохождения двух частичек вдоль выпуклого и вогнутого контуров лопасти

$$\Delta t = \frac{2\Gamma_{AA}}{w_B^2 - w_F^2}.$$

Поэтому расстояние

$$f = w \Delta t = w \frac{2\Gamma_{AA}}{w_B^2 - w_F^2}, \quad (13)$$

где w — относительная скорость.

Подставляя (13) в (4) получим окончательно

$$v_b = \frac{1}{2} \left(w^2 \frac{2\Gamma_{AA}}{w_B^2 - w_F^2} + \frac{d\Gamma_{AA}}{dn_1} \right) \frac{dn_1}{dn_2}. \quad (14)$$

Это уравнение позволяет определить вторичную скорость, которую создает перемещающийся вихревой слой. Полученная формула показывает, что в создании вторичного потока значительную роль играют градиент циркуляции вдоль лопасти и отстаивание частичек жидкости, движущихся вдоль выпуклого и вогнутого контуров лопасти. Вследствие наличия градиента циркуляции вдоль размаха лопасти, даже при постоянной меридианальной скорости вдоль размаха, возникает вторичная скорость. Это обстоятельство требует более детального исследования переходов в месте соединения лопасти с ободом и втулкой.

НИИКС СНХ Армянской ССР

Поступило 15.I.1962

Յ Ո Վ Ա Ն Գ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

Շինարարական մեխանիկա

- Ա. Գ. Կազարով, Պինդ մարմինների մեխանիկական նմանություն և շինարարական կոնստրուկցիաների ու կոոռդինատների սեյսմակայունություն մեջ նրա կիրառման մասին (հաղորդում 7) 3
- Կ. Ս. Խուբերյան, Ստատիկորեն անորոշելի ֆերմայի լարումները նրա ամենաթեթև քաշին համապատասխանող հաստադրված ճեղքերի դեպքում (հաղորդում 1) 13

Ինժեներական սեյսմոլոգիա

- Բ. Կ. Կարսպեայան, Հ. Հ. Մարոյան, Գ. Ս. Թումանյով, Պայթեցումների ժամանակ АНС-2М սեյսմոմետրերի կիրառման փորձը 21

Քիմիական սեյսմոլոգիա

- Ա. Մ. Գոսպարյան, Ա. Հ. Զամինյան, Ն. Ս. Իկարյան, Պոլիդիոպերս սուսպենդիայի վերաբերյալ շարժման համասարտումների ստույգումը 29

Էներգետիկա

- Ա. Ե. Հակոբյան, Լեռնային շրջաններում ողորկության արսնական կայանների ծածկման ժամանակ ստորճանի որոշման մեթոդիկայի մասին 41

Գիտական հոբեր

- Յ. Ս. Ավետիսով, Երկրորդական հոսքը հիդրոտուրբինների կանախներում 51

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Строительная механика

- А. Г. Назаров.* О механическом подобии твердых тел и его применении к исследованию строительных конструкций и сейсмостойкости сооружений (сообщение 7) 3
- К. М. Хуберян.* Напряжения в статистически неопределимой ферме, отвечающие наименьшему ее весу при фиксированных усилиях (сообщение 1) 13

Инженерная сейсмология

- Б. К. Карапетян, Г. А. Мароян, Г. С. Туманов.* Опыт применения сейсмометров АИС-2М при взрывах 21

Химическая технология

- А. М. Гаспарян, А. А. Заминян и Н. С. Икарян.* Проверка уравнений вертикального движения полидисперсной суспензии 29

Энергетика

- С. Е. Акопян.* К методике определения степени защищенности метеостанций горных районов 41

Научные заметки

- С. С. Аветисов.* Вторичный поток в каналах гидротурбин 51



Сдано в производство 29/1 1963 г. Подписано к печати 28/II 1963 г.
ВФ 07051. Заказ 40. Изд. 2253. Тираж 600, объем 3,5 п. л.

Типография Издательства Академии наук Армянской ССР, Ереван, Барекамутян, 24.