

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ  
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ  
ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ  
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Издается с 1947 г.

**ԽՐԱԿՐԱԿԱՆ ԿՈՆՑԻՒՆ**

Պատան Կ. Վ. (պատ. խմբագիր), Աղոնց Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ), Ալեքսեևսկի Վ. Վ., Անանյան Ա. Կ., Գոսոյան Տ. Ա., Զաքոյան Մ. Ա., Լազարով Ա. Ի., Տեր-Ազատ Ի. Ա., Փինոսյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ)

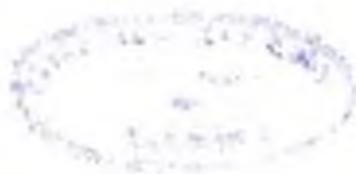
Պատասխանատու քարտուղար Ստեփանյան Ջ. Կ.

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Касьян М. В. (ответ. редактор), Адоиц Г. Т. (зам. ответ. редактора), Алексеевский В. В., Ананян А. К., Гороян Г. А., Задоян М. А., Назаров А. Г., Пиносован В. П. (зам. ответ. редактор), Тер-Азарян И. А.

Ответственный секретарь Степанян Ж. К.

Խմբագրութեան նստոցն՝ Երևան—19, Բարեկամութեան թ. 24 գ  
Адрес редакции: Ереван—19, ул. Барекамути, 24-г



## НА ПОРОГЕ ДЕСЯТОГО ПЯТИЛЕТНЕГО ПЛАНА РАЗВИТИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

Успешное завершение грандиозного плана развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг., предусмотренного решениями XXIV съезда КПСС, потребовало резко расширить научные исследования в области фундаментальных и прикладных наук, широко подчиняя их требованиям, вытекающим из принятых решений. Не отставала от общих темпов развития наука, культура и экономика нашей республики, создавая благоприятные условия перехода к следующему этапу развития, предусмотренному проектом ЦК к XXV съезду КПСС «Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы». Научно-исследовательские работы институтов Радиофизики и электроники, Физических исследований, Института механики, Бюраканской оптико-механической лаборатории АН АрмССР, отраслевых институтов, проблемных и отраслевых лабораторий и ведущих кафедр высших учебных заведений разрешили создать ряд новых образцов вычислительной техники, приборов и аппаратов, точных и высокоточных станков, станков с программным управлением, новых типов режущих инструментов и новых, более эффективных технологических процессов, обеспечивающих не только высокую производительность, но и более высокое и надежное качество, содействующее долговечной эксплуатации.

За указанный период вступили в строй действующих мощные ГРЭС и ГЭС, в стадии завершения находится первая в Республике атомная электростанция, оригинальный завод чистого железа для получения прецизионных сталей, завод конденсаторов, приборостроительные заводы и другие предприятия. Созданы промышленные и научно-производственные объединения, разработаны и успешно внедряются проекты перевооружения предприятий, завершены работы по реконструкции основных предприятий.

На тех предприятиях, условия организации которых разрешали с экономических позиций автоматизировать производственные процессы, успешно приступили к этому сложному процессу. Так, например, электротехнический завод в Ереване, приступивший к производству электродвигателей новой серии А4, оснастившись высокопроизводительными станочными автоматическими линиями, причем параллельно работают три самостоятельных линии: для обработки валов, для обработки роторов и для обработки статоров. Точно также, реконструкция Кироваканских заводов прецизионных станков и «Автоген-маш» разрешила резко поднять объем выпускаемой продукции при

заметном улучшении ее качества. На предприятиях проводится систематическая подготовка к присвоению знака качества выпускаемым или продукциям. Такая систематическая подготовка и переход на полностью стандартизованную продукцию с применением единой системы конструкторской документации послужили основанием к тому, чтобы быть подготовленным к выполнению задания партии об эффективной работе всех отраслей народного хозяйства с обеспечением высокого качества производимых изделий.

Вместе с тем перед научной общественностью нашей республики и инженерно-техническими работниками стоят весьма важные вопросы, требующие безотлагательного решения и быстрого последующего внедрения. К этим вопросам необходимо, прежде всего, отнести следующие:

Наша республика богата молибденовыми и железными рудами, а степень их использования сегодня не выдерживает никакой критики. Наступила пора разумного использования части молибденовой руды для извлечения рення, для получения дисилиида и дисульфита молибдена, для производства режущих материалов на базе карбидов молибдена и др.

Точно также, учитывая отличительные свойства железной руды Разданского месторождения, необходимо приступить к разработке промышленной технологии получения из этой руды высокочистого металлического порошка и на его базе развернуть порошковую металлургию для получения десятков видов машинных деталей и, что особенно важно, корпусов режущих инструментов, учитывая то положение, что корпуса таких инструментов при определенной пористости будут отличаться малыми значениями декремента колебаний.

В помощь машиностроению должны быть направлены усилия для получения из перлитов, коими столь богата наша республика, петроситаллов, отличающихся рядом весьма положительных качеств.

ЭНЕРГЕТИКА

Г. Т. АДОНЦ

ЗАДАЧА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ  
О СХЕМЕ ЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В процессе разработки нового метода расчета установившихся режимов сложных электроэнергетических систем, представляемых схемами в нескольких сот узлов, возникла задача преобразования информации по параметрам схемы. Изложению этой задачи посвящается настоящая статья.

Задача эта может быть решена и случае малого числа узлов по схеме замещения самой системы. В случаях большого числа узлов задачу целесообразно решать с помощью ЦВМ, пользуясь при этом теорией графов.

**Постановка задачи.** Задана схема замещения электрической системы, содержащая  $v$  ветвей,  $y$  узлов и  $c$  независимых контуров. Один из числа  $y$  узлов выделяется в качестве узла баланса мощностей системы. Каждая ветвь задается активной  $k_{mk}$  и реактивной  $b_{mk}$  проводимостями, где  $m, k$  — индексы узлов ветви. Существующие способы формирования матрицы проводимостей схемы с помощью ЦВМ позволяют получить таблицы диагональных элементов и элементов верхней треугольной матрицы. В данной постановке задачи в качестве исходной принимается информация об элементах верхней треугольной матрицы. Диагональные элементы матрицы не используются. Треугольная матрица, как правило, содержит одну или несколько строк, в которых только нулевые элементы. Требуется получить новую квадратную матрицу, элементами которой служат только элементы указанной исходной треугольной матрицы, такую, в которой не должно быть ни одного нулевого диагонального элемента. Число строк новой матрицы равно  $y-1$ , т. е. равно числу независимых узлов без угла баланса. Так как новая матрица формируется только из элементов исходной верхней треугольной матрицы, то диагональные ее элементы будут обозначены индексами  $m, k$ , где  $m+k$ ,  $m$  — индекс начального узла ветви,  $k$  — индекс конечного узла ветви.

О числе элементов исходной треугольной матрицы и искомой квадратной матрицы. Прежде, чем перейти к алгоритму решения сформулированной задачи, рассмотрим вопрос о числе элементов исходной матрицы и искомой квадратной матрицы.

Согласно теории электрических цепей между числом ветвей  $v$ ,

числом узлов  $y$  и числом независимых контуров  $c$  существует следующая связь:

$$v = y - 1 + c, \quad (1)$$

где 1 соответствует узлу баланса мощностей.

Исходная треугольная матрица, согласно (1), содержит  $v$  ненулевых элементов. Искомая квадратная матрица должна содержать  $y-1$  диагональных элементов, которые принимаются в качестве независимых ветвей (переменных).

Остальные ветви (числом  $c$ ) исходной треугольной матрицы принимаются в качестве зависимых ветвей. Это означает, что для обеспечения эквивалентности преобразований исходной треугольной матрицы в искомую квадратную необходимо выразить  $c$  зависимых ветвей через  $y-1$  независимых ветви. Этими выражениями будут служить  $c$  уравнения контуров, каждое из которых будет содержать только одну зависимую ветвь.

**Пример**, иллюстрирующий постановку задачи.

Заданная схема замещения системы (рис. 1) содержит: ветвей  $v=51$ , узлов  $y=46$  и независимых контуров  $c=6$ . Узел 46 условно прини-

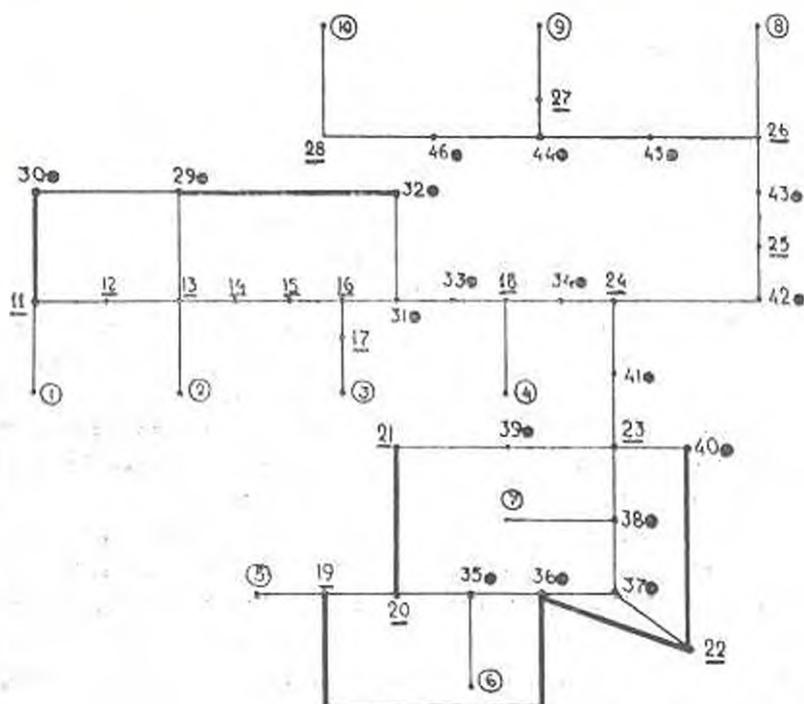


Рис. 1. Схема замещения системы. Обозначения узлов: □ — генераторные; — нагрузка; ● — сетевые. Независимые ветви: 11—30; 29—32; 19—6; 20—21; 22—36; 22—40

мается в качестве балансирующего. Фактически балансирующим служит узел 10. Верхняя треугольная матрица проводимостей этой схемы, составленная согласно методу узловых напряжений, содержит 51 нену-

левых элементов со следующими индексами  $m, k$ :  $m=1$  ( $k=11$ ), 2(13), 3(17), 4(18), 5(19), 6(35), 7(38), 8(26), 9(27), 10(28), 11(12,30), 12(13), 13(14; 29), 14(15), 15(16), 16(17; 31), 18(33; 34), 19(20; 36), 20(21; 35), 21(39), 22(36; 37; 40), 23(38; 39; 40; 41), 24(34; 41; 42), 25(42; 43), 26(43; 45), 27(44), 28(46), 29(30; 32), 31(32; 33), 35(36), 36(37), 37(38), 44(45; 46). Из этих данных видно, что строки 17; 30; 32; 33; 34; 38—43; 45 и 46 не содержат ненулевых элементов.

Требуется получить квадратную матрицу с элементами, взятыми из перечня ветвей исходной схемы, в которой число строк равно 45. Все диагональные элементы этой матрицы должны быть ненулевыми. Аналитическая форма сформулированной задачи представляется так. Из числа 51 ветви должны быть выбраны в качестве независимых 45. Остальные 6 ветвей принимаются в качестве зависимых, т. е. выражаются через независимые ветви. Каждая независимая ветвь представляется одной из строк искомой матрицы проводимостей ветвей. Число ненулевых элементов искомой матрицы равно числу независимых ветвей, равному  $y-1$ , плюс число ветвей, входящих в  $s$  уравнения контуров.

Алгоритм решения может быть сформулирован на основе схемы замещения (по рис. 1) или аналитически на основе данных верхней треугольной матрицы проводимостей, получаемой по методу узловых напряжений. Ниже излагается алгоритм решения на основе схемы замещения. Выбираются шесть зависимых ветвей (по одной из каждого контура). Зависимые ветви, согласно теории контурных уравнений, не должны быть смежными для двух и более контуров.

По схеме замещения (рис. 1) выбираются в качестве зависимых шесть ветвей, которые выражаются через независимые ветви. Эти зависимости удобно выражать через следующие условные записи:

$$11.30 = 11.12 + 12.13 + 13.29 + 29.30 \quad (2)$$

$$10.36 = 10.20 + 20.35 + 35.36 \quad (3)$$

$$20.21 = 20.35 + 35.36 + 36.37 + 37.38 + 38.23 + 23.39 + 39.21 \quad (4)$$

$$22.40 = 22.37 + 37.38 + 38.23 + 23.40 \quad (5)$$

$$22.36 = 22.37 + 37.36 \quad (6)$$

$$29.32 = 29.13 + 13.14 + 14.15 + 15.16 + 16.31 + 31.32 \quad (7)$$

Первые индексы ( $m$ ) соответствуют началу ветви, вторые ( $k$ ) — концу. Заметим, что для разрабатываемого метода расчета установившихся режимов принимается условие

$$m \cdot k = -k \cdot m, \quad (8)$$

Остальные 45 ветвей из числа 51, параметры которых являются элементами исходной треугольной матрицы, принимаются в качестве независимых ветвей переменных для данной задачи. Эти переменные служат диагональными элементами искомой квадратной матрицы. Первый индекс независимых ветвей соответствует номеру строки искомой матри-

цы. Ниже дается перечень независимых ветвей, т. е. элементов главной диагонали искомой матрицы.

$m = 1$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$k = 11$	13	17	18	19	35	38	26	27	28	12	13	14	15	16
$m = 16$	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$k = 31$	16	34	20	35	39	37	41	42	43	45	44	46	13	29
$m = 31$	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
$k = 33$	31	18	24	36	37	38	23	23	23	24	25	26	46	44

Элементы (а) главной диагонали искомой матрицы, используемой в разрабатываемом методе расчета установившихся режимов, определяются согласно данным выше приведенной таблицы по формуле:

$$\mathcal{E}_{mk} = -U_m U_k b_{mk} \sin(\varphi_m - \varphi_k), \quad (9)$$

где  $m$ —индекс строки матрицы;  $m, k$ —индексы узлов схемы;  $U, \varphi$ —модули и аргументы комплексных напряжений узлов.

Остальные элементы (кроме указанных диагональных) искомой матрицы определяются путем замены ветвей с индексами: 11; 30; 19; 36; 20; 21; 22; 40; 22; 36; 29; 32 выражениями ветвей с индексами, определяемыми выражениями (2) — (7).

В результате получаются дополнительные элементы (кроме указанных выше элементов главной диагонали) следующей структуры:

$$\mathcal{E}_{ms} = -U_m \sum_s U_s b_{ms} \sin(\varphi_m - \varphi_s), \quad (10)$$

где  $m$ —индекс строки матрицы;  $s$ —индекс ее столбца;  $U, \varphi$ —модули и аргументы комплексных напряжений.

Значения индексов  $s$ , для строк  $m = 11 + 16$ , показаны ниже в табличной форме.

$m = 11$	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$s = 1, 30$	11	12, 29, 2	13	14	15; 17	3	4, 33	36, 5	19, 21	20	40, 36
$m = 23$	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
$s = 38, 40, 39$	34, 41	42	6; 43	9	10	30, 32	11	16; 32	29	31	18
$m = 35$	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	—
$s = 20; 6$	35; 19	36; 22	37; 7	21	22	23	24	25	45; 27	26	—

В выражении (10):

$$\dot{U}_{11} - \dot{U}_{30} = (\dot{U}_{11} - \dot{U}_{12}) + (\dot{U}_{12} - \dot{U}_{13}) + (\dot{U}_{13} - \dot{U}_{14}) + (\dot{U}_{14} - \dot{U}_{15}) + (\dot{U}_{15} - \dot{U}_{16}) + (\dot{U}_{16} - \dot{U}_{17}) + (\dot{U}_{17} - \dot{U}_{18}) + (\dot{U}_{18} - \dot{U}_{19}) + (\dot{U}_{19} - \dot{U}_{20}) + (\dot{U}_{20} - \dot{U}_{21}) + (\dot{U}_{21} - \dot{U}_{22});$$

$$\dot{U}_{12} - \dot{U}_{31} = (\dot{U}_{12} - \dot{U}_{20}) + (\dot{U}_{20} - \dot{U}_{35}) + (\dot{U}_{35} - \dot{U}_{26});$$

$$\dot{U}_{30} - \dot{U}_{21} = (\dot{U}_{30} - \dot{U}_{35}) + (\dot{U}_{35} - \dot{U}_{36}) + (\dot{U}_{36} - \dot{U}_{37}) + (\dot{U}_{37} - \dot{U}_{38}) + (\dot{U}_{38} - \dot{U}_{39}) + (\dot{U}_{39} - \dot{U}_{40}) + (\dot{U}_{40} - \dot{U}_{41}) + (\dot{U}_{41} - \dot{U}_{42}) + (\dot{U}_{42} - \dot{U}_{43}) + (\dot{U}_{43} - \dot{U}_{44}) + (\dot{U}_{44} - \dot{U}_{45});$$

$$U_{22} - U_{40} = (U_{22} - U_{37}) + (U_{37} - U_{38}) + (U_{38} - U_{23}) + (U_{23} - U_{16});$$

$$U_{22} - U_{36} = (U_{22} - U_{21}) + (U_{21} - U_{36});$$

$$U_{20} - U_{32} = (U_{20} - U_{13}) + (U_{13} - U_{14}) + (U_{14} - U_{15}) + (U_{15} - U_{16}) + \\ + (U_{16} - U_{31}) + (U_{31} - U_{32}).$$

Здесь в скобках указаны разности напряжений на концах ветви, принимаемые в качестве независимых величин.

Аналитическое решение сформулированной задачи при условии использования только данных исходной треугольной матрицы коэффициентов уравнений узловых напряжений может быть реализовано на ЦВМ путем соответствующего программирования.

### Выводы

1. Сформулированная задача—преобразование информации, содержащейся в верхней треугольной матрице коэффициентов уравнений узловых напряжений электрической системы, в информацию, представляемую квадратной матрицей параметров уравнений независимых ветвей,—необходима для разработки нового метода расчета установившихся режимов электроэнергетической системы.

2. Предлагаемый алгоритм решения этой задачи основан на принципе использования схемы замещения и контурных уравнений электрической цепи.

3. Алгоритм решения иллюстрируется примером для схемы замещения, представляемой 51 ветвью, 46 узлами и 6 контурами.

АрмИИИЭ

Получено 26 XI 1975

Հ. Տ. ԱՊՈՆՅ

## ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԶԱՄԱՆԱԿՐԳԻ ՓՈՒՆԱՐԻՆՄԱԿ ՈՒՆԻՈՒՄՆԵՐ ՎԵՐԱԳՆԵՐՅԱԿ ԻՆՖՈՐՄԱՑԻՈՆՆԵՐ ՎԵՐԱՓՈՒՄՄԱՆ ԿԱԳԻՐԸ

### Ա մ փ ո ս փ ո ս մ

Մի րանի հարչուր հանգուցանոց սխեմաներով ներկայացված բարդ էլեկտրաէներգահամակարգերի կայուն ուժիմների հաշվարկի նոր մեթոդ մշակելիս առաջացավ սխեմայի պարամետրների վերարեբայա ինֆորմացիայի վերափոխման խնդիրը:

Ձեակերպված խնդիրը՝ էլեկտրական համակարգի հանգուցային լարումների հավասարումների գործադիրքների վերին եռանկյուն մատրիցայում պարունակված ինֆորմացիայի վերափոխումը ինֆորմացիայի, որը ներկայացվում է հավասարումների պարամետրների քառակուսային մատրիցայի տեսքով, անհրաժեշտ է էլեկտրաէներգետիկ համակարգի կայուն ուժիմների լուծման նոր մեթոդի մշակման համար: Այս խնդրի լուծման համար առաջարկվող ալգորիթմը հիմնված է էլեկտրական շղթայի կոնտուրային հավասարումների և փոխարինման սխեմայի օդատործման սկզբունքի վրա:

Լուծման ալգորիթմը ցուցադրվում է 51 ճյուղերով, 16 հարուցաներով և 6 կոնտուրներով ներկայացված փոխարինման սխեմայի օրինակի վրա:

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Н. В. ОЛЕЙНИК, В. В. БЕЗЕР,  
 М. Г. СТАКЯН, С. А. ГАСПАРЯН

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ВЫНОСЛИВОСТИ  
 ТЕРМООБРАБОТАННЫХ СТАЛЕЙ

Применение конструкционных сталей в состоянии умеренной и высокой твердости, получаемой при надлежащей термической обработке, может дать определенный экономический эффект. Однако широкому внедрению в практику конструирования термообработанных сталей препятствует недостаточная изученность их сопротивления действию циклических нагрузок, особенно при нестационарных режимах изменения последних. Дальнейшее изучение циклической прочности сталей представляет актуальную задачу—в частности, для инженерных расчетов существенное значение приобретает установление степени повышения выносливости и циклической долговечности в зависимости от режима термообработки сталей, а также соотношений между характеристиками выносливости и показателем твердости.

Рассматриваются результаты циклических испытаний стальных термообработанных образцов при чистом изгибе с вращением [1—3]. Режимы нагружения—стационарный и программный с одноступенчатым изменением напряжений в блоке и параметрами блока  $\beta = \frac{n_{\text{в}}}{n_{\text{д}}} = 1$ ,  $n_{\text{д}} = 10000$  циклов,  $\gamma = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 0,8$ .

Материалы и конструктивные формы образцов таковы:

а) из стали 45 ( $\sigma_{\text{в}} = 590 \text{ МПа}$ ) —гладкие (Гл) и с концентраторами напряжений (К)  $d = 10; 25 \text{ мм}$  и рабочей частью, подвергнутые отжигу (О), нормализации (Н), улучшению (У) и закалке (З) с твердостью, соответственно, равной HRC = 16,6; 20; 27; 45.

б) из стали 40X ( $\sigma_{\text{в}} = 645 \text{ МПа}$ ) —гладкие (Гл) и с концентраторами напряжений (К)  $d = 25 \text{ мм}$ , подвергнутые отжигу (О) и закалке (З) с HRC = 20; 50.

Для образцов  $d = 10 \text{ мм}$  применялись V-образные кольцевые выточки с углом раскрытия  $\alpha = 45^\circ$  и  $\frac{D}{d} = 1,7$ ,  $\frac{r}{d} = 0,05$ ,  $\alpha = 2,54$ ,

а для образцов  $d = 25 \text{ мм}$  —технологические выточки типа «выход шлифовального камня» шириной  $b = 3 \text{ мм}$  и  $\frac{D}{d} = 1,04$ ,  $\frac{r}{d} = 0,012$ ,

$\varepsilon_c = 1, 85$ . Надрезы наносились после термической обработки. База испытаний составляла  $5 \cdot 10^6$  циклов. Пределы выносливости закаленных образцов (с надрезами и гладких) вычислялись по средневероятностным кривым выносливости, соответственно, при  $N_0 = 5 \cdot 10^5$  и  $10^6$ .

Результаты испытаний обработаны согласно [4], где уравнение семейства кривых выносливости записывается так:

$$\lg N_i = -(\bar{m} + uS_m)(\lg \varepsilon_i - \lg \sigma) + (\lg N_0 - uS_{N_0}), \quad (1)$$

$$\text{или } \lg N_i = C - m \lg \varepsilon_i. \quad (1a)$$

При вероятности неразрушения  $I(N) = 50\%$  выражение (1) принимает вид

$$\lg N_i = -\bar{m}(\lg \varepsilon_i - \lg \sigma) + \lg N_0, \quad (2)$$

$$\text{или } \lg N_i = \bar{C} - \bar{m} \lg \varepsilon_i. \quad (2a)$$

В (1a) и (2a)

$$C = [\bar{C} + u(S_{N_0} + S_m \lg \sigma)]; \quad \bar{C} = \bar{m} \lg \sigma + \lg N_0; \quad m = \bar{m} + uS_m.$$

Чтобы описать процесс усталости в вероятностном аспекте необходимо знать величины  $\varepsilon_{-1}$ ,  $C$  и  $m$ . Для этого необходимо располагать данными и законом изменения следующего минимального количества параметров: средневероятностных значений  $\varepsilon_{-1}$ ,  $C$ ,  $\bar{m}$ , а также показателей рассеяния циклических долговечностей  $S_m$  и  $S_{N_0}$  в зависимости от действия того или иного фактора.

Известно, что длительные пределы выносливости среднеуглеродистых сталей в интервале твердости HRC = 10 ÷ 60 меняются почти пропорционально [5]. Менее освещен вопрос о влиянии размеров, конструктивных форм и режимов нагружения на  $\varepsilon_{-1}$ , а также на  $\bar{C}$ ,  $\bar{m}$ ,  $S_m$ ,  $S_{N_0}$ , характеризующие поведение сталей в области ограниченной выносливости.

На рисунках 1 и 2 представлено изменение этих характеристик.

Как видно, с увеличением твердости HRC, они претерпевают существенное изменение. Основным фактором, влияющим на них, является концентрация напряжений (графики, относящиеся к надрезанным образцам, для наглядности показаны жирными линиями). В рассмотренном интервале HRC рост и относительное приращение характеристик у гладких образцов значительно выше, чем у надрезанных (для надрезанных образцов графики расположены ниже и плотнее). Это показывает, что концентрация напряжений в немалой степени подавляет действие масштабного эффекта.

Снижение характеристик выносливости от действия масштабного эффекта для гладких образцов более заметно при высоких значениях HRC. Это объясняется различной степенью реализации режимов термообработки в разных объемах металла при HRC = 40 ÷ 50, что приводит

к изменению структурного состояния срединных слоев. Для надрезанных образцов собственно влияние масштабного эффекта незначительно.

С увеличением твердости программное нагружение вызывает некоторое повышение выносливости. Оно оказывает заметное влияние на параметры кривой выносливости и показатели рассеяния долговечности.

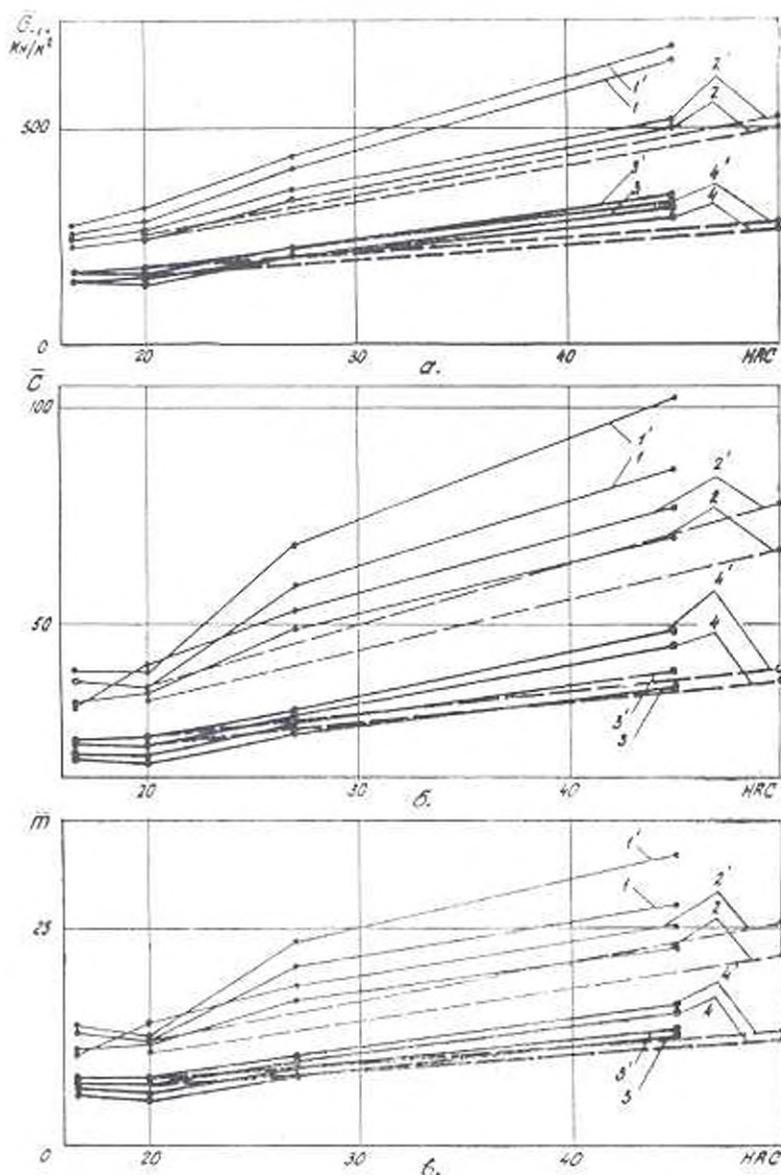


Рис. 1. Изменение характеристик 50%-ной кривой выносливости в зависимости от твердости.

а)  $\bar{\sigma}_{0.5} = f_1(\text{HRC})$ ; б)  $\bar{C} = f_2(\text{HRC})$ ; в)  $\bar{m} = f_3(\text{HRC})$ ;

1 —  $\rightarrow 10\Gamma$ ; 2 —  $\rightarrow 25\Gamma$ ; 3 —  $\rightarrow 10\text{K}$ ; 4 —  $\rightarrow 25\text{K}$ .

Пунктирные линии относятся к образцам на стали 40X, а цифры со штрихом — к программному нагружению.

стей, что связано с различной интенсивностью протекания процессов суммирования повреждений при стационарном и программном нагружении. При умеренной твердости и наличии надрезов наблюдается инвариантность к действию режима нагружения.

Сравнительные испытания образцов из сталей 45 и 40X показывают, что варьирование материалом не приводит к существенному изменению характера и величин рассматриваемых параметров. Лишь при наличии надрезов заметно некоторое снижение их значений для стали 40X, что, по-видимому, вызвано случайными причинами.

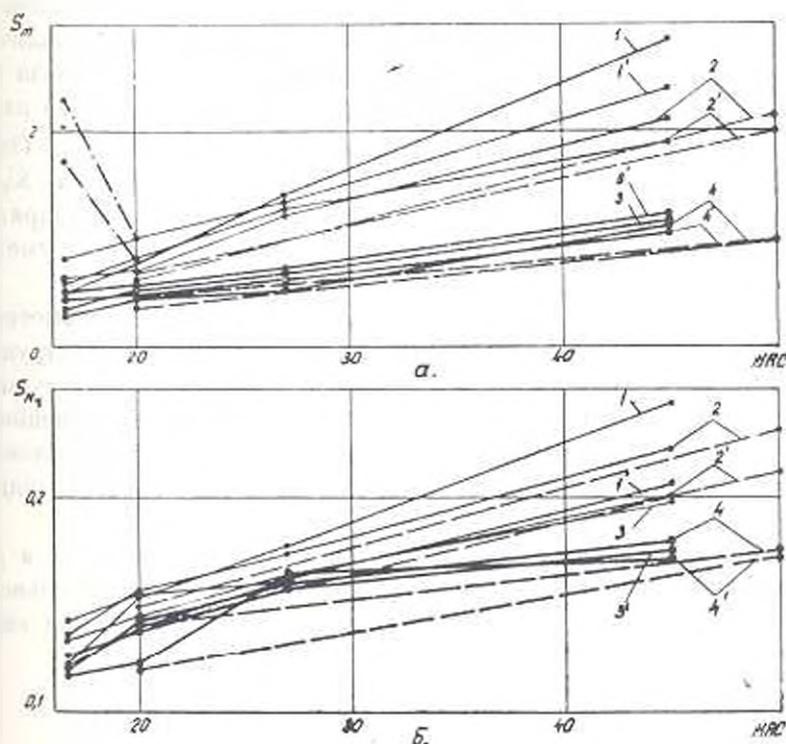


Рис. 2. Изменение показателей рассеяния долговечностей в зависимости от твердости  
 а)  $S_m = f_4(\text{HRC})$ ; б)  $S_{N1} = f_5(\text{HRC})$ .  
 (Условные обозначения те же, что и на рис. 1)

По мере перехода от равновесных структур к неравновесным пределы выносливости непрерывно возрастают. По сравнению с отожженными образцами относительный рост  $\bar{\sigma}_{-1}$  при закалке составляет  $\frac{\bar{\sigma}_{-15}}{\bar{\sigma}_{-10}} = 2,1 \div 2,5$  для гладких и  $\frac{\bar{\sigma}_{-15}}{\bar{\sigma}_{-10}} = 1,9 \div 2,2$  для надрезанных образцов. Для образцов из стали 40X значения  $\bar{\sigma}_{-1}$  несколько ниже и, соответственно, равны 2,0 и 1,6.

Параметры  $S$  и  $\bar{m}$ , как видно из формул (1)–(2а), взаимосвязаны, что и предопределяет идентичность их изменения в зависимости

от HRC. При высоких твердостях их значения намного больше тех, которые обычно рекомендуется в расчетах, и указывают на высокую чувствительность закаленных сталей к перегрузкам. Как и для  $\bar{\sigma}_{-1}$ , относительный рост  $\bar{C}$  и  $\bar{m}$  равен примерно  $\delta\bar{C}, \delta\bar{m} = 1,9 \div 2,5$  (меньшие значения соответствуют надрезанным образцам). Программное нагружение способствует дополнительному увеличению их значений, так как в связи с эффектом тренировки при низких перенапряжениях поле рассеяния долговечностей смещается в область больших  $\lg N$ .

При высоких твердостях, помимо роста показателей наклона кривых выносливости, происходит расширение полей рассеяния циклических долговечностей, особенно при низких перенапряжениях, в связи с чем наблюдается рост среднеквадратичного отклонения показателя наклона  $S_m$  и меры индивидуального рассеяния долговечностей  $S_{N_f}$ . Относительный рост  $S_m$  колеблется в пределах  $\delta S_m = 2,5 \div 3,5$ , а  $S_{N_f}$  — в пределах  $\delta S_{N_f} = 1,3 \div 1,7$ . Под действием концентрации напряжений и программного нагружения значения  $S_m$  и  $S_{N_f}$  несколько уменьшаются.

Несмотря на различия в изменениях каждой из рассмотренных характеристик выносливости, с переходом от равновесных структур к неравновесным изменения эти могут быть подчинены линейному закону. Только для двух из 60 кривых наблюдается нарушение линейности в узком интервале значений HRC (см. штрих-пунктирные линии на рис. 2,а), что можно приписать нехарактерному разбросу результатов опытов.

Для обобщения результатов опытов и использования их в расчетах целесообразно относительный рост характеристик выносливости в зависимости от твердости представить в виде корреляционных связей:

$$Y_i = \bar{Y} + r \frac{S_y}{S_x} (X_i - \bar{X}) \quad (3)$$

или

$$Y_i = aX_i + b, \quad (3a)$$

где

$$X_i = \text{HRC}; \quad Y_i = \delta\bar{\sigma}_{-1}, \delta\bar{C}, \delta\bar{m}, \delta S_m, \delta S_{N_f}.$$

Вычисленные на ЭВМ параметры уравнения (3а) представлены в табл. 1.

Отклонения расчетных величин  $\delta\bar{\sigma}_{-1}, \delta\bar{C}, \delta\bar{m}, \delta S_m, \delta S_{N_f}$ , подсчитанных по (3а), от их фактических значений в большинстве случаев не превышают нескольких процентов. Только при HRC = 20 ÷ 30 для  $\delta\bar{C}, \delta\bar{m}$  и  $\delta S_m$  они иногда достигают 10 ÷ 12%.

Параметр  $a$  характеризует интенсивность изменения каждой из рассматриваемых величин; более интенсивно меняются значения  $\delta S_m$ ,

Таблица 1

Мп. п	Режим	Конструкция	Материал	Термообработка	$\bar{\sigma}_{-1} = f_1(\text{HRC})$			$\bar{\sigma}_C = f_2(\text{HRC})$			$\bar{\sigma}_m = f_3(\text{HRC})$			$\%S_m = f_4(\text{HRC})$			$\%S_{Nr} = f_5(\text{HRC})$		
					$a_1$	$b_1$	$r$	$a_2$	$b_2$	$r$	$a_3$	$b_3$	$r$	$a_4$	$b_4$	$r$	$a_5$	$b_5$	$r$
1-5	Стационарный	⊙10Гл	Сталь 45	0, Н, У, З	0,0559	0,0493	0,9987	0,0488	0,1367	0,9805	0,0430	0,2367	0,9686	0,1557	-1,5961	0,9999	0,0315	0,5442	0,9909
		⊙25Гл	—	—	0,0439	0,2583	0,9975	0,0425	0,3028	0,9913	0,0395	0,3734	0,9841	0,0807	-0,3435	0,9962	0,0208	0,6895	0,9942
		—	Сталь 40X	0,3	0,0345	0,3107	—	0,0353	0,2945	—	0,0330	0,3400	—	0,0792	-0,5837	—	0,0183	0,6344	—
		⊙10К	Сталь 45	0, Н, У, З	0,0429	0,2531	0,9983	0,0339	0,3677	0,9855	0,0369	0,3159	0,9751	0,0689	-0,0583	0,9938	0,0162	0,7485	0,9968
		⊙25К	—	—	0,0376	0,3367	0,9903	0,0383	0,2883	0,9918	0,0394	0,2671	0,9913	0,0834	-0,4192	0,9899	0,0153	0,7874	0,9360
6	—	—	Сталь 40X	0,3	0,0208	0,5833	—	0,0234	0,5326	—	0,0247	0,5055	—	0,0491	0,0173	—	0,0085	0,8300	—
6-12	Программный	⊙10Гл	Сталь 45	0, Н, У, З	0,0532	0,1120	0,9992	0,0596	-0,0301	0,9835	0,0541	0,0690	0,9746	0,0666	-0,1356	0,9992	0,0147	0,7537	0,9922
		⊙25Гл	—	—	0,0401	0,3281	0,9961	0,0484	0,2912	0,9904	0,0461	0,3649	0,9812	0,0737	-0,0959	0,9856	0,0210	0,6975	0,9875
		—	Сталь 40X	0,3	0,0347	0,3060	—	0,0394	0,2115	—	0,0374	0,2530	—	0,0405	0,1893	—	0,0182	0,6355	—
		⊙10К	Сталь 45	0, Н, У, З	0,0395	0,3067	0,9981	0,0365	0,3346	0,9889	0,0399	0,2817	0,9810	0,0521	0,0763	0,9967	0,0127	0,8276	0,9812
		⊙25К	—	—	0,0367	0,3530	0,9961	0,0408	0,2659	0,9956	0,0433	0,2294	0,9970	0,0555	0,0102	0,9967	0,0160	0,7861	0,8592
12	—	—	Сталь 40X	0,3	0,0193	0,6140	—	0,0224	0,5521	—	0,0239	0,5227	—	0,0659	-0,3187	—	0,0146	0,7083	—

менее —  $\delta S_{N_r}$ . Можно выделить следующие усредненные интервалы параметра  $a$ :  $0,01 \div 0,02$  — для  $\delta S_{N_r}$ ;  $0,02 \div 0,06$  — для  $\bar{\sigma}_{z-1}$ ,  $\delta C$ ,  $\delta \bar{m}$  и  $0,05 \div 0,08$  — для  $\delta S_m$ . Меньшие интервальные значения  $a$  соответствуют надрезанным образцам, изготовленным из стали 40X. С увеличением диаметра образцов значения  $a$  несколько снижаются.

Параметр  $b$  является начальной ординатой линии (3а). Из табл. 1 видно, что большим значениям параметра  $b$  всегда соответствуют меньшие значения параметра  $a$ , причем большие интервальные значения  $b$  характерны для надрезанных образцов, изготовленных из стали 40X. Интервальные значения  $b$ :  $0,90 \div 0,10$  — для  $\delta S_m$ ;  $0,10 \div 0,55$  — для  $\bar{\sigma}_{z-1}$ ,  $\delta C$ ,  $\delta \bar{m}$  и  $0,60 \div 0,80$  — для  $\delta S_{N_r}$ .

Наличие параметров  $a$  и  $b$  или их усредненных интервальных значений для каждого отдельного случая позволяет определять характеристики выносливости по ограниченному объему испытаний — только одной серии образцов (например, отожженных). Приведенные данные, по-видимому, могут быть распространены и на другие среднеуглеродистые конструкционные стали, близкие к сталям 45 и 40X.

Для получения достоверных результатов при вновь проводимых испытаниях исходной серии образцов необходимо обеспечить, чтобы линия регрессии (3а) проходила через начальную точку с координатами ( $HRC_0$ ; 1), где  $HRC_0$  — твердость отожженных образцов. При этом неизбежны отклонения характеристик выносливости исходных образцов и прежде всего  $HRC_0$ , от представленных в таблице. Если колебания  $HRC_0$  незначительны, ими можно пренебречь, так как наклоны линий (3а) меняются в пределах  $0,25 \div 4,50^\circ$ . При больших расхождениях  $HRC_0$ , принимая  $a \approx \text{const}$ , параметр  $b$  можно скорректировать:

$$b' = 1 - \frac{HRC_0'}{HRC_0} (1 - b), \quad (4)$$

где  $HRC_0'$  — твердость вновь испытанных отожженных образцов.

Предложенная методика позволяет с достаточной для расчетной практики точностью определять характеристики выносливости деталей машины в зависимости от их размеров, конструктивных форм и вида термической обработки по минимальному объему испытаний лабораторных образцов.

Поступило 17.IV.1975.

Կ. Վ. ՕԼԵՅՆԻԿ, Վ. Վ. ՌԵՉԵՐ, Մ. Կ. ՍՏԱՎՅԱՆ, Ա. Զ. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ

ԶԵՐԻՄԱՆԻՄԱՆ ԳՈՎԱՍՏՆԵՐԻ ԳԵՐԱՅԱՌԵՆՈՒԹՅԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳԵՐԵՐԻ  
ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Ա. Վ. ՕԼԵՅՆԻԿ

Ցույց է տրված, որ  $\bar{\sigma}_{z-1}$ -ի հետ մեկտեղ շերտաձևով արդարապես  
կարելի է որոշել հոսքի սահմանը կոորդինատներով  $HRC_0$  ամրա-

Քրոմից, փոխվում են ուղղաձուռեն: Այդ դեպքում նրանց և HRC-ի մեջ նկատվում է կոռուպցիոն կտրի բավական բարձր խտաթյուն:

Հարարերական կոորդինատներում հաշվարկված են կոռուպցիոն շափա- սարումների պարամետրները. որոնք թույլ են տալիս ելման՝ սերիալի փորձանմուշների փորձարկման արդյունքներով որոշել  $\sigma_{-1}$ ,  $\bar{C}$ ,  $\bar{m}$ ,  $S_m$  և  $S_N$  մեծությունները՝ կախված կոնստրուկտիվ ձևերից և չափերից, սովորած HRC-ի դեպքում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Олейник Н. В., Базер В. В. Выносливость термически обработанных сталей. Сб. «Детали машин и подъемно-транспортные машины», вып. 9, изд. «Техника», Киев, 1969.
2. Олейник Н. В., Базер В. В. Сопротивление термически обработанных сталей перегрузкам. Сб. «Детали машин и подъемно-транспортные машины», вып. 9, изд. «Техника», Киев, 1969.
3. Олейник Н. В., Базер В. В. Суммирование усталостных повреждений в закаленной стали. Сб. «Детали машин», вып. 16, изд. «Техника», Киев, 1973.
4. Шашич М. Я. Об оценке рассеяния значений циклической прочности. «Вестник машиностроения», № 2, 1965.
5. Серенсен С. В., Косаев В. П., Шнейдерман Г. М. Несоюзная способность и расчеты деталей машин на прочность. М., Машгиз, 1963.



ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

А. С. ШАХКАМЯН, А. О. ГАСПАРЯН, С. С. ШАХКАМЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВХОДНОЙ ЦЕПИ  
 ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

При высокоточном измерении температуры с термометром сопротивления (ТС) применяется, в основном, четырехпроводная схема включения ТС. При этом через ТС пропускается стабильный постоянный ток  $I_0$  и измеряется падение напряжения на нем  $U_0$ .

В процессе эксплуатации изменяются как сопротивление ТС  $R_{ТС}$ , так и сопротивление соединительной линии  $R_1$  и входное сопротивление предварительного усилителя  $R_{вх}$ . Изменение этих параметров может вызвать значительные дополнительные погрешности, поэтому представляет интерес определение пределов изменения этих сопротивлений в зависимости от допустимого значения дополнительной погрешности.

В статье анализируется входная цепь измерительного преобразователя, в котором в качестве предварительного усилителя применяется интегральный операционный усилитель (ОУ). Функциональная схема измерительной цепи приведена на рис. 1, где приняты следующие обозначения:

П1 — преобразователь сопротивления ТС в напряжение с коэффициентом преобразования  $K_1$ ;

П2 — преобразователь, представляющий собой канал связи с коэффициентом преобразования  $K_2$ ;

П3 — усилитель постоянного тока (УПТ) с коэффициентом преобразования  $K_3$ .

Коэффициент преобразования измерительной цепи определяется выражением [1]:

$$K = K_1 K_2 K_3. \quad (1)$$

Для определения изменения коэффициента преобразования  $K$  от различных факторов необходимо определить изменения  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  от этих факторов. Основными факторами являются изменения сопротивления  $R_{ТС}$ , сопротивления соединительной линии  $R_1$ , входного сопротивления УПТ  $R_{вх}$ , температуры окружающей среды, напряжения питания.

При определении результирующей погрешности измерительной цепи погрешности отдельных преобразователей принимаются случайными. Погрешности, вызванные от воздействия одного фактора, рассмат-

риваются как коррелированные. Тогда погрешность преобразователя от  $j$ -го фактора определится по формуле:

$$\gamma_j = \sum_{i=1}^n \gamma_{ij} \quad (2)$$

где  $\gamma_{ij}$  — погрешность  $i$ -го преобразователя от воздействия  $j$ -го фактора.

Результирующая погрешность измерительной цепи при воздействии всех  $j$  факторов определится по формуле:

$$\gamma_0 = \sqrt{\sum_{j=1}^m \gamma_j^2} \quad (3)$$

Падение напряжения на ТС при конечном значении входного сопротивления УПТ будет:

$$U_0 = \frac{R_{\text{вх}} + R_s}{R_{\text{вх}} + R_s + R_{\text{ТС}}} R_{\text{ТС}} I_0 \quad (4)$$

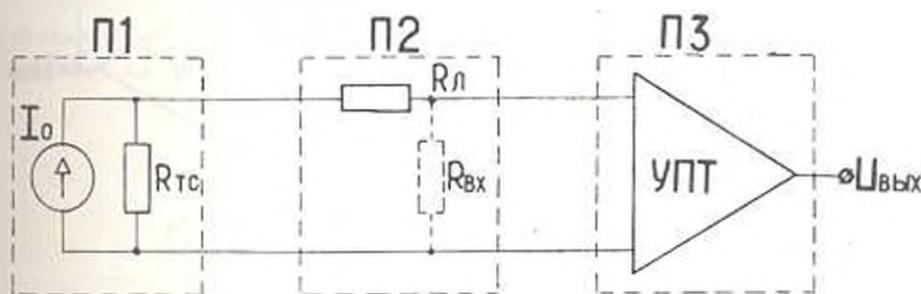


Рис. 1

Принимая в качестве входного сигнала П1 изменение сопротивления ТС, для коэффициента преобразования П1 получим:

$$K_1 = \frac{\Delta U_0}{\Delta R_{\text{ТС}}} = \frac{R_{\text{вх}} + R_s}{R_{\text{вх}} + R_s + R_{\text{ТС}}} I_0 \quad (5)$$

Коэффициент преобразования преобразователя П2 определяется выражением:

$$K_2 = \frac{R_{\text{вх}}}{R_{\text{вх}} + R_s} \quad (6)$$

Применяемый в УПТ ОУ может быть включен по двум схемам (рис. 2). Коэффициент преобразования УПТ схемы рис. 2,а определяется выражением [2]:

$$K_3 = -\frac{R_2}{R_3} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{K_0} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_0} \right)} \quad (7)$$

где  $K_0$  — коэффициент усиления ОУ;  $R_0$  — входное сопротивление ОУ.

В значение  $K_3$  будут входить также сопротивления ТС и линии, поэтому их изменение в процессе измерения будет вносить большие погрешности. Кроме того, данная схема имеет малое входное сопротивление. Следовательно, построение УИТ по схеме рис. 2,а нецелесообразно.

Коэффициент преобразования УИТ по схеме рис. 2,б и входное сопротивление определяются выражениями [3]:

$$K_3 = \frac{R_3 + R_1}{R_3} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{K_0} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_0} \right)} \quad (8)$$

$$R_{вх} = \frac{K_0}{K_3} R_0^1 \quad (9)$$

где  $R_0 = R_0 + R_3$ .

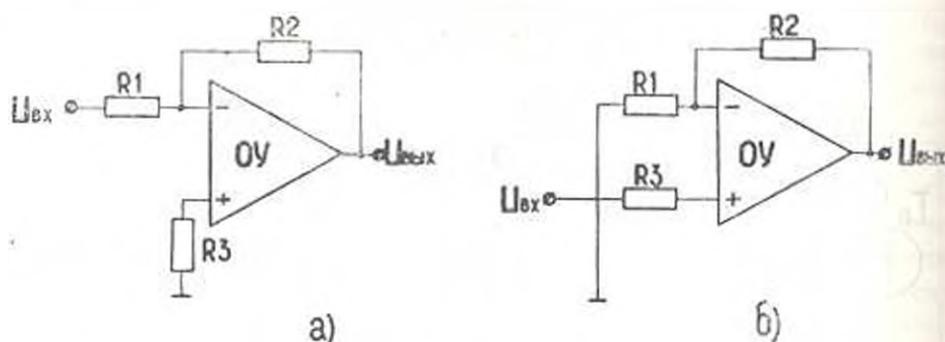


Рис. 2

С достаточной для практики точностью погрешности преобразования преобразователей П1, П2, П3 можно определить путем продифференцирования выражений (5), (6), (8).

В табл. 1 приведены выражения для относительных погрешностей  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  коэффициентов преобразования преобразователей П1, П2, П3, вызванные изменениями  $R_{тс}, R_1, R_{нх}, R_0, K_0$ .

Таблица 1

Погрешность	Изменяющийся параметр				
	$R_{тс}$	$R_1$	$R_{нх}$	$R_0$	$K_0$
$\gamma_1$	$-\frac{R_{тс}}{R_{нх}} \gamma_{R_{тс}}$	—	$\frac{R_{тс}}{R_{нх}} \gamma_{R_{нх}}$	—	—
$\gamma_2$	—	$\frac{R_1}{R_{нх}} \gamma_{R_1}$	$\frac{R_1}{R_{нх}} \gamma_{R_{нх}}$	—	—
$\gamma_3$	—	—	—	$\frac{1}{K_0} \gamma_{R_0}$	$\frac{K_3}{K_0} \gamma_{K_0}$

Относительные изменения  $R_{1c}$ ,  $R_1$  определяются следующими выражениями:

$$\gamma_{R_{1c}} = \frac{\Delta R_{1c}}{R_{1c}}, \quad \gamma_{R_1} = \frac{\Delta R_1}{R_1}, \quad (10)$$

где  $\Delta R_{1c}$ ,  $\Delta R_1$  — абсолютные значения изменений  $R_{1c}$  и  $R_1$ .

В качестве  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  используются высокоомные и высокостабильные проволочные резисторы, поэтому их влиянием на коэффициент преобразования  $K_3$  при изменении параметров окружающей среды можно пренебречь.

Входное сопротивление УПТ  $R_{вх}$  при данном значении коэффициента передачи  $K_3$  может изменяться, в основном, в результате изменений  $K_2$  и  $R_0$  от изменения температуры окружающей среды и напряжения питания ОУ, поэтому изменения  $R_{вх}$  будут определяться выражениями:

$$\gamma_{R_{вх}(T)} = \gamma_{K_2(T)} + \gamma_{R_0(T)}, \quad (11)$$

$$\gamma_{R_{вх}(U)} = \gamma_{K_2(U)} + \gamma_{R_0(U)}. \quad (12)$$

На основании выражения (2) погрешности преобразования измерительной цепи при изменении температуры окружающей среды и напряжения питания ОУ будут:

$$\gamma_{IT} \approx \frac{R_{1c} + R_1}{R_{вх}} (\gamma_{K_2(T)} + \gamma_{R_0(T)}), \quad (13)$$

$$\gamma_{IU} \approx \frac{R_{1c} + R_1}{R_{вх}} (\gamma_{K_2(U)} + \gamma_{R_0(U)}). \quad (14)$$

Изменение сопротивления ТС вызывает, в основном, изменение коэффициента  $K_1$ , изменение  $K_3$  для ОУ типа ИУТ-102 при этом не превышает 0,0001 %, поэтому погрешность преобразования  $\gamma_0$  от изменения  $R_n$  будет:

$$\gamma_{0(R_{1c})} \approx \gamma_{1(R_{1c})}. \quad (15)$$

Изменение сопротивления соединительной линии в основном вызывает изменение коэффициента  $K_2$ , изменение  $K_3$  для указанного выше случая также не превышает 0,0001 %, поэтому погрешность преобразования  $\gamma_0$  от изменения  $R_1$  будет:

$$\gamma_{0(R_1)} \approx \gamma_{1(R_1)}. \quad (16)$$

Результирующая погрешность коэффициента преобразования измерительной цепи определится по формуле:

$$\gamma_0 = \sqrt{\gamma_{1(R_{1c})}^2 + \gamma_{1(R_1)}^2 + \gamma_{0(T)}^2 + \gamma_{0(U)}^2}. \quad (17)$$

При применении ОУ типа ИУТ-102 погрешности  $\gamma_{0T}$  и  $\gamma_{0U}$  будут иметь очень малые значения. Тогда погрешность  $\gamma_0$  в основном будет

определяться значениями  $\gamma_{1(R_{1c})}$  и  $\gamma_{2(R_{2c})}$  и для минимального значения погрешности получим:

$$\gamma_{0\text{мин}} \approx \frac{1}{R_{\text{вх}}} \sqrt{\gamma_{1(R_{1c})}^2 R_{1c}^2 + \gamma_{2(R_{2c})}^2 R_{2c}^2} \quad (18)$$

Следовательно, для заданного значения погрешности  $\gamma_0$  входное сопротивление УПТ должно быть:

$$R_{\text{вх}} > \frac{1}{\gamma_0} \sqrt{\Delta R_{1c}^2 + \Delta R_{2c}^2} \quad (19)$$

Для ТС Гр 22 в диапазоне измерения от минус 200 до +650°C сопротивление  $R_{1c}$  изменяется от 17,28 до 333,25 Ом.

Принимая  $R_{\text{вх}} = 175 \pm 158$  Ом (при этом  $\gamma_{R_{1c}} \approx 91\%$ ) и  $R_{2c} = 50 \pm 50$  Ом (при этом  $\gamma_{R_{2c}} = 100\%$ ), для  $\gamma_0 = 0,05\%$  получим  $R_{\text{вх}} > 330$  кОм.

Для УПТ на ОУ типа КУТ402 при  $K_0 = 10$  ( $R_1 = 10$  кОм,  $R_2 = 91$  кОм,  $R_3 = 10$  кОм,  $R_{0\text{мин}} = 300$  кОм,  $K_0 = 25000$ ) получим  $R_{\text{вх}} \approx 7,5$  МОм.

Для данного ОУ при изменении напряжения питания на  $\pm 10\%$  имеем  $\gamma_{\Delta U} \approx \pm 13\%$ ,  $\gamma_{\Delta R_0} \approx \pm 10\%$ , а при изменении температуры окружающей среды на +10°C имеем  $\gamma_{K_0, T_1} \approx -5\%$ ,  $\gamma_{R_0(T)} \approx +10\%$ . Следовательно, расчетные максимальные значения погрешностей  $\gamma_{\text{ин}}$  и  $\gamma_{\text{от}}$  будут меньше 0,0003% и ими можно пренебречь.

Экспериментальные исследования проводились для УПТ с  $R_{\text{вх}} = 6$  МОм. Наибольшее значение погрешности  $\gamma_0$  при изменении температуры окружающей среды от +20 до -60°C и изменении напряжения питания на  $\pm 15\%$  при приведенных выше значениях  $\Delta R_{1c}$  и  $\Delta R_{2c}$  не превышал 0,01%, а расчетное значение  $\gamma_0$  для этих же условий составляет 0,0036%. Отличие расчетного и экспериментального значений объясняется погрешностями определения  $\gamma_{\text{ин}}$ ,  $\gamma_{\text{от}}$ , а также погрешностью измерительной аппаратуры (потенциометр РЗ45, нормальный элемент НЭ-65, делитель напряжения РЗ5).

Полученные выражения (17), (18), (19) позволяют правильно оценить погрешность измерительной цепи при воздействии перечисленных выше факторов и определить требуемое значение входного сопротивления усилителя как для измерительных цепей с датчиками сопротивления, так и для измерительных цепей с генераторными измерительными преобразователями.

Ա. Ս. ՇԱԿԿՅԱՆ, Ա. Հ. ԿԱՊԱՐՅԱՆ, Ս. Ս. ՇԱԿԿՅԱՆ:

ՉԱՓՈՂԱԿԱՆ ԿԵՐՊԱՓՈՒԻԶԻ ՄՈՒՏՔԱՆՅԻՆ ՇՂԹԱՅԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ա. Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Ջերմաստիճանը բարձր ճշտությամբ չափելու համար հիմնականում օգտագործվում է սլաօսինի ջերմադիմադրություն (ՋԴ), որը միացվում է ջրոսպար սխեմայով:

Չափման պրոցեսում փոփոխվում է ինչպես ՋԴ-ի գիմադրությունը, այնպես էլ միացնող հազորագույարների և շարժողական ուժեղացուցիչի մուտքային գիմադրությունները: Այդ պարամետրների փոփոխությունը կարող է առաջացնել դգալի լրացուցիչ սխալներ: Հոդվածում բերված են բանաձևեր, որոնց օգնությամբ կարելի է գնահատել լրացուցիչ սխալի արժեքը, երբ հայտնի է նշված պարամետրների փոփոխման գիադագոներ: Այդ բանաձևերը կարելի է կիրառել նաև այլ տիպի ադիչների օգնությամբ տարբեր մեծությունների շափման ժամանակ առաջացող սխալների հաշվարկի համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кончаловский В. Ю. и др. Электрические измерительные преобразователи. М., «Энергия», 1967.
2. Менджигин Е. Операционные усилители постоянного тока. М., «Энергия», 1965.
3. Кадук Б. Г. и др. Измерительный преобразователь для низкочастотных датчиков. Сб. статей ВНИИАП «Методы и приборы для анализа состава вещества». «Техника», Киев, 1972.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

К. М. МЕЛКОЯН

УВЕЛИЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ СЛЕЖЕНИЯ СИСТЕМЫ  
 УПРАВЛЕНИЯ КУПОЛОМ ТЕЛЕСКОПА АТЗ-2,6 м  
 ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО МОСТА  
 ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ОТСЧЕТА

К системе управления куполом телескопа АТЗ-2,6 м предъявляются высокие требования по точности и скорости отслеживания. Установленная одноотсчетная синхронноследящая система не может обеспечить указанных требований и обработать углы, равные  $1^\circ$ . Наличие механических редукторных передач вносит нелинейности в систему управления и делает систему склонной к периодическим движениям при углах меньших  $6'$ . Это нежелательно. Поэтому возникла необходимость применения системы точного отсчета, способной обрабатывать углы, меньше  $6'$ , и не требующей коренной перестройки установленных узлов и механизмов.

В отличие от применяемых двухотсчетных синхронноследящих систем [1] рассматривается двухотсчетная следящая система, в которой системой точного отсчета является автоматический мост переменного тока (рис. 1). В качестве датчика используется дифференциальный датчик-преобразователь (ДИД), преобразующий управляющее воздействие в комплексное (полное) сопротивление  $Z_x$ , равное  $Z_x = R_x + jX_x$  ( $R_x$ ,  $X_x$  — соответственно активная и реактивная составляющие сопротивления датчика). В области малых углов датчик типа ДИД обладает линейной характеристикой и высокой чувствительностью (рис. 2) [3]. Датчик включается в измерительное плечо моста Уитстона, а в сравниваемое плечо включается автоматически подстраиваемое сопротивление  $Z_2$ , равное  $Z_2 = R_2 + jX_2$ . Составляющие  $R_2$  и  $X_2$  подстраиваются в процессе уравнивания до достижения равенств:  $R_2 = R_x$ ;  $X_2 = X_x$ .

В другие плечи моста Уитстона включены балансные сопротивления  $Z = R$ . При возникновении рассогласования:  $\Delta Z = \Delta R + j\Delta X$ ,  $\Delta R = R_x - R_2$  и  $\Delta X = X_x - X_2$ , нарушается равновесие мостовой цепи, и на измерительной диагонали появляется напряжение разбаланса  $E$ . После усиления в усилителе  $U$  напряжение  $E$  поступает на пару фазочувствительных индикаторов ФЧИ, разлагающих вектор напряжения  $\Delta U$  на составляющие  $M_1$  и  $M_2$ , представляющие собой проекции сигнала на опорные напряжения  $U_{01}$  и  $U_{02}$  ФЧИ и пропорциональные  $\Delta R$  и  $\Delta X$ . При

изменении входного сигнала  $\varphi_{вх}$  изменяется, в основном, реактивная составляющая  $M_2$ . Активная составляющая  $\Delta R$  меняется незначительно. Поэтому в систему управления куполом телескопа поступает только реактивная составляющая, преобразованная в сигнал  $M_2$ . Активная составляющая позволяет учесть ошибку преобразования и повысить точность слежения системы точного отсчета. В области отсоединения углов, меньших  $6^\circ$ , система линейная и обладает хорошими динамическими характеристиками. В автоматическом мосте обрабатываются обе составляющие полного сопротивления  $\Delta Z$ , и результаты

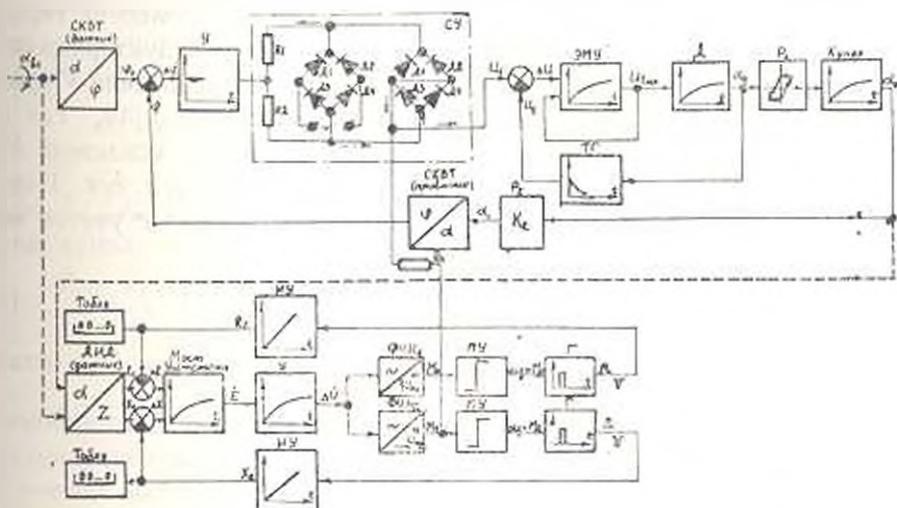


Рис. 1. Двухотчетная система управления куполом телескопа АТЗ-2,6 м  
 $\Pi$  — переключающее устройство;  $P$  — генератор импульсов;  $ИЗ$  — электромеханическое исполнительное устройство

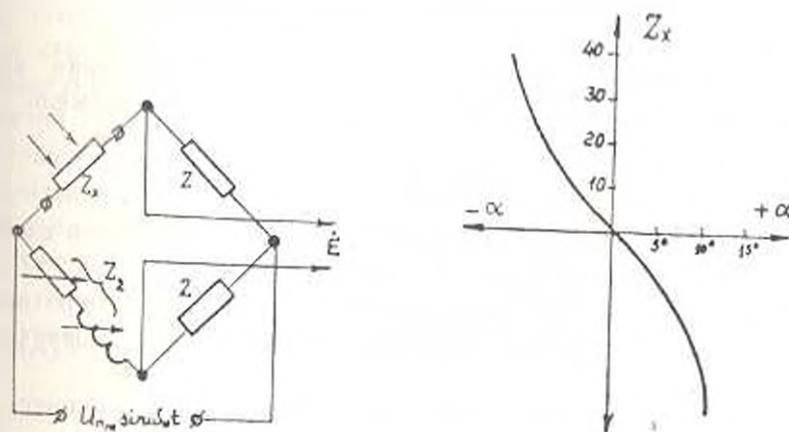


Рис. 2. Схема моста и характеристика датчика-преобразователя (ИИД)

измерения выводятся на табло. Способ одновременного уравновешивания позволяет повысить быстродействие автоматического моста до  $10^{-2}$  сек.

Условием подключения системы точного отчета является неравенство  $U_1 < U_2$ , где  $U_1$  — сигнал на выходе усилительного устройства.

Для исследования поведения двухотсчетной автоматической системы управления куполом телескопа динамика системы грубого отчета и динамика системы точного отчета рассмотрены в отдельности.

Для анализа динамики системы грубого отчета (СГО) получена передаточная функция линейной части системы и применена гармоническая линеаризация нелинейности механических редукторных передач. Передаточная функция преобразовательного усилителя  $V$  представляет собой передаточный коэффициент  $k_v$  ( $k_v = I_1 p / \Delta \varphi$ , где  $I_1$ ,  $\Delta \varphi$  — соответственно выходной ток и угол на входе усилителя  $V$ ). Для выбранного усилительного блока  $k_v = 1,6 \cdot 10^{-4}$  а/угл. сек. Передаточная функция электромашинного усилителя (ЭМУ) с учетом обратной связи по напряжению равна:

$$W_2(p) = k_u \cdot [T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2) p + 1 + k_u]^{-1}, \quad (1)$$

где  $k_u = \frac{U_n}{I_n R_y}$  — коэффициент усиления по напряжению;  $U_n$  — номинальное напряжение питания;  $I_n$  — номинально допустимый ток обмотки управления;  $R_y$  — омическое сопротивление обмотки;

$$T_1 = \frac{L_y}{R_y} \quad \text{и} \quad T_2 = \frac{U_n}{k_e \omega^2 \Phi_y} \quad \text{— постоянные времени;}$$

$L_y$  — индуктивность обмотки управления;  $k_e$  — постоянная;  $\omega$  — частота вращения;  $\Phi_y$  — магнитный поток управления.

Для ЭМУ типа ЭМУ 110 4А

$$W_2(p) = 52 \cdot (0,002 p^2 + 0,1 p + 53)^{-1}. \quad (2)$$

Передаточная функция двигателя имеет вид:

$$W_3(p) = k_1 \cdot (T_1 T_2 p^2 + T_2 p + 1)^{-1}, \quad (3)$$

где  $k_1$  — коэффициент усиления двигателя;  $T_1$  — постоянная времени якорной цепи;  $T_2$  — электромеханическая постоянная времени:

$$k_1 = \frac{1}{c_e}; \quad T_1 = \frac{L_a}{R_a}; \quad T_2 = \frac{J R_a}{c_e};$$

$c_e$  — постоянная;  $L_a$  и  $R_a$  — соответственно индуктивность и омическое сопротивление якорной цепи;  $J$  — момент инерции;

$R_1 = 1,2(R_{20} + R_{200} + R_{201})$  — эквивалентное омическое сопротивление;  $R_{200}$  и  $R_{201}$  — соответственно омические сопротивления добавочных полюсов и щеток.

Двигатель типа ПБСТ—43 имеет передаточную функцию:

$$W_3(p) = 4,38 \cdot (2,158 \cdot 10^{-1} p^2 + 2,6 \cdot 10^{-2} p + 1)^{-1}. \quad (4)$$

Тахогенератор расположен на валу исполнительного двигателя и представляет дифференцирующее звено с передаточной функцией

$$W_1(p) = k_t p, \quad (5)$$

где  $k_t = E_{\text{вых}}/\omega$  — коэффициент усиления;  $E_{\text{вых}}$  — э. д. с. якорной обмотки тахогенератора.

Для тахогенератора типа ТЛ-102

$$W_1(p) = 32 p. \quad (6)$$

Передаточные числа редукторов  $P_1$  и  $P_2$  соответственно равны:  $k_1 = 440$  и  $k_2 = 72$ . Купол телескопа связан с валом двигателя через редукторную передачу. Передаточная функция вращающейся части купола равна:

$$W_2(p) = \frac{1}{1 + T_v p}; \quad T_v = J_v \frac{\omega}{M_v}, \quad (7)$$

где  $T_v$ ,  $J_v$ ,  $M_v$  — соответственно постоянная времени, момент инерции купола и момент на валу двигателя.

Для купола телескопа АТЗ-2,6 м

$$W_2(p) = \frac{1}{1 + 0,2 p}. \quad (8)$$

Вращающиеся трансформаторы (СКВТ) представляют собой безынерционные звенья с коэффициентом преобразования  $k_c = 0,565$ . С учетом выражений (1)–(8) получена передаточная функция линейной части СГО:

$$W_{\text{лн}}(p) = \frac{12}{(1 + 0,2 p)(1 + 23,9 p)}. \quad (9)$$

Линейная часть системы устойчива, так как по критерию Рауса-Гурвица алгебраические дополнения  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  определителя матрицы характеристического уравнения  $p^2 + 0,504 p + 0,0209 = 0$  положительны. Кроме того, характеристика передаточной функции носит апериодический характер, так как частота собственных колебаний  $\omega_k$  меньше коэффициента  $h$ , характеризующего степень затухания свободных колебаний ( $\omega_k^2 < h^2$ , так как  $0,0209 < 0,0634$ ).

Зубчатая передача является нелинейностью типа „люфт“. Для линеаризации применен метод гармонической линеаризации нелинейности и получен линеаризованный коэффициент усиления нелинейности типа „люфт“

$$F_0(A) = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{\pi}{2} + \arcsin \left( 1 - \frac{2d}{A} \right) + 2 \left( 1 - \frac{2d}{A} \right) \sqrt{\frac{d}{A} \left( 1 - \frac{d}{A} \right)} \right] + j \frac{4d}{\pi A} \left( 1 - \frac{d}{A} \right). \quad (10)$$

Включение нелинейности приводит к появлению периодических режимов, условие возникновения которых имеет вид:

$$W_{лн}(j\omega_0) \cdot F_{нл}(A) = -1, \quad (11)$$

где  $\omega_0$ ,  $A$ ,  $W_{лн}(j\omega_0)$  — соответственно частота колебаний, амплитуда колебаний и частотная характеристика линейной части системы при  $p = j\omega_0$ . Анализ условия (11) позволил получить зависимости амплитуды  $A$  и частоты  $\omega_0$  колебаний, возникающих в нелинейной системе (СГО), от величины зоны нечувствительности  $d$  нелинейного звена

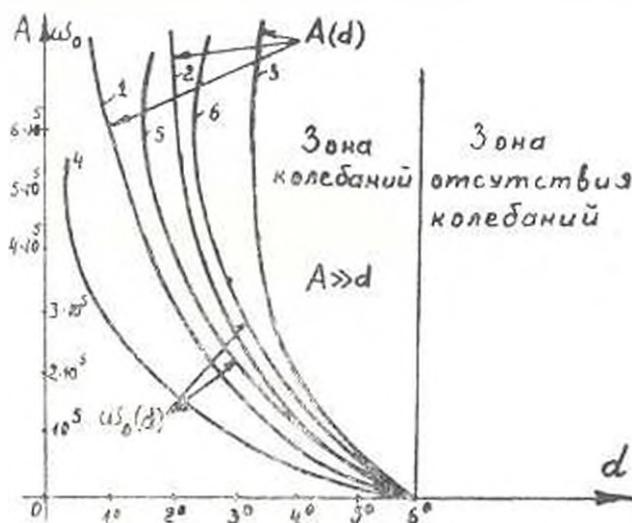


Рис. 3. Зависимости амплитуды ( $A$ ) и частоты ( $\omega_0$ ) колебаний от величины зоны нечувствительности ( $d$ ) при разных значениях коэффициента усиления  $K$ : 1 и 4 — при  $K=12$ ; 2 и 5 — при  $K=10$ ; 3 и 6 — при  $K=75$ .

(рис. 3). При зоне нечувствительности, равной  $6^\circ$  поворота вала двигателя, амплитуда и частота колебаний равны 0. Можно показать, что при уменьшении зоны нечувствительности возникают устойчивые колебания, снижающие точность и качество обработки вомуцевания систем СГО. Таким образом, для данного коэффициента усиления системы  $K$  она обрабатывает углы, большие и равные  $6^\circ$ . При увеличении  $K$  для данной зоны увеличивается амплитуда и частота колебаний (рис. 3). При уменьшении зоны  $d$  для выбранного  $K$  колебания возрастают до бесконечности. Поэтому для обработки углов, меньших  $6^\circ$ , необходимо подключить систему точного отсчета (СТО).

Передающая функция линейной части системы равна:

$$W(p) = k_{инд} \cdot k_c \cdot k_s \cdot k_i \cdot k_z \cdot W_u(p) \cdot W_y(p) \cdot \frac{1}{(1 + T_1 p)(1 + T_2 p)}, \quad (12)$$

где  $k_{инд}$  —  $W_u(p)$ ,  $W_y(p)$  — соответственно коэффициент преобразования датчика, передаточные функции мостовой цепи и усилителя  $U$ .

$$W_x(p) = k_x \frac{z_1 + z_2 p}{1 + \tau p}; \quad k_x = \frac{R}{R + R_0}; \quad z = \frac{L_0}{R + R_0};$$

$$z_1 = \frac{U_{ам}}{R + R_0} \left[ \frac{1}{R} - \frac{R_0}{R(R + R_0)} - \frac{\omega_n L_0}{\omega_n^2 L_0^2 + (R + R_0)^2} \right];$$

$$z_2 = U_{ам} \left[ \frac{1}{R} - \frac{\omega_n L_0}{\omega_n^2 L_0^2 + (R + R_0)^2} \right]; \quad (13)$$

где  $U_{ам}$ ,  $R$ ,  $R_0$ ,  $L_0$ ,  $\omega_n$  — соответственно напряжение питания моста, омическое сопротивление балансных сопротивлений  $Z$  и начальные значения омического и индуктивного сопротивлений, частота питания цепи.

Для увеличения помехозащищенности усилитель  $Y$  выбран инерционным:

$$W_y(p) = \frac{k_y}{1 + T_y p} \quad (14)$$

где  $k_y$ ,  $T_y$  — соответственно коэффициент усиления и постоянная времени усилителя.

Для данного случая с учетом выражений (13) и (14) передаточная функция СТО равна:

$$W(p) = \frac{0,108 \cdot 10^{-3}(1 + 10^3 p)}{(1 + 10^{-4} p)(1 + 10^{-2} p)(1 + 0,2 p)(1 + 23,9 p)} \quad (15)$$

Система СТО устойчива, так как согласно критерию Рауса-Гурвица определитель матрицы характеристического уравнения

$$4,78 \cdot 10^{-7} p^4 + 71,9 p^3 + 4,8064 p^2 + 21,1 p + 1 = 0$$

имеет положительные дополнения. Можно показать, что при выполнении условия (11) зона нечувствительности для  $A=0$  равна  $d = -0,574 K$ , где  $K=0,003$ . Следовательно, зона нечувствительности СТО равна  $37'12''$ . Требование к пределу отработки углов составляет  $1^\circ$ . Кроме того, преимуществом рассматриваемой двухотсчетной системы управления является отсутствие дополнительных редукторных передач, вносящих нелинейности в систему управления и малое время отработки углов (до  $0,6$  сек).

Таким образом, отслеживание углов, больших  $6'$ , рекомендуется обрабатывать системой СТО, а отслеживание углов, меньших  $6'$ , обрабатывать системой СТО. В этом случае двухотсчетная следящая система управления кулолом телескопа АТЗ—2,6 и имеет устойчивый режим работы, в котором отсутствуют периодические движения.

Կ. Մ. ՄԵԼԿՈՆՅԱՆ

**ԱՏՁ—2.6 ր ՀԵՌԱԿԻՏԱՆԻ ԳՈՐԾԻԹԻ ԿԱՌԱՂԱՐՄԱՆ ՍԵՍՏԵՄԻ ՀԵՏԵՎՄԱՆ  
ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ՄԵՐԱՑՈՒՄԸ՝ ՃՇԳՐԻՏ ՀԱՇՎԱՆՔԻ ՍԵՍՏԵՄՈՒՄ ՓՈՓՈԽՈՒՄԱՆ  
ՀՈՍԱՆՔԻ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՄՐՁԱՆ ԾԿՏԱԿՈՐՇԵԼՈՎ**

**Ա մ փ ո թ ո մ**

Հոգիածուծ առաջարկում է հեռադիտակի գմբեթի կառավարման համար օգտագործել երկկոնտուրային սինխրոն հետոց ավտոմատ սխեման՝ Ի տարբերությունից հաշանի սխեմաներից, առաջարկվող սխեմանը հնարավորություն է տալիս զգալի շափով բարձրացնել հետևող սարքի ճշտությունը՝ հաշվանքի կոպիտ և ճշգրիտ սխեմաների միջև մեխանիկական կոպեր չօգտագործելով: Բացի այդ, առաջարկված սխեման ունի բարձր դինամիկական բնութագրեր:

**Л И Т Е Р А Т У Р А**

1. Старицкий К. И., Михайлов Н. И. Синхронные передачи и следящие системы. Изд. «Машиностроение», М., 1971.
2. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы. Киев, 1973.
3. Ситнико Ф. А. Электромеханические датчики и преобразователи неэлектрических величин. Изд. «Энергия», М.—Л., 1965.
4. Основы автоматического управления (под редакцией Пузачева В. С.). Изд. «Наука», М., 1968.

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

В. Е. АРУСТАМЯН

МНОГОКОЛЛЕКТОРНАЯ ПЛАНАРНАЯ ТРАНЗИСТОРНАЯ СТРУКТУРА

Структура многоколлекторного (МК) транзистора предложена в [1]. Однако из-за боковой передачи носителей она имеет существенные недостатки. Плоскопараллельность эмиттерных и коллекторных переходов, а также ширина активной области базы в процессе диффузии управляются плохо, в результате этого коэффициенты передачи и абсолютные значения токов получаются малыми, частота переключения — низкой, а коллекторы — неидентичными.

В другой известной структуре МК-транзистора [2] некоторые из указанных выше недостатков устранены, однако проблема идентичности коллекторов не решена, и, к тому же, вся подложка (пластина) является базовой областью, что делает структуру непригодной для реализации на ее основе монолитных интегральных схем (ИС).

В настоящей работе предложена новая структура МК-транзистора, лишенная вышеперечисленных недостатков, и дана статическая теория предложенной структуры.

На рис. 1 показана последовательность реализации структуры для случая четырех коллекторов (а — в плане, б — в разрезе) по планарной технологии с диэлектрической изоляцией.

На окисном слое поверхности прямоугольной формы (или любой другой, обладающей симметрией) диэлектрически изолированной области монокристаллического полупроводника открывается крестообразное окно 1 для проведения диффузии примесью с противополож-

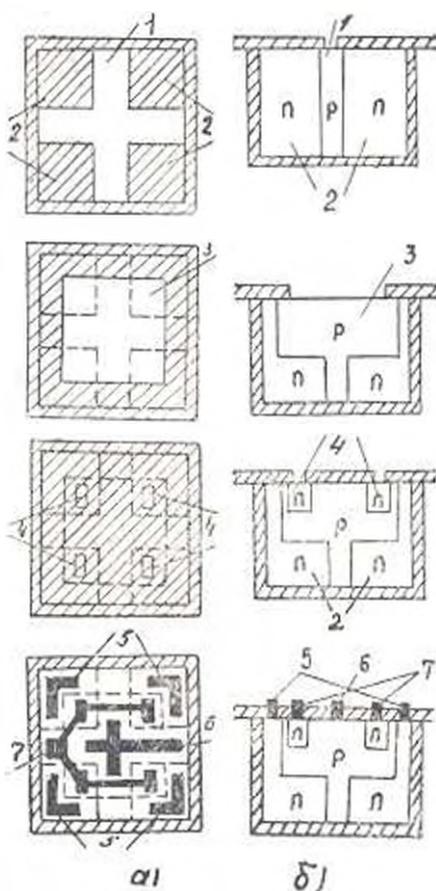


Рис. 1

ным типом проводимости. Диффузия проводится до полного разделения области на четыре идентичные (коллекторные) подобласти 2. Затем на оксидном слое поверхности открывается окно прямоугольной формы 3 для проведения диффузии под базу, общую для всех коллекторов. Для обеспечения большого коэффициента передачи тока, высокой частоты переключения и идентичности коллекторов необходимо, чтобы каждый коллектор имел собственный противолежащий эмиттер и его площадь полностью покрывала бы площадь соответствующего эмиттера. С этой целью на оксидном слое участков 3 открываются четыре идентичных окна 4 для проведения диффузии под эмиттеры.

Как видно из рис. 1, б, в процессе передачи тока эмиттера для каждого коллектора основную роль играет собственный эмиттер. При металлизации все эмиттеры объединяются и выводятся как один эмиттер, общий для всех коллекторов.

Как известно, глубина диффузии в процессе изготовления полупроводниковых структур по планарной технологии хорошо управляема [3]. В этом плане предлагаемая структура МК-транзистора не отличается от однокolleкторной планарной структуры, а по параметрам приближается к ней. В этом и заключается преимущество предложенной структуры по сравнению с известными.

Анализ процессов, происходящих в МК-структуре, требует точного решения уравнения непрерывности для многомерного случая. Однако сложные краевые и начальные условия чрезвычайно затрудняют задачу, поэтому для начального исследования структуры целесообразно использовать модифицированную систему уравнений Эберса-Молла для многопереходной структуры [4]. Правомочность такого подхода вытекает из особенности структуры, в которой каждая пара эмиттер-коллектор практически сохраняет конфигурацию однокolleкторной структуры, а инжекцией других пар эмиттеров в первом приближении можно пренебречь. Во избежание громоздкости получаемых выражений, но и то же время не нарушая общности выводов, рассмотрим структуру с двумя коллекторами. Система уравнений полных токов эмиттера и коллекторов при включении структуры по схеме с общей базой имеет вид

$$\begin{bmatrix} I_e \\ I_{k1} \\ I_{k2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & -A_{12} & -A_{13} \\ -A_{21} & A_{22} & -A_{23} \\ -A_{31} & -A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{U_e/kT} - 1 \\ e^{U_{k1}/kT} - 1 \\ e^{U_{k2}/kT} - 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

где  $I_e$ ,  $I_{k1}$ ,  $I_{k2}$  — токи эмиттера, первого и второго коллекторов, соответственно;  $\varphi_T = \frac{kT}{q}$  — тепловой потенциал;  $U_e$ ,  $U_{k1}$ ,  $U_{k2}$  — напряжения эмиттера, первого и второго коллекторов, соответственно.

Из системы (1) следует, что для полного описания работы структуры необходимо знание девяти элементов матрицы  $A_{ij}$ , которые непосредственно не могут быть измерены, т. е. их нужно выразить через

такие параметры структуры, которые могут быть измерены. В качестве подобных могут служить следующие параметры:

1. Раздельные нормальные коэффициенты передачи тока эмиттера по первому и второму коллекторам:

$$\alpha_{N1} = -\frac{i_{k1}}{i_e} \Big|_{\substack{U_{k1}=0 \\ U_{k2}=0}} = \frac{A_{21}}{A_{11}}; \quad \alpha_{N2} = -\frac{i_{k2}}{i_e} \Big|_{\substack{U_{k1}=0 \\ U_{k2}=0}} = \frac{A_{31}}{A_{11}}. \quad (2)$$

2. Раздельные инверсные коэффициенты передачи тока эмиттера по первому и второму коллекторам:

$$\alpha_{I1} = -\frac{i_s}{i_{k1}} \Big|_{\substack{U_s=0 \\ U_{k1}=0}} = \frac{A_{12}}{A_{22}}; \quad \alpha_{I2} = -\frac{i_s}{i_{k2}} \Big|_{\substack{U_s=0 \\ U_{k1}=0}} = \frac{A_{13}}{A_{22}}. \quad (3)$$

3. Нормальный и инверсный коэффициенты передачи тока между коллекторами:

$$\alpha_{kN} = -\frac{i_{k1}}{i_{k2}} \Big|_{\substack{U_s=0 \\ U_{k1}=0}} = \frac{A_{22}}{A_{31}}; \quad \alpha_{kI} = -\frac{i_{k2}}{i_{k1}} \Big|_{\substack{U_s=0 \\ U_{k2}=0}} = \frac{A_{32}}{A_{21}}. \quad (4)$$

4. Тепловой ток эмиттерного перехода  $I_{e0}$  при отключенных коллекторах и при достаточно большом обратном напряжении эмиттерного перехода, т. е.  $i_{k1} = i_{k2} = 0$ ;  $e^{U_{e1}/T} \ll 1$ .

Эти условия позволяют из системы уравнений (1) вывести соотношение

$$I_{e0} = -A_{11} - \frac{A_{12}(A_{21}A_{32} - A_{22}A_{31}) + A_{13}(A_{21}A_{31} - A_{22}A_{31})}{A_{22}A_{32} - A_{21}A_{31}}. \quad (5)$$

5. Тепловые токи коллекторных переходов  $I_{k10}$  и  $I_{k20}$  при отключенном эмиттере и при достаточно больших обратных напряжениях коллекторных переходов, т. е.  $i_e = 0$ ;  $e^{U_{k1}/T} \ll 1$ ;  $e^{U_{k2}/T} \ll 1$ .

Эти условия позволяют из системы уравнений (1) вывести соотношения:

$$\left. \begin{aligned} I_{k10} &= \frac{A_{22}A_{12} + A_{21}A_{13}}{A_{11}} - A_{12} + A_{21} \\ I_{k20} &= \frac{A_{22}A_{32} + A_{13}A_{21}}{A_{11}} + A_{32} - A_{21} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Определяемые выражениями (2) - (6) девять параметров могут быть измерены на четырех выводах двухколлекторного транзистора, и поскольку эти уравнения составляют полную систему, то она может быть решена относительно коэффициентов  $A_{ij}$ .

$$A_{11} = \frac{1}{\gamma_{11}} (1 + \alpha_{kN} \alpha_{k1}) I_{s0};$$

$$A_{12} = \frac{\alpha_{12}}{\gamma_{12}} [(1 - \alpha_{N2} \alpha_{12}) I_{k10} + (\alpha_{kN} + \alpha_{N1} \alpha_{12}) I_{k20}];$$

$$A_{13} = \frac{\alpha_{12}}{\gamma_{13}} [(\alpha_{k1} + \alpha_{N2} \alpha_{11}) I_{k10} + (1 - \alpha_{N1} \alpha_{11}) I_{k20}];$$

$$A_{21} = \frac{\alpha_{N1}}{\gamma_{11}} (1 + \alpha_{kN} \alpha_{k1}) I_{s0};$$

$$A_{22} = \frac{1}{\gamma_{12}} [(1 - \alpha_{N2} \alpha_{12}) I_{k10} + (\alpha_{kN} + \alpha_{N1} \alpha_{12}) I_{k20}];$$

$$A_{23} = \frac{\alpha_{kN}}{\gamma_{12}} [(\alpha_{N2} \alpha_{11} + \alpha_{k1}) I_{k10} + (1 - \alpha_{N1} \alpha_{11}) I_{k20}];$$

$$A_{31} = \frac{\alpha_{N2}}{\gamma_{11}} (1 + \alpha_{kN} \alpha_{k1}) I_{s0};$$

$$A_{32} = \frac{\alpha_{12}}{\gamma_{12}} [(1 - \alpha_{N2} \alpha_{12}) I_{k10} + (\alpha_{kN} + \alpha_{N1} \alpha_{12}) I_{k20}];$$

$$A_{33} = \frac{1}{\gamma_{13}} [(\alpha_{N2} \alpha_{11} + \alpha_{k1}) I_{k10} + (1 - \alpha_{N1} \alpha_{11}) I_{k20}].$$

где

$$\gamma_{11} = - [1 - (\alpha_{N1} \alpha_{11} + \alpha_{N1} \alpha_{12} \alpha_{k1} + \alpha_{N2} \alpha_{12} + \alpha_{N2} \alpha_{11} \alpha_{kN} - \alpha_{kN} \alpha_{k1})];$$

$$\gamma_{12} = - [(1 - \alpha_{N1} \alpha_{11}) (1 - \alpha_{N2} \alpha_{12}) - (\alpha_{N2} \alpha_{11} + \alpha_{k1}) (\alpha_{N1} \alpha_{12} + \alpha_{kN})].$$

Подставляя значения коэффициентов  $A_{ij}$  в систему уравнений (1), получаем модель двухколлекторного транзистора в виде:

$$\begin{bmatrix} i_3 \\ i_{k1} \\ i_{k2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\alpha_{11} & -\alpha_{12} \\ -\alpha_{N1} & 1 & -\alpha_{kN} \\ \alpha_{N2} & -\alpha_{k1} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_0 \\ i_{k1} \\ i_{k2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

где

$$i_3 = A_{11}(e^{U_{11}/\varphi_T} - 1); \quad i_{k1} = A_{12}(e^{U_{k1}/\varphi_T} - 1); \quad i_{k2} = A_{33}(e^{U_{k2}/\varphi_T} - 1).$$

Модель позволяет написать все вольтамперные характеристики и построить эквивалентную схему двухколлекторного транзистора для случая включения его по схеме с общей базой.

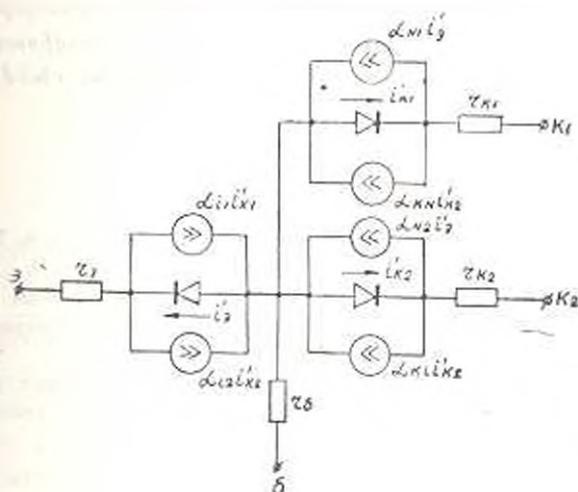


Рис. 2

Схема приведена на рис. 2, где  $r_E$ ,  $r_B$ ,  $r_{K1}$  и  $r_{K2}$  — объемные сопротивления областей эмиттера, базы и коллекторов, соответственно.

Из соотношения (7) следует, что ток одного коллектора является функцией напряжения (или тока) другого коллектора.

Это явление дает возможность управлять током коллектора при помощи еще одного (или многих — для МК-структур) дополнительного электрода-коллектора в транзисторе, что открывает широкие схемотехнические перспективы перед МК-транзисторами.

Кроме того, объединением коллекторов можно увеличить допустимый ток МК-транзистора и тем самым использовать его в силовых устройствах.

При наличии в структуре только одного коллектора  $\alpha_{K1} = \alpha_{K2} = 0$ ;  $\alpha_{K12} = 0$ ;  $\alpha_{K21} = 0$ ;  $I_{K21} = 0$  и тогда  $A_{11} = A_{22} = A_{32} = A_{31} = 0$ , а выражение (7) и эквивалентная схема рис. 2 сводятся к известным выражениям и эквивалентной схеме одноколлекторной структуры [5].

В заключение отметим, что случай включения МК-транзистора по схеме с общим эмиттером анализируется аналогичным образом.

ЕрНИИММ

Поступило 12.XI.1974

Վ. Ե. ԱՌՈՒՍԱՄՅԱՆ

ՔԱՉՄԱՆՈՒԿԵՏՈՐԱՅԻՆ ՊԼԱՆԱՐ ՏՐԱՆԶԻՍՏՈՐԻ ԿԱՌՈՒՅԱԼՈՒՄԸ

Ա. Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հողվածում առաջարկվում է բազմակոլեկտորային պլանար տրանզիստորի նոր կառուցվածք, որն ըստ արագադրծուիթան, ուժեղացման դործակ-

ցի և կոլեկտորների միատեսակության գերազանցում է հայտնի կառուցվածքների և նախափորութուն է բնձնենում այն պատգամով ինտեգրալ սխեմաներում: Քերված է բազմակողմեկտրային սրանգիտտորի նախնական տեսությունը և կառուցված է նրա մոդելն ու համարժեք սխեման:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Lin H. C. IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. SC-4, no. 1, T-12, p.p. 20-24, Feb. 1969.
2. Известия вузов. Радиоэлектроника. Том XIV, № 11, 1971, стр. 1321.
3. Основы технологии кремниевых ИС. Окисление, диффузия, эпитаксия. Пер. с англ. под редакцией Р. Бургера. «Мир», 1969.
4. Анализ и расчет интегральных схем. Пер. с англ. ч. I. Изд. «Мир» 1969.
5. Агаджян Т. М. Электронные ключи и нелинейные импульсные усилители. Изд. «Сов. Радио», 1966.

ГИДРАВЛИКА

К. Х. ОВСЕПЯН

МЕТОД ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО  
 УРАВНЕНИЯ УПРУГОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

При исследовании режимов регулирования гидротурбинных и насосных агрегатов в системе уравнений, описывающих переходный процесс в различных звеньях, необходимо иметь и выражение для гидравлического удара в напорной системе. Использовать для аналитических исследований выражение в форме цепных уравнений Алливи невозможно. Уравнение же жесткого гидравлического удара, хотя и позволяет провести аналитические исследования, из-за неучета упругих свойств часто приводит к недопустимым погрешностям. Это заставило ряда авторов прибегнуть к получению приближенных дифференциальных уравнений третьего или четвертого порядка, описывающих явления в трубопроводе [1, 2]. Эти уравнения удобны только для математического моделирования на вычислительных машинах.

Предлагаемое ниже дифференциальное уравнение второго порядка позволяет получить непрерывное по времени решение с учетом упругих свойств трубопровода и воды.

Исходным уравнением является операторное уравнение неустановившегося движения воды [3] в виде

$$\frac{\zeta}{q} = -2 \frac{T_r}{T_\Phi} \frac{\operatorname{sh} p \frac{T_r}{2}}{\operatorname{ch} p \frac{T_\Phi}{2}} \quad (1)$$

где  $\zeta$ ,  $q$  — относительные изменения напора и расхода воды;

$T_r$ ,  $T_\Phi$  — постоянная трубопровода и фаза гидравлического удара.

Разлагая правую часть выражения (1) в ряд

$$\frac{\zeta}{q} = \frac{-2 T_r}{T_\Phi} \frac{p \frac{T_r}{2} + \frac{1}{3!} \left( p \frac{T_r}{2} \right)^3 + \dots}{1 + \frac{1}{2!} \left( p \frac{T_\Phi}{2} \right)^2 + \frac{1}{4!} \left( p \frac{T_\Phi}{2} \right)^4 + \dots} \quad (2)$$

и отбрасывая члены, содержащие  $p^3$  и более высокие степени, получим:

$$\frac{\dot{z}}{q} = \frac{-pT_1}{1 + 0.125 p^2 T_0^2}$$

и, окончательно,

$$0.125 T_0^2 p^2 \dot{z} + T_1 p q + z = 0. \quad (3)$$

Последнее выражение есть дифференциальное уравнение трубопровода в операторной форме, где частично учтены упругие свойства воды и материала трубопровода. В частном случае, при неучете упругих свойств, это выражение превращается в общепринятое уравнение жесткого гидравлического удара.

Формулу для расчета гидравлического удара можно получить решением дифференциального уравнения гидравлического удара с условиями изменения открытия и расхода воды. В качестве последних используем приведенные в [4] линеаризованные операторные выражения:

$$\text{уравнение расхода} \quad q = \mu + \frac{\dot{z}}{2}; \quad (4)$$

$$\text{уравнение открытия} \quad \mu = \frac{1}{T_s p^2} z, \quad (5)$$

где  $q, \mu$  — относительные изменения расхода и открытия, соответственно;  $T_s$  — время закрытия направляющего аппарата.

Подставив (4) и (5) в уравнение (3), имеем:

$$0.125 T_0^2 p^2 z + T_1 p \left( \frac{-1}{T_s p^2} + \frac{\dot{z}}{2} \right) + z = 0$$

или

$$\dot{z} = \frac{T_1 T_s}{p(0.125 T_0^2 p - 0.5 T_1 - 1)} z. \quad (6)$$

Исходную функцию  $z(t)$ , т. е. изменение давления у регулирующего органа по времени, находим с помощью теоремы разложения:

$$z(t) = \frac{T_1}{T_s} \left[ 1 - \left( \cos \beta t - \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta t \right) \exp(-\alpha t) \right], \quad (7)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — действительная и мнимая части корней характеристического уравнения;

$$\alpha = \frac{2T_1}{T_0^2}; \quad \beta = \sqrt{\frac{8}{T_0^2} - \alpha^2}; \quad \gamma = \arctg \frac{\beta}{\alpha}. \quad (8)$$

Корни характеристического уравнения дают известную оценку протекания переходного процесса в трубопроводе.

Обратная величина действительной части корня имеет размерность времени и характеризует продолжительность переходного процесса.

$$T_d = \frac{T_d^2}{2T_1} = \frac{2g}{a^2c} l. H. \quad (9)$$

Величина эта называется постоянной затухания и определяется как время, в течение которого колеблется в трубопроводе затухают в  $e$  раз.

Как видно из (7), при прочих равных условиях продолжительность переходного процесса прямо пропорциональна как длине трубопровода так и напору установки.

Мнимая часть корня характеризует частоту колебания давления в трубопроводе. Период этих колебаний определяется как

$$T_k = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{8}{T_\phi^2} - \left(\frac{2T_d}{T_\phi}\right)^2}} = \frac{\pi T_\phi}{\sqrt{2 - (T_d/T_\phi)^2}}. \quad (10)$$

Выражение (10) показывает, что период колебания давления определяется не только фазой гидравлического удара, но и постоянной трубопровода.

Наибольшее значение изменения давления можно определить по формуле (7) при подстановке значения  $t_m$ , т. е. времени достижения  $\tau_m$ .

Эта время определяется из условия

$$\dot{\tau} = [\cos(3t_m + \gamma)^2 - \sin(3t_m + \gamma)^2] \exp(-\alpha t) = 0. \quad (11)$$

Приравняв второй член произведения, т. е.  $\exp(-\alpha t_m)$ , к нулю, имеем  $t_m = \infty$ . Этот случай соответствует аperiodическому изменению давления когда наибольшее отклонение достигается в конце процесса.

Приравняв к нулю другой член выражения (11), получим

$$\operatorname{tg}(3t_m + \gamma) = 3/\alpha.$$

откуда

$$\operatorname{arctg}(3/\alpha) + k\pi = 3t_m + \gamma.$$

так как обратные тригонометрические функции многозначны.

Подставляя значение  $\gamma$ , окончательно получим

$$t_m = k\pi \frac{1}{3}. \quad (12)$$

Значения  $t_m$ , определенные по (12) при значениях  $k = 1, 2, 3, \dots$  дадут моменты времени, когда  $\tau_m$  будет иметь экстремумы (рис. 1).

Очевидно, что для определения наибольшего отклонения давления  $\tau_m$  необходимо определить  $t_m$  при  $k = 1$ .

Подставляя значение  $t_m = \pi/3$  в формулу (7), будем иметь:

$$\dot{\epsilon}_m = \frac{T_T}{T_S} \left\{ 1 - \left| \sqrt{1 + \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2} \sin(\pi + \gamma) \right| \exp\left(-\pi \frac{\alpha}{\beta}\right) \right\}.$$

Проводя некоторые преобразования, окончательно получим:

$$\dot{\epsilon}_m = \frac{T_T}{T_S} \left[ \left( 1 + \exp\left(-\pi \frac{\alpha}{\beta}\right) \right) \right]. \quad (13)$$

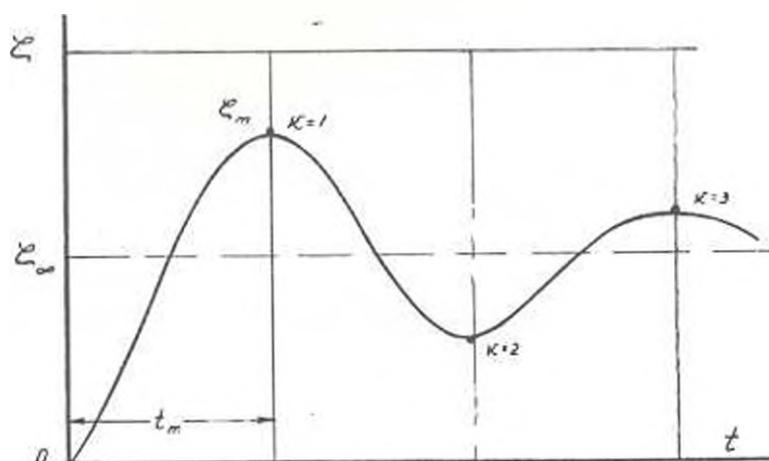


Рис. 1. К определению  $\dot{\epsilon}_m$ .

Для проверки применимости предлагаемых уравнений и формул, описывающих процесс гидравлического удара, проведены расчеты для трубопроводов различных параметров. Эти расчеты выполнены по цепным уравнениям Аляеви, по формуле жесткого удара и по предлагаемой формуле (9).

Таблица 1

$\nu = \frac{T_S}{T_T}$	$\beta = \frac{T_T}{T_\Phi}$	$t_m$		
		по цепным уравнениям	по формуле жесткого удара	по формуле (7)
15	0.9	0.065	0.060	0.064
	0.8	0.061	0.053	0.060
	0.6	0.051	0.040	0.049
	0.4	0.038	0.027	0.037
9	0.8	0.105	0.089	0.100
	0.6	0.078	0.067	0.074
	0.4	0.065	0.044	0.062
	0.2	0.037	0.022	0.036
3	0.6	0.290	0.020	0.250
	0.4	0.212	0.133	0.186
	0.2	0.118	0.067	0.109
	0.1	0.062	0.035	0.060

На рис. 2 приведены результаты расчетов для двух трубопроводов. Точками показаны данные расчетов по цепным уравнениям для моментов времени кратным фазе удара, пунктирной линией даны результаты расчета по формуле жесткого удара, а сплошной линией—результаты, полученные по формуле (7).

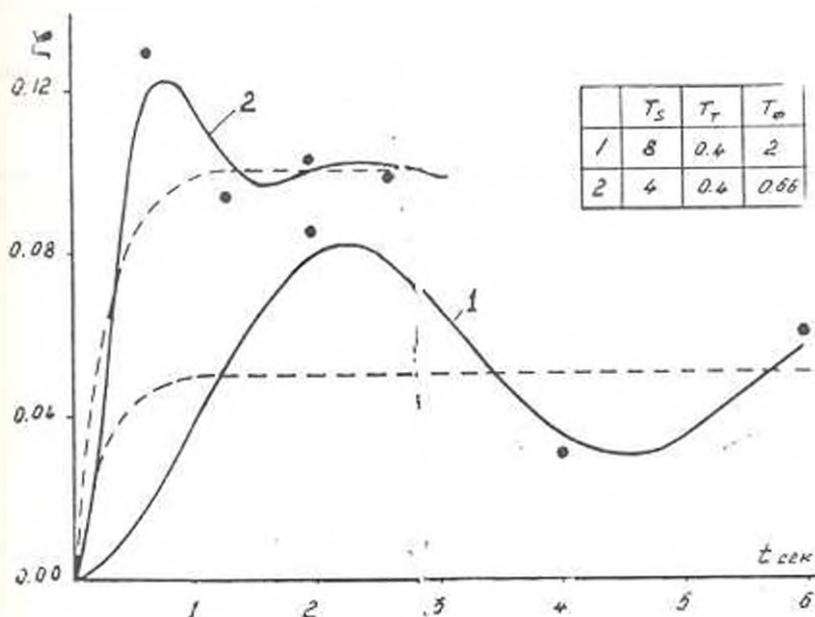


Рис. 2. Результаты расчета упругого гидравлического удара

В табл. 1 приведены результаты аналогичных расчетов для наибольшего повышения давления.

Приведенные в таблице примеры расчетов представлены в порядке увеличения длин трубопроводов и пьезоров и охватывают диапазон возможных изменений параметров.

Как видно, предложенные уравнение и формула для расчета гидравлического удара дают качественно правильную картину переходного процесса, а результаты расчетов вполне удовлетворительны для практических целей. Сказанное позволяет предложить уравнение (3) для аналитических исследований переходных процессов в гидроагрегатах, а формулу (7)—для расчета гидравлического удара непрерывно по времени.

Գ. Խ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ

ԱՌԱՋՊԱԿԱՆ ՀԻՄՐԱՎԻԿԱԿԱՆ ՀԱՐՎԱԾԻ ԳԻՖԵՐՆՆՑԻԱԿ  
ՀԱՎԱՍԱՐՄԱՆ ՄՈՏԱՎՈՐ ԼՈՒՆՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

## Ա մ փ ո փ ու մ

Առաջարկվում է հիդրավիկական հարվածի երկրորդ կարգի դժային գիֆերնեցիայի հավասարում, որտեղ հաշվի է առնված ջրի և խողովակաշարի առաձգական հատկությունները:

Հիդրավիկական հարվածի առաջարկված (3) հավասարումը կարելի է օգտագործել հիդրոտարեզամներում անցումային պրոցեսների անսահման առումնասիրման և մաթեմատիկական մոդելավորման համար:

Ստացված է բանաձև հիդրավիկական հարվածը հաշվելու համար խողովակաշարում ճնշման փոփոխումներն ըստ ժամանակի հաշվելու համար առաջարկվում է (7) բանաձևը:

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Поппельман Н. К. Аналитическое выражение уравнений гидравлического удара при закрытии в конце трубопровода. «Известия АН АрмССР (серия техн. науки)», т. XIV, № 3, 1961.
2. Алоян С. Г. Об учете влияния гидравлического удара на переходный процесс ГЭС энергосистемы. «Известия АН АрмССР» (серия техн. науки), т. XX, № 6, 1967.
3. Электродинамическое моделирование энергетических систем, под ред. акад. Костенко М. П. Изд. АН СССР, М.—Л., 1959.
4. Овсепян К. Х. Запоздывание изменения крутящего момента гидротурбины при параллельной работе агрегата. Труды АрмНИИВНИИГ, т. VI.

ГИДРАВЛИКА

С. А. АНАНЯН

ИЗМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПОЧВЕННОГО  
 РАСТВОРА И ГРУНТОВЫХ ВОД ПРИ  
 КАПИТАЛЬНЫХ ПРОМЫВКАХ

Проблема освоения засоленных земель для развития сельского хозяйства в настоящее время приобретает большое практическое значение. В этой связи в статье дается решение одной задачи « процессе изменения минерализации почвенного раствора и грунтовых вод при капитальных промывках. Аналогичные задачи на практике решаются при помощи известных дифференциальных уравнений физико-химической гидродинамики (уравнение массопереноса) [1—2]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial c}{\partial x} \right) - u \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial c}{\partial t}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \alpha (c_0 - c). \quad (2)$$

Особенность решения данной задачи заключается в том, что область фильтрации разбивается на две зоны, исходя из физической картины процесса.

Первая зона расположена между поверхностью почвы и уровнем грунтовых вод (зона аэрации), а вторая зона расположена ниже уровня грунтовых вод и простирается на большие глубины (зона грунтовых вод).

Предполагаем, что при промывке уровень грунтовых вод поднимается с постоянной скоростью (начало координат расположено на поверхности почвы, положительная ось  $x$  направлена сверху вниз).

Из сказанного видно, что мощность зоны аэрации в течение времени изменяется, благодаря изменению высоты уровня грунтовых вод, которая одновременно является границей двух зон фильтрации. При решении задачи принимаем, что во время капитальных промывок изменения минерализации почвенного раствора в зоне аэрации происходят, во-первых, в результате растворения новых порций солей в почве, а во-вторых, действием промывной воды, которая подается с поверхности почвы. Принимаем, что в зоне аэрации диффузионные переносы солей  $\left| \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial c}{\partial x} \right) \right|$  по сравнению с фильтрационным переносом  $\left( u \frac{\partial c}{\partial x} \right)$  малы.

и ими можно пренебречь. В зоне грунтовых вод, наоборот, принимаем, что процесс растворения солей в основном уже имел место в предыдущие периоды времени, и им можно пренебречь. Перенос солей в этой зоне происходит, главным образом, под действием диффузионных процессов, так как скорости фильтрации малы. Это, конечно, в известной степени является допущением.

В силу сказанного, отбрасывая из общих дифференциальных уравнений (1) — (2) диффузионный член, получаем дифференциальное уравнение физико-химической гидродинамики для зоны аэрации. Отбрасывая из этих же уравнений члены, описывающие процесс растворения  $\alpha(c_n - c)$  и фильтрационные переносы солей и  $\frac{\partial c}{\partial x}$ , получаем дифференциальное уравнение физико-химической гидродинамики для зоны грунтовых вод, т. е.

$$\frac{\partial c_1}{\partial t} = -u \frac{\partial c_1}{\partial x} + \alpha(c_n - c); \quad (3)$$

$$\frac{\partial c_2}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c_2}{\partial x^2}, \quad (4)$$

где  $c_1(x, t)$  и  $c_2(x, t)$  — концентрация почвенного раствора в зонах аэрации и грунтовых вод, соответственно;  $c_n$  — концентрация предельного насыщения;  $u$  — скорость фильтрации в зоне аэрации (принимаемая постоянной);  $\alpha$  — коэффициент скорости растворения;  $D$  — коэффициент конвективной диффузии (принимаемый постоянным);  $x$  — вертикальная ось;  $t$  — время.

Таким образом, для уравнений (3) и (4) можно сформулировать следующие начальные и граничные условия:

$$t=0 \quad c_1 = \varphi_1(x), \quad c_2 = \varphi_2(x); \quad (5)$$

$$t > 0 \quad x=0, \quad c_1 = c_p = \text{const}; \quad (6)$$

$$t > 0 \quad x \rightarrow \infty, \quad \frac{\partial c_1}{\partial x} = 0; \quad (7)$$

$$c_1(x_0 - vt) = c_2(x_0 - vt); \quad (8)$$

$$t_1 = t - F(x_0); \quad F(x_0) = \frac{x_0}{u}, \quad (9)$$

где  $x_0$  — начальная глубина (до промывки) залегания грунтовых вод;  $F(x_0)$  — время добегающего солевого фронта до плоскости  $x_0$ ;  $v$  — скорость подъема уровня грунтовых вод;  $c_p$  — концентрация солей в промывной воде.

Условие (8) выражает равенство концентраций почвенного раствора и грунтовых вод в любой момент времени, считая от начала подъема

уровня грунтовых вод. Нетрудно заметить, что условия (5)–(9) непосредственно вытекают из физической сущности поставленной выше задачи. Условия баланса солей на движущейся границе не ставятся, так как это в определенной степени обусловлено теми допущениями, о которых было сказано выше.

Решение дифференциальных уравнений (3)–(4) с условиями (5)–(8) можно рассматривать как первое приближение на пути решения более общей задачи.

В начальных этапах развития фильтрационных процессов, когда фронт солепереноса еще не доходит до уровня грунтовых вод, т. е.  $x < x_0$ ,  $\{t < t^*(x_0)\}$ , достаточно будет исследовать только уравнение (3). При этом необходимо рассматривать две области:

*область перед фронтом солепереноса* (область влияния начальных условий);

*область за фронтом солепереноса* (область влияния граничных условий).

В уравнении (3) сделаем замену переменных, полагая

$$c_1 - c_n = H(x, t)e^{-at(x)}. \quad (10)$$

Тогда (3) можно представить в следующем виде:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -u \frac{\partial H}{\partial x}. \quad (11)$$

Начальные и граничные условия для функции  $H(x, t)$  соответственно будут:

$$t = 0 \quad H = [\varphi_1(x) - c_n] e^{at(x)}; \quad (12)$$

$$x = 0 \quad H = c_p - c_n. \quad (13)$$

Общее решение уравнения (11) с учетом (12) и (13) можно представить в следующем виде:

$$c_1 = c_n + |\psi[t - F(x)]| e^{-at(x)}. \quad (14)$$

Значение произвольной функции  $\psi$  для каждой области определяется отдельно.

а) Область перед фронтом солепереноса.

Для этой области  $|\psi[t - F(x)]|$  определяется из начальной эпюры распределения солей в почвенном растворе

$$c_1 = c_0 + \varphi_1(x - ut)e^{-at} - c_n e^{-at}. \quad (15)$$

В частном случае, при постоянном значении  $\varphi_1(x) = c_0$ , будем иметь:

$$c_1 = c_n + (c_0 - c_n)e^{-at}. \quad (16)$$

б) Область позади фронта солепереноса.

Значение функции  $|\psi[t - F(x)]|$  для этой области определяется из гра-

ничного условия на поверхности почвы, т. е.

$$x = 0 \quad \psi(t) = c_p - c_n. \quad (17)$$

С учетом сказанного, решение уравнения (3) можно представить в виде

$$c_1 = c_n + (c_p - c_n) e^{-at}. \quad (18)$$

Когда фронт солепереноса достигает уровня грунтовых вод, изменения концентрации почвенного раствора в зоне аэрации и минерализации грунтовых вод можно определить из уравнений (3) и (4) после их совместного решения. При этом для уравнения (4) граничным условием (в момент времени  $t = x_0/a$ ) будет зависимость (16), а  $\varphi_1(x)$ , определяемое зависимостью (5), будет начальным условием. При  $t > x_0/a$  мощность зоны аэрации изменяется по закону

$$x = x_0 - v[t - F(x_0)]. \quad (19)$$

На поверхности  $x = x_0$  выражение (15) примет следующий вид:

$$c_1 = c_n + e^{-at} \varphi_1(x_0 - at) - c_n e^{-at} = K(t), \quad (20)$$

где  $\varphi_1(x_0 - at)$  значение функции  $c_1$  при  $t = 0$  (в частном случае можно принять постоянной, равной  $\varphi_1(x) = \varphi_2(x) = c_0$ ). Это и будет окончательное выражение граничного условия для уравнения (4) в момент времени  $t = x_0/a$ .

Решение дифференциального уравнения (4) при начальном и граничном условиях (5) и (20) будем искать в виде суммы двух функций, т. е.

$$c_2(x, t) = \gamma_1(x, t) + \gamma_2(x, t) \quad (21)$$

при следующих граничных и начальных условиях:

$$x = x_0 \quad \gamma_1(x_0, t) = 0; \quad (22)$$

$$t = 0 \quad \gamma_2(x, 0) = \varphi_2(x); \quad (23)$$

$$x = x_0 \quad \gamma_2(x_0, t) = k(t); \quad (24)$$

$$t = 0 \quad \gamma_2(x, t) = 0. \quad (25)$$

Окончательно, решение дифференциального уравнения (4) с учетом условия (22)–(25) можно представить в следующем виде [3]:

$$c_2(x, t) = \frac{1}{2a\sqrt{\pi t}} \int_0^{\infty} \left\{ \exp \left[ -\frac{(x-x_0-\tau)^2}{4a^2 t} \right] - \exp \left[ -\frac{(x-x_0+\tau)^2}{4a^2 t} \right] \right\} \varphi_2(\tau) d\tau + \\ + \frac{x-x_0}{2a\sqrt{\pi}} \int_0^t \exp \left[ -\frac{(x-x_0)^2}{4a^2(t-\tau)} \right] \cdot (t-\tau)^{-3/2} k(\tau) d\tau; \quad (26)$$

при  $\varphi_2(\xi) = c_0$

$$c_2(x, t) = \frac{2c_0}{\sqrt{\pi}} \left[ \Phi_1\left(\frac{x-x_0}{2a\sqrt{t}}\right) - \Phi_2\left(\frac{x-x_0}{2a\sqrt{t}}\right) \right] + \frac{x-x_0}{2a\sqrt{\pi}} \int_0^t \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2}{4a^2(t-\tau)}\right] \times (t-\tau)^{-3/2} K(\tau) d\tau, \quad (27)$$

где  $\varphi_2(\xi)$  и  $K(\tau)$  определяется из уравнений (5) и (20);  $a = \sqrt{D}$ . В последующие моменты времени  $t > x_0/v$ , т. е. когда начнется подъем уровня грунтовых вод со скоростью  $v$ , решение дифференциального уравнения будем искать по изложенному выше методу при граничном условии (8), т. е.

$$c_1 = c_2 = c_n + (c_p - c_n) \exp\left[-\frac{x_0 - vt + vx_0/v}{a}\right], \quad (28)$$

и начальном условии (26).

Для решения уравнения (4) введем новую переменную

$$y = x - x_0 - vt + (x_0 - vt), \quad (29)$$

а функцию  $c_2(x, t)$  будем искать в виде

$$c_2(x, t) = A(y, t) \exp\left[-\frac{v}{2a^2}(y + vt/2)\right]. \quad (30)$$

Подставляя (30) в (4), нетрудно показать, что  $A(y, t)$  удовлетворяет уравнению

$$\frac{\partial A}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 A}{\partial y^2}. \quad (31)$$

Нетрудно заметить, что при переходе от переменной  $x$  к переменной  $y$  подвижную границу (уровень грунтовых вод) условно превращаем в неподвижную. Это и позволяет решение уравнения (31) искать по изложенному выше методу.

Начальное условие  $A(y, x_0/v)$  и граничное условие  $A(0, t)$  для функции определяется из подстановки (29)

$$A(y, t) = c_2(x, t) \exp\left[\frac{v}{2a^2}(y + vt/2)\right] \quad (32)$$

после замены  $c_2(x, t)$  соответствующими выражениями (26), (28).

Решение дифференциального уравнения (31) ищем в виде суммы двух неизвестных функций, т. е.

$$A(y, t) = A_1(y, t) + A_2(y, t), \quad (33)$$

при следующих начальных и граничных условиях:

$$A_1(y, x_0/v) = A(y, x_0/v); \quad (34)$$

$$A_1(t, t) = 0; \quad (35)$$

$$A_2(y, x_0/u) = 0 \quad (36)$$

$$A_3(0, t) = A(0, t). \quad (37)$$

Окончательное решение можно представить в следующем виде:

$$A(y, t) = \frac{1}{2a\sqrt{t - \frac{x_0}{u}}} \int_0^{\bar{z}} \left\{ \exp \left[ -\frac{(y' - \bar{z})^2}{4a^2 \left( t - \frac{x_0}{u} \right)} \right] \right. \\ \left. \exp \left[ -\frac{(y + \bar{z})^2}{4a^2 \left( t - \frac{x_0}{u} \right)} \right] \right\} A(\bar{z}) d\bar{z} + \frac{y}{2a\sqrt{\pi}} \int_0^{\bar{z}} A(0, \tau) \left( t - \tau - \frac{x_0}{u} \right)^{-3/2} \times \\ \times \exp \left[ -\frac{y}{4a^2 \left( t - \tau - \frac{x_0}{u} \right)} \right] d\tau, \quad (38)$$

где  $A(0, \tau)$  определяется из выражения

$$A(0, \tau) = \left[ c_n + (c_p - c_n) \exp \left( -\tau \frac{x_0 - v\tau + v \frac{x_0}{u}}{u} \right) \right] \exp \left( \frac{v^2}{4a^2} \tau \right), \quad (39)$$

а  $A\left(\bar{z}, \frac{x_0}{u}\right)$  из выражений (26) или (27) и (30) после замены  $y$  на  $\bar{z}$ :

$$A\left(\bar{z}, \frac{x_0}{u}\right) = \exp \left[ \frac{v}{2a^2} y + \frac{v^2}{4a^2} \frac{x_0}{u} \right] \left\{ \frac{2c_0}{\sqrt{\pi}} \left[ \Phi_1 \left( \frac{\bar{z}}{2a\sqrt{\frac{x_0}{u}}} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \Phi_2 \left( \frac{\bar{z}}{2a\sqrt{\frac{x_0}{u}}} \right) \right] + \frac{\bar{z}}{2a\sqrt{\pi}} \int_0^{\bar{z}} \exp \left[ \frac{\bar{z}^2}{4a^2 \left( \frac{x_0}{u} - \tau \right)} \right] \cdot \left( \frac{x_0}{u} - \tau \right)^{-3/2} K(\tau) d\tau \right\}. \quad (40)$$

После перехода от переменной  $y$  к переменной  $x$ :

$$x = y + x_0 + v \frac{x_0}{u} - vt; \quad (41)$$

$$x = x_0 + y. \quad (42)$$

Окончательное решение задачи (при принятом экспоненциальном законе распределения концентраций  $\varphi_{\text{вз}}(x) = c_{\text{вз}} \exp(x_1 y, x)$ , где  $x_1$  и  $x_2$  — постоянные, которые определяются из начальной кинетики распределения концентраций в зонах аэрации и грунтовых вод) можно представить в следующем виде:

$$c_2(x, t) = c_2 f(z, T), \quad (13)$$

где

$$\begin{aligned}
 f(z, T) = & \frac{p}{2\sqrt{\pi T}} \exp(b^2 + 2s^2rz + s^2r^2T) \int_0^x \exp(-2srx) \times \\
 & \times \left\{ \exp\left[-\frac{(sz + srT - x)^2}{T}\right] - \exp\left[-\frac{(sz + srT + x)^2}{T}\right] \right\} \times \\
 & \times \left\{ \exp(-2bx) \left| 1 + \Phi(x-b) \right| - \exp(2bx) \left| 1 - \Phi(x+b) \right| \right\} dx + \\
 & + \frac{\exp\left(-\frac{s^2z^2}{T}\right)}{\sqrt{\pi}} \int_0^1 \left\{ \frac{z + 2rT}{\sqrt{T(T+1)}} \operatorname{sech} \left[ \frac{(z + 2rT)^2 - s^2x^2}{T(T+1)} \right] \left| 1 - \Phi\left(\frac{z + 2rT}{\sqrt{T(T+1)}}sx\right) \right| + \right. \\
 & + \left. \frac{z}{\sqrt{T(T+1)}} \operatorname{sech} \left[ \frac{z^2}{T(T+1)} - s^2x^2 \right] \left| 1 + \Phi\left(\frac{z}{\sqrt{T(T+1)}}sx\right) \right| \right\} \left\{ 1 - \right. \\
 & - \left. \exp\left(-\gamma + \gamma \frac{Tx^2}{T+1-x^2}\right) \cdot \left| 1 - q \exp\left(-k \frac{Tx^2}{T+1-x^2}\right) \right| \right\} (T + \\
 & + 1 - x^2)^{-1/2} x dx + \frac{z + rT}{\sqrt{\pi T}} \operatorname{sech} [2s^2r(z + rT - r^2s^2)] \times \\
 & \times \int_0^1 \exp\left[-(z + rT)^2 \frac{s^2}{Tx} - r^2s^2Tx\right] \left| 1 + (u-1) \exp[-\gamma(1-r) + \right. \\
 & \left. + \gamma rT(1-x)] \right| x^{-s/2} dx; \quad (14)
 \end{aligned}$$

$$t > \frac{x_0}{u}; \quad x > x_0 - v \left( t - \frac{x_0}{u} \right); \quad z = \frac{x}{x_0} - 1; \quad T = \frac{u}{x_0} t - 1;$$

$$q = \frac{c_1(0,0)}{c_n}; \quad p = \frac{c_2(x_0,0)}{c_n}; \quad \bar{u} = \frac{c_0}{c_n}; \quad r = \frac{v}{u}; \quad s^2 = \frac{u x_0}{4D};$$

$$\gamma = 2 \frac{x_0}{u}; \quad k = \alpha_1 x_0; \quad b = \alpha_2 x_0 \sqrt{\frac{D}{u x_0}};$$

Интегралы, входящие в (14), решены численным методом на ЭВМ при значениях параметров:  $x_0 = 3\text{ м}$ ;  $q = 0.6$ ;  $p = 0.3$ ;  $u = 0.01 \text{ м/сут}$ ;  $r = 0.5$ ;  $s = 0.47$ ;  $\gamma = 0.1$ ;  $k = 1.48$ ;  $b = 0.72$ . — характерных для условий Араратской равнины.

В таблице для примера приведены значения  $f(z, T)$  для различных периодов времени для одной характерной точки ( $x = 2.8 \text{ м}$ ).

$t$ , сутки	$x$ , м	$f(z, T)$
120	2.8	0.864
140	2.8	0.71
180	2.8	0.58
200	2.8	0.52

Аналогичные расчеты были выполнены и при других значениях параметров, глубины и времени.

При значениях  $(z+rT) > 3$ ,  $T < 0,4$  решение задачи можно представить в следующем виде:

$$c_2(x, t) = \frac{c_2(x_0, 0)}{2\sqrt{\pi}} \cdot \frac{e^{-s(z+rT)^2 - r^2 s^2 T}}{s(z+rT)+b} + \frac{c_1(0, 0)\sqrt{T+1}}{sz\sqrt{\pi}} e^{-k \frac{s^2 x}{T+1}} + \frac{2c_0 s(z+rT)}{T\sqrt{\pi}} e^{-s^2(z^2 - r^2 T^2) - r^2 s^2(T-t)} \left[ 1 + \left( \frac{c_p}{c_0} - 1 \right) e^{-\gamma t(1+r)} \right]. \quad (15)$$

При  $z \gg 1$ ,  $rT$ ;  $T \ll 1$  решение задачи сильно упрощается и принимает вид

$$c_2(x, t) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{e^{-s^2 x^2}}{sz} \left\{ -\frac{c_2(x_0, 0)}{2} + c_1(0, 0)e^{-k} + \frac{2c_0}{T} s^2 z^2 \right\}. \quad (16)$$

По формуле (16) нетрудно определить изменения концентрации в зоне грунтовых вод при капитальных промывках, а изменения концентрации почвенного раствора определяются по формулам (15)–(16).

© ИИЛ им. В. Маркса

Получено 23.XII.1975

Ս. Ա. ԱՆՆԻՆԻՆ

ԲՆԱՀԱՊԱՅԻՆ ԼՈՒՅՈՒՅՐԹԻ ԵՎ ԳԵՏՆԱԶԳՐՈՐԻ ՀԱՆՔԱՑՈՒՄԱՆ  
ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԿԱՐԻՏԱԿ ԵՎ ԱՑՈՒՐՆԵՐԻ ՃԱՄԱՆԱԿ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Հողվածում արված է ֆիզիկա-քիմիական հիդրոքինամիկայի մի գործնական խնդրի լուծումը: Խնդիրը վերաբերվում է բնահողում աղերի լուծման հարցին և ֆիլտրացիոն պրոցեսների ժամանակ բնահողային լուծույթի կոնցենտրացիայի ու ղեանաչրերի հանրացման փոփոխությանը:

Լուծված խնդրի ստանձնահատկությունը կայանում է նրանում, որ հաշվի են առնված ղեանաչրերի մակարդակի փոփոխությունները կապիտալ լվացումների ժամանակ, մակարդակ, որը սահման է ճանդիտանում ֆիլտրացիայի

երկու զոնաների միջև: Առաջնում են բաժնաձևեր, որոնց օգնությամբ կարելի է սրբել բնահողային լուծույթի կոնցենտրացիաները և գեանաջրերի հանքացումները ֆիտոբացիայի ախտաբույժի ցանկացած կետում ժամանակի ցանկացած պահին:

ЛИТЕРАТУРА

1. Веригин Н. Н. Некоторые вопросы химической гидродинамики, представляющие интерес для мелиорации и гидрогеологии. Известия АН СССР, ОТИ, 1953, № 10.
2. Авьянов С. Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ними в Европейской части СССР. В кн.: «Оршаемое земледелие в Европейской части СССР», Изд. «Колос», М., 1965.
3. Титов А. Н., Самарский Э. А. Уравнения математической физики. М., 1972.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

С. Г. ШАГЦЯН

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ  
9-ЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА В МАСШТАБЕ 1 : 50

Целью настоящей статьи является обобщение результатов экспериментальных исследований основных динамических характеристик девятиэтажного железобетонного каркасно-панельного жилого дома и модели в масштабе 1 : 50. Эти исследования мелкомащтабной модели были проведены как предпосылочные, для подготовки к более фундаментальным исследованиям крупномасштабной модели (в масштабе 1 : 4) вышеуказанного дома на сейсмозащитном воздействии.

Экспериментальные работы проведены по теории подобия твердых деформируемых тел, применительно к моделированию строительных конструкций, разработанной академиком АН АрмССР А. Г. Назаровым [1]. Согласно этой теории моделирование элементов конструкций можно осуществить по принципу простого и расширенного, а также поэлементного или статистического подобия.

При расширенном подобии область применения модельных материалов очень обширна. Для изготовления мелкомащтабных моделей могут быть применены материалы с различными физико-механическими свойствами: металлы, растворы, гаша, целлулоид, оргстекло и др. [2].

Исходя из вышеуказанной теории подобия, нами была подготовлена модель девятиэтажного жилого дома, проект которого был разработан институтом «Армгоспроект». Конструкция здания—железобетонный каркас из сборных крестообразных колонн, высотой в два этажа, железобетонные сборные поперечные прямоугольные и продольные тавровые ригели из бетона марки 300, круглопустотные панели перекрытия и напольные панели вращенная из легкого бетона марок 200 и 75.

Модель почти является геометрической копией оригинала (с небольшими отклонениями—без перегородок и наружных ограждений) с уменьшенными размерами.

Аксонметрическая схема и план модели приведены на рис. 1.

Масштаб модели нами выбран 1 : 50, материал модели—оргстекло. При применении других высокопрочных модельных материалов для получения одинакового ускорения модели и оригинала, по предварительным расчетам, необходима компенсация собственной массы модели более чем в 35 раз (от массы модели), что значительно затрудняет проведение эксперимента из-за отсутствия необходимой площадки

для размещения или подвески дополнительных грузов. Исходя из этих соображений, а также имея в виду другие ценные качества оргстекла (точная и легкая обработка, небольшая объемная масса, малый модуль упругости и др.), для изготовления модели нами выбрано оргстекло.

Проведены испытания образцов из оргстекла. Его основные физико-механические показатели, по данным испытаний, приведены в табл. 1.

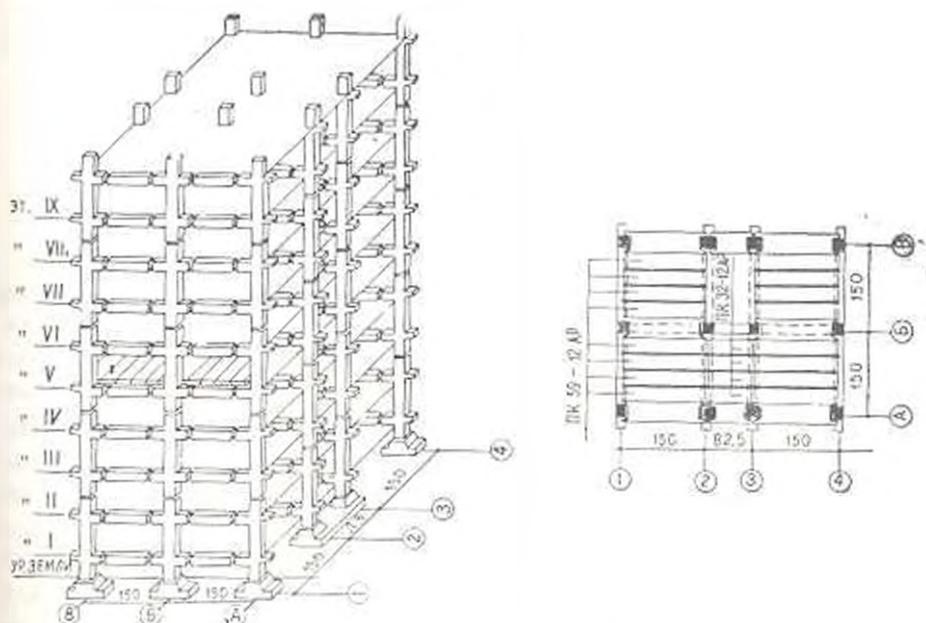


Рис. 1. Аксонометрия каркаса и план типового этажа. (Перекрытие над лестничной клеткой монолитное. Условно показано только перекрытие над 4-ым этажом. Все размеры в сантиметрах.)

Таблица 1

Температура, °С	Предел прочности		Модуль упругости $E$ , кг/см <sup>2</sup>	Удельная масса, г/см <sup>3</sup>
	на растяжение $R_p$ , кг/см <sup>2</sup>	на сжатие (кубиковая) $R_{сж}$ , кг/см <sup>2</sup>		
20	350 : 400	1350 : 1450	28000 : 30000	1,15 : 1,20

По результатам испытаний образцов из оргстекла на осевое сжатие, построен график зависимости коэффициента продольного изгиба  $\varphi$  от гибкости  $l_0/b$  (рис. 2), который аппроксимируется следующими выражениями:

$$\varphi = 1,55 \left( \frac{l_0}{b} \right)^{-1,1} \quad \text{при } 3 \leq \frac{l_0}{b} < 11 \text{ (кривая 1 рис. 2);}$$

$$\varphi = 21,7 \left( \frac{l_0}{b} \right)^{-1,5} \quad \text{при } 11 \leq \frac{l_0}{b} < 15 \text{ (кривая 2 рис. 2).}$$

График  $\varphi$  для оргстекла значительно отличается от аналогичных графиков для стали, бетонов и дерева. Если при проектировании железобетонных, деревянных и металлических конструкций по СНиП влияние продольного изгиба в расчетах учитывается при значениях гибкости

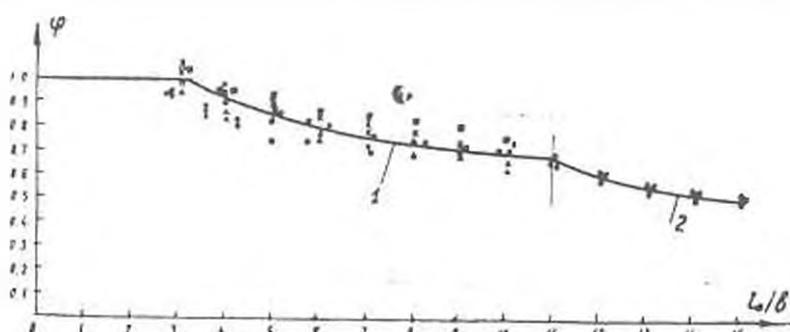


Рис. 2. График зависимости коэффициента продольного изгиба ( $\varphi$ ) для оргстекла от гибкости ( $l_0/b$ ). Условные обозначения размеров образцов ( $b \times h$ ): ● —  $70 \times 85$  мм; ▲ —  $50 \times 50$  мм; × —  $60 \times 60$  мм; □ —  $80 \times 80$  мм.

колонн  $\frac{l_0}{b} > 8$ , то в расчетах моделей из оргстекла влияние продольного изгиба необходимо учесть, начиная уже с гибкости  $\frac{l_0}{b} > 3$ .

Выбор множителей подобия. Расчет пригрузки модели. Масштаб модели или множитель геометрического подобия ( $\alpha = 0,02$ ) выбран, в основном, исходя из стандартных размеров оргстекла, а также из условия установки на перекрытиях вибраторов очень малой мощности [3].

Согласно теории расширенного подобия модули упругости  $E'$  и  $E$  модели и оригинала (здесь и далее все заштрихованные величины относятся к модели) связаны соотношением:

$$E' = \frac{\beta}{\gamma} E,$$

где  $\beta$  — множитель подобия для напряжений;  $\gamma$  — множитель подобия для деформаций.

Принимаем  $\gamma = 1$ , что всегда можно обосновать при малых деформациях [1]. Тогда множитель подобия для напряжений будет:

$$\beta = \frac{E'}{E} = \frac{30000}{315000} \approx 0,1.$$

Множитель подобия для плотности  $\delta$  равен:

$$\delta = \frac{\Delta'}{\Delta} = \frac{1,2}{2,4} = 0,5,$$

где  $\Delta'$  и  $\Delta$  — удельные массы оргстекла и железобетона.

Множитель подобия для времени  $\xi$  определяется по формуле:

$$\xi = \alpha \sqrt{\frac{\gamma \delta}{\beta}}$$

При  $\alpha=0,02$ ;  $\beta=0,1$ ;  $\gamma=1,0$  и  $\delta=0,5$  находим:

$$\xi = 0,02 \sqrt{\frac{1 \cdot 0,5}{0,1}} = 0,045.$$

Объемные силы  $K'$  и  $K$  модели и оригинала связаны соотношением:

$$K' = \frac{\alpha}{\lambda} K$$

$$\text{или } K' = \frac{0,1}{0,02} K = 5K.$$

При массе модели 8 кг, пригрузка составляет  $4 \times 8 = 32$  кг.

Пригрузка осуществлена в виде прямоугольных стальных листов, подвешенных в уровнях перекрытий модели. Такое решение исключает влияние массы пригрузки на динамические характеристики модели.

**Испытательный стенд. Измерительная аппаратура.** Для испытания модели на динамические и статические воздействия нами был сконструирован специальный металлический стенд, размерами 1750×850 мм, высотой 750 мм, на четырех трубчатых стойках диаметром 75 мм. При испытаниях модель (фундаментная плита) была жестко прикреплена к стенду. С помощью съемных кронштейнов и приспособлений на стенде можно было произвести различные виды испытаний и операций. При статических испытаниях с помощью раздвижной плиты, системы тросов, роликов и др. можно осуществлять синхронное приложение (как жестяные) горизонтальных нагрузок как одного направления так и знакопеременных—в 25 точках модели (для получения смещений по II и III формам колебаний).

При динамических испытаниях вынужденные колебания возбуждались с помощью двух специально изготовленных вибраторов (с массами маятников 300 и 33 граммов). Первый, сравнительно мощный, вибратор использован с целью получения I и II форм колебаний, второй—III формы.

Напряжения в разных сечениях колонны по высоте определялись с помощью электрических тензодатчиков сопротивления, для измерения смещений упругой оси модели были сконструированы миниатюрные датчики электромагнитного действия. В качестве регистрирующей аппаратуры использованы осциллографы ЦОБ—12М, СС—1, усилитель 8—АНЧ—7М, звукогенератор ГЗ—34 и др.

Общий вид стенда с моделью, смонтированной на нем, показан на рис. 3.

**Динамические испытания модели.** При динамических испытаниях были определены периоды свободных и вынужденных колебаний II,

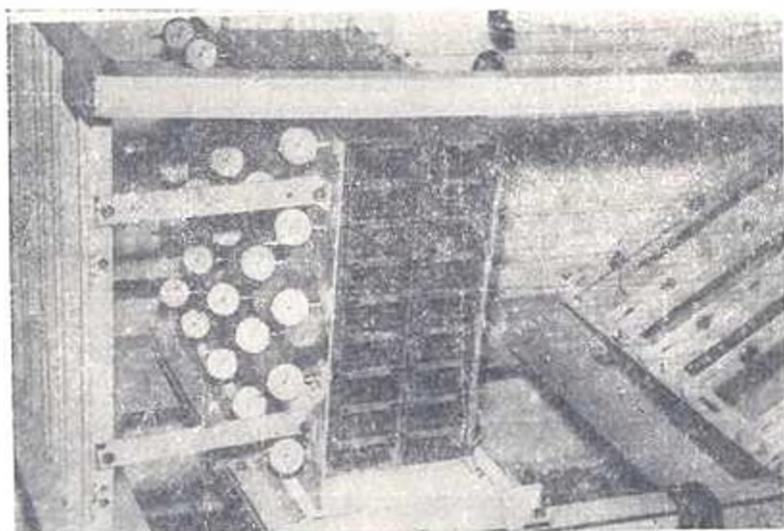


Рис. 3. Обшири вид стенда с моделью.

II и III гонов), смещения по высоте, скорости и ускорения колебаний, а также логарифмический декремент колебаний модели. Определен также период крутильных колебаний модели.

Свободные колебания модели возбуждались ударами в уровне чердачного перекрытия и мгновенным обрезанием растянутой через ролики нити. Периоды свободных колебаний получились:

в поперечном направлении  $T''_0 = 0,0398 \text{ сек} (f = 25,1 \text{ Гц})$ ;

и продольном направлении  $T''_0 = 0,0414 \text{ сек} (f = 24,0 \text{ Гц})$ ;

крутильных колебания  $T''_{кр} = 0,034 \text{ сек} (f = 29,4 \text{ Гц})$ .

Периоды свободных колебаний определялись также теоретическим путем, при этом модель, как самостоятельное здание, была рассчитана на сейсмическое воздействие, согласно СНиП II—А.12—69. После обработки данных расчета, полученных на ЭВМ, выведены следующие расчетные величины периодов в поперечном направлении  $T_0 = 0,044 \text{ сек}$ , в продольном направлении  $T_0 = 0,045 \text{ сек}$ , т. е. разница между экспериментальными и расчетными значениями периодов составляет всего 7—15%. Таким путем были сопоставлены также периоды высших форм колебаний, при этом разница не превышала 15—20%.

Далее сделана попытка по результатам экспериментальных (намеренных) значений периодов свободных колебаний модели  $T_0$  определить аналогичные значения для натурного здания ( $T_0$ ) с помощью множителя подобия для времени  $\xi$ . Согласно работы [1]  $T_0 = \xi T_0$ .

Таким образом, получаем периоды свободных колебаний для пагуры:

$$\text{в поперечном направлении } T_0 = \frac{T_0}{\xi} = \frac{0,0398}{0,045} = 0,89 \text{ сек.}$$

в продольном направлении  $T_0 = \frac{0,0414}{0,045} = 0,93$  сек.

Те же, по результатам расчетных величин периодов модели, будут:

в поперечном направлении  $T_0 = \frac{0,045}{0,045} = 1,0$  сек.

в продольном направлении  $T_0 = \frac{0,045}{0,045} = 0,98$  сек.

По расчетам института «Аргоспроект» периоды свободных колебаний исходного 9-этажного жилого дома в поперечном и продольном направлениях соответственно равны 0,94 и 1,10 сек; разница составляет от 5,3 до 15,5%. Как видно из вышеприведенного сравнения, множитель подобия времени  $\xi$  определен довольно точно.

Результаты испытаний модели сравнивались с результатами, полученными по формулам других авторов. В частности, в Японии [4] периоды свободных колебаний зданий до 20 этажей определяют по формуле:

$$T_0 = 0,095N,$$

где  $N$ —число этажей.

Следовательно, для 9-этажного дома  $T_0 = 0,095 \cdot 9 = 0,86$  сек.

При переходе к модели:

$$T'_0 = T_0 \xi = 0,86 \cdot 0,045 = 0,039$$
 сек.

То таким путем полученная величина периода почти что совпадает с измеренными и расчетными величинами периодов модели.

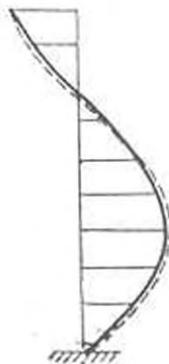
Аналогичные сопоставления были сделаны и для II и III форм колебаний. Разница и в этом случае была небольшая.

Далее определены смещения по высоте модели при I, II и III фор

I форма



II форма



III форма



Рис. 4. Формы колебаний модели в поперечном направлении: ————— экспериментальные; — — — — — расчетные.

мах колебаний. Изогнутые оси модели, соответствующие этим формам колебаний, показаны на рис. 4.

По развертке свободных затухающих колебаний был определен логарифмический декремент колебаний модели, который равнялся 0,22-и 0,30.

### Выводы

1. На мелкомасштабных моделях можно получить качественные данные о динамических характеристиках высотных зданий.

2. Экспериментами установлена правильность подбора множителей подобия по теории расширенного подобия. По результатам испытаний модели приблизительно можно судить о динамическом поведении натурного здания.

Институт «Армгоспроект»

Поступило 27.XII.1971

Ս. Գ. ՇԱԳԻՅԱՆ

### Զ-ՇԱՐԿԱՆԻ ԲՆԱԿԵԼԻ ՏԱՆ 1 : 50 ԽՆԱՇՏԱՐԻ ՄՈՂԵԼԻ ԳԵՆԱՄԻՈՒԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՓՈՐՉԱՐԱՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՐԿԻՏՈՒՆՔՆԵՐԸ

Ա ռ զ յ ը յ ը յ ը

Հոգեվածում բերված են Զ-Շարկանի բնակելի տան 1 : 50 մասշտաբի մոդելի փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները: Փորձարարական հետազոտությունների համար հիմք է ծառայում «Հայկականտիպի» ինտերաստի կոդից սշակված Զ-Շարկանի բնակելի տան նախագիծը: Խոցելը պատրաստվել է օրգանական ապակուց, նախորդ ուսումնասիրվել են օրգանական ապակու հիդրոկա-մեխանիկական հատկությունները: Խոցելացումը հատարվել է բառ պրոֆ. Ա. Նազարովի կողմից սշակված ընդլայնված եմանություն տեսության: Սրոշվել են մոդելի դինամիկական բնութագրերը, սրոնք համապատասխան եմանության գործադիրքների սիշոցով համեմատվել են իրական շենքի համանման բնութագրերի հետ: Փորձերի հիման վրա տրված են համապատասխան եզրակացություններ:

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Назаров А. Г. О динамическом подобии твердых деформируемых тел. Изд. АИ АрмССР, Ереван, 1965.
2. Писанок Н. I. Расчет строительных конструкций на основе моделирования. Госстройиздат, 1965.
3. Шагинян С. Г. Исследование сейсмостойкости крупноплощадных домов на моделях. Госстройиздат, М., 1967.
4. Биховский В. А., Завриен К. С. и др. Сейсмостойкие сооружения за рубежом. Госстройиздат, М., 1968.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Д. С. МЕЛКОНЯН, Д. К. РОСТОМЯН

ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК  
 ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА. НАБЛЮДАЕМОГО  
 В ПРИСУТСТВИИ ШУМОВ

При экспериментальном исследовании переходных процессов в динамических системах (например, для расчета параметров системы) действие помех часто делает практически невозможным определение характеристик переходного процесса на основании единственного опыта. В таких случаях прибегают к помощи метода накопления (усреднения) и необходимых для его реализации специализированных вычислительных устройств [1, 2], когда регистрируется ряд реакций исследуемой системы на детерминированные воздействия определенного типа, производится их наложение и выделяется средняя реакция.

Применение метода усреднения основано на принятии следующих допущений: 1) сигнал помехи обладает свойством аддитивности и его математическое ожидание равно нулю, 2) кривая переходного процесса не меняется от одной реализации к другой.

В настоящей заметке рассматривается принцип получения усредненных переходных процессов для более сложного случая, когда в результате подачи входных воздействий на систему ее параметры меняются, вследствие чего меняется от одной реализации к другой и кривая переходного процесса.

Для уяснения предлагаемого принципа усреднения разделим опыты по регистрации кривых переходных процессов на  $m$  серии, в каждой из которых на систему подается одна и та же последовательность из  $n$  входных непериодических функций  $x_{jk}$ , где  $j = 1, \dots, m$  — номер серии,  $k = 1, \dots, n$  — номер опыта в серии. То есть для входных функций справедливо соотношение

$$x_{(j+1)k} = x_{jk}, \quad (j = 1, \dots, m-1; k = 1, \dots, n) \quad (1)$$

Серия может строиться таким образом, чтобы в зависимости от номера опыта варьировались как форма входных непериодических функций, так и интервалы времени между ними. Однако необходимо, чтобы

$$t_{(j+1)k} - t_{jk} \leq T_k, \quad (2)$$

где  $T_k$  — время, за которое практически затухает переходный процесс.

вызванный подаче функции  $x_k$ .

В отношении исследуемой системы принимается: 1) система обладает свойством детерминированности и перед каждой из серий приводится в некоторое контролируемое начальное состояние; 2) закон по которому меняются параметры системы от одного опыта к другому, постоянен для каждой серии.

На этом основании, с учетом равенства (1), можно считать

$$y_{jk} = y_k, \quad (j=1, \dots, m; k=1, \dots, n) \quad (3)$$

где  $y_k$  — детерминированная составляющая выходной функции системы (переходной процесс) в  $k$ -ом опыте. То есть детерминированная составляющая переходного процесса зависит только от номера опыта и повторяется в каждой серии.

Выходная функция системы, следовательно, определяется как

$$z_{jk} = y_k + \xi_{jk}, \quad (4)$$

где  $\xi_{jk}$  — помеха.

Из соотношений (3) и (4) следует, что детерминированная составляющая процесса для каждого опыта может быть выделена путем наложения реализаций по сериям опытов в соответствии с равенством

$$y_{k(n,m)} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m z_{jk} = y_k + \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \xi_{jk}, \quad (k=1, \dots, n) \quad (5)$$

где  $y_{k(n,m)}$  — измеренная в результате наложения реакция кривая переходного процесса в  $k$ -ом опыте.

Если считать, что функции  $\xi_{jk}$  (при  $j = \text{const}$ ;  $k = \text{var}$ ) являются реализациями некоторого случайного процесса  $\xi_j(t)$ , то при описанных условиях отношение напряжения переходной составляющей процесса и помехи улучшается в  $\sqrt{m}$  раз.

Одной из областей, где в ряде случаев целесообразно использование рассмотренного способа усреднения, является исследование вызванных потенциалов (ВП) мозга. Хорошо известно, что метод усреднения в его обычном виде является основным приемом для выделения из спонтанной электрической активности мозга закономерных составляющих (переходных процессов), вызванных специфическими стимулами [3]. При этом, однако, не учитывается возможность изменения параметров системы, генерирующей ВП, в процессе ее стимуляции. Приводимые ниже данные показывают, что процесс изменения параметров системы может оказывать существенное влияние на ВП.

По данным экспериментов, описанных в работе [4], построены кривые (рис. 1) для двух объектов, которые показывают изменение максимальной амплитуды (А) вызванного потенциала в зависимости от номера опыта ( $k$ ). Значения А получены путем усреднения данных согласно рассмотренному способу по результатам пяти серий опытов.

Кривые показывают закономерное уменьшение амплитуды ВП в процессе стимуляции.

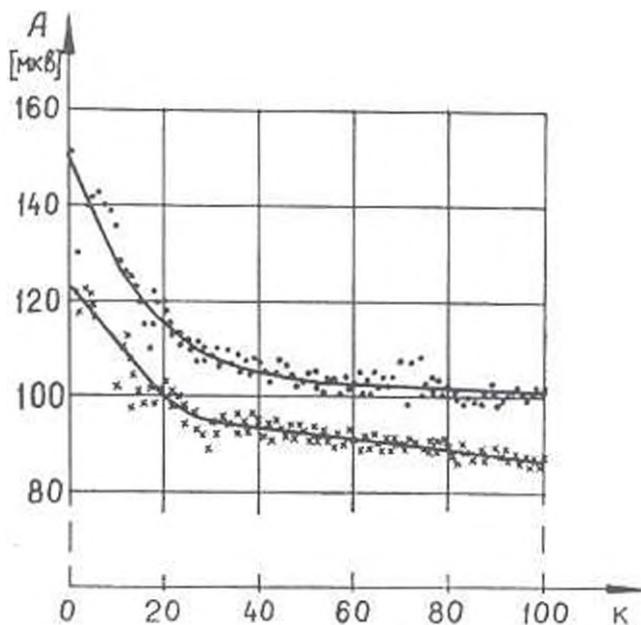


Рис. 1. Кривые зависимости усредненной максимальной амплитуды (А) кривой вызванного потенциала от номера опыта (k). Точками и крестами показаны усредненные значения параметра А, полученные на основании пяти серий экспериментов

Таким образом, в данном случае рассмотренный способ усреднения не только приводит к существенному уточнению характеристик усредненного переходного процесса, но и позволяет исследовать закономерности изменения параметров системы под влиянием входных воздействий.

Институт физиологии им. А. А. Орбели  
АН АрмССР

Получено 23 X 1971

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бендиц Дж. Пар.ол. 1 Изменение и анализ случайных процессов. Изд-во «Мир», М., 1971.
2. Clynes M. САТ computer. Instruments and Control Systems, 35, 8, 1962.
3. Кожеевник В. А., Мещерский Р. М. Современные методы анализа электроэнцефалограммы. Медицина, М., 1963.
4. Ростомян Д. К., Сеферян Е. С., Татаровски Т. Г. Об одном методе анализа динамики изменения вызванного потенциала. «Биологический журнал Армении», 26, Ю, 1973.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

С. Г. АРАКЛЯН

К ВОПРОСУ ДИНАМИЧЕСКОГО ИСПЫТАНИЯ ЗДАНИЙ С  
УЧЕТОМ ВЫСШИХ ФОРМ КОЛЕБАНИЙ

Одним из основных способов динамического испытания зданий и сооружений является резонансный метод, сущность которого заключается в том, что испытываемый объект с помощью установленной на нем специальной вибрационной машины вводится в резонансный режим по его формам колебаний в отдельности [1]. Однако в действительности здания и сооружения при динамических воздействиях, в частности при землетрясениях, находятся в более сложном напряженно-деформированном состоянии вследствие суперпозиции нескольких форм колебаний.

В связи с изложенным предложено испытание зданий и сооружений, для которых влияние высших форм колебаний существенно, проводить с помощью нескольких одновременно действующих вибростанов, установленных на различных уровнях по высоте объекта [2].

Такой подход к моделированию сейсмического воздействия позволяет, в определенной мере, приблизить работу сооружений к реальным условиям и экспериментально изучить напряженное состояние конструкций при наложении нескольких форм колебаний.

Испытания, проведенные указанным методом на модели стального каркаса 9-этажного здания, показали принципиальную возможность его применения на практике [3]. Они одновременно показали, что такие испытания связаны с рядом технических трудностей, вызванных тем, что практически не представляется возможным сообщить испытываемому зданию несколько гармонических воздействий, одновременно достигающих своих фиксированных значений, так как для ввода здания в устойчивый резонансный режим по данной форме колебаний требуется определенный, причем разный для каждой формы, отрезок времени.

Так, для ввода здания в устойчивый резонансный режим по первой форме колебания с момента пуска вибростанов в среднем требовалось 35 сек, а по второй и третьей формам соответственно 2 и 2,5 сек. Вследствие этого после включения всех вибростанов суммарный эффект динамического воздействия на здание будет являться результатом наложения различных воздействий со случайным сдвигом фаз между ними. Поэтому для оценки степени достоверности полученных результатов следует выявить влияние сдвигов фаз между отдельными воздействиями

по отдельным формам колебаний на суммарное воздействие в результате наложения.

Для аналитического изучения данной задачи, не пользуясь экспериментальные значения наибольших перемещений точек модели от каждой формы колебаний в отдельности, построены графики суммарных перемещений при их наложении по формуле:

$$y_i^0 = y_{1i} \sin(2\pi f_1 t + \epsilon_1) + y_{2i} \sin(2\pi f_2 t + \epsilon_2) + y_{3i} \sin(2\pi f_3 t + \epsilon_3),$$

где  $y_i^0$  — перемещение  $i$ -ой точки модели при суммировании I, II и III форм колебаний;

$y_{1i}, y_{2i}, y_{3i}$  — экспериментальные резонансные смещения  $i$ -ой точки модели соответственно по I, II и III формам колебаний;

$f_1, f_2, f_3$  — экспериментальные частоты колебаний модели соответственно по I, II и III формам;

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$  — сдвиги фаз;

$t$  — время.

Выбор данной формулы обусловлен тем, что каждая из вибраций возбуждает гармонические колебания.

Экспериментальные частоты первых трех форм свободных колебаний модели соответственно равны:

$$f_1=3 \text{ Гц}; f_2=10,5 \text{ Гц}; f_3=19,8 \text{ Гц}.$$

В табл. 1 приведены значения максимальных смещений точек модели, определенные расчетом при суммировании I, II и III форм колебаний с различными фазовыми сдвигами и при различных соотношениях

Таблица 1

Максимальные смещения точек модели (этажей) при различных соотношениях ее частот и различных значениях фазовых сдвигов

$f_3 : f_2 : f_1$	Этажи	Максимальные смещения в мм при значениях фазовых сдвигов $\epsilon_1, \epsilon_2$ и $\epsilon_3$																						
		0; 0; 0	0; 0; $\pi/5$	0; 0; $2\pi/5$	0; 0; $3\pi/5$	0; 0; $4\pi/5$	0; 0; $\pi$	0; $\pi/2$ ; $\pi/5$	0; $\pi/2$ ; $2\pi/5$	0; $\pi/2$ ; $3\pi/5$	0; $\pi/2$ ; $4\pi/5$	0; $\pi/2$ ; $\pi$	0; $3\pi/4$ ; $\pi/5$	0; $3\pi/4$ ; $2\pi/5$	0; $3\pi/4$ ; $3\pi/5$	0; $3\pi/4$ ; $4\pi/5$	0; $3\pi/4$ ; $\pi$	0; $\pi$ ; $\pi/5$	0; $\pi$ ; $2\pi/5$	0; $\pi$ ; $3\pi/5$	0; $\pi$ ; $4\pi/5$	0; $\pi$ ; $\pi$		
1:3:5,66	I	56	54	55	58	58	57	55	57	55	54	56	57	58	56	58	57	56	57	58	57	58	57	58
	IX	690	699	694	699	690	670	700	700	694	690	676	717	708	690	692	691	699	708	699	690	690	680	680
1:2,85	I	56	58	57	56	55	54	56	56	55	54	53	58	56	56	55	53	56	53	56	53	52	54	53
	IX	641	662	680	699	703	703	704	717	713	699	690	662	694	708	713	708	693	690	694	708	694	708	713
1:2:4	I	44	46	49	51	53	52	50	44	45	50	54	55	51	47	45	46	53	51	49	46	46	45	45
	IX	658	660	660	648	634	611	700	726	713	708	690	680	691	700	699	690	634	648	660	660	660	658	658

Примечание. Реальное соотношение частот модели—1 : 3,5 : 6,6; остальные соотношения выбраны для аналитической оценки.

частот собственных колебаний. Данные табл. 1 показывают, что при суммировании I, II и III гармоник, когда частоты относятся как  $f_1 : f_2 : f_3 = 1 : 3,5 : 6,6$ ;  $f_1 : f_2 : f_3 = 1 : 2,8 : 5$ ;  $f_1 : f_2 : f_3 = 1 : 2 : 4$ , наибольшая разница между максимальными смещениями точек модели при различных фазовых сдвигах соответственно доходят до 6; 10; 20%. При этом, чем больше разрыв между частотами отдельных форм колебаний, тем меньше влияние фазовых сдвигов.

В табл. 1 приведены значения максимальных горизонтальных смещений модели на уровнях только I, VI и IX этажей; как показали проведенные вычисления, аналогичное явление имеет место и для остальных этажей.

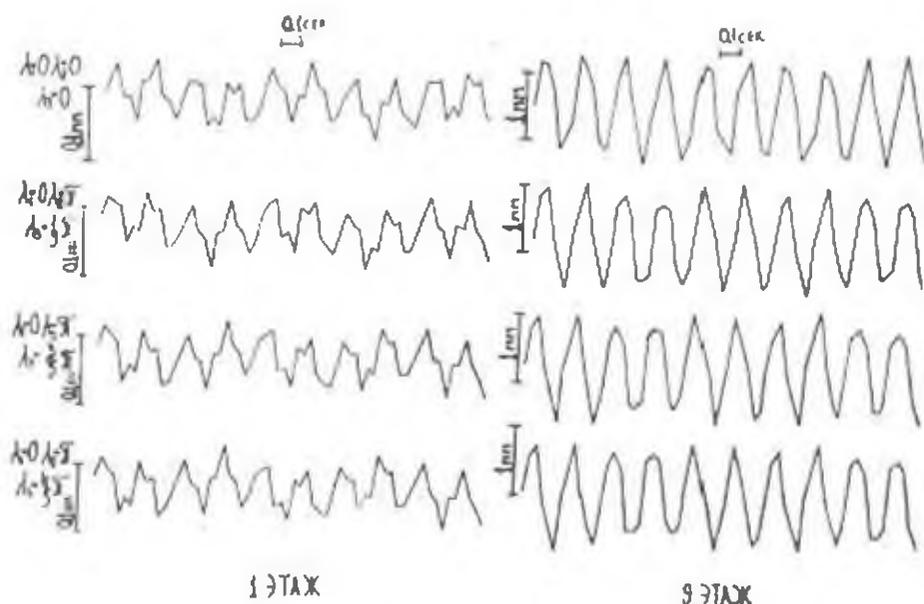


Рис. 1

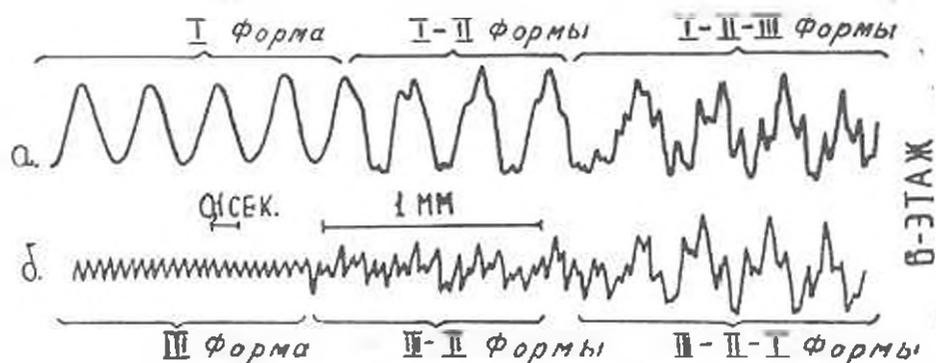


Рис. 2

Заметим, что аналитические и экспериментальные исследования [4, 5] периодов колебаний каркасных зданий также показали соотношение  $1 : 3 : 5$  для первых трех форм свободных колебаний.

На рис. 1 приведены некоторые графики смещений точек модели при суммировании первых трех форм колебаний с различными значениями сдвига фаз между ними, которые наглядно иллюстрируют, что сдвиг фаз не приводит к существенным изменениям в качественной картине наложения, а только сдвигает графики соответствующих точек модели друг относительно друга на некоторую, постоянную во времени, величину.

Для экспериментального выявления влияния последовательности включения отдельных вибростанов на картину наложения нескольких гармоник, модель здания вводилась в колебательное движение по трем формам колебаний с различной последовательностью включения вибростанов (рис. 2). Полученные осциллограммы показали, что характер колебаний при этом изменяется незначительно, а амплитуды колебаний отличаются в пределах 2—5%.

ЕрПИ им. К. Маркса

Поступило 13 XI, 1974.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шапиро Г. А., Аниктадзе Г. Н., Самой Ю. А. Вибрационный метод испытания жилых и общественных зданий. М., 1969.
2. Аракелян С. Г., Захарян Ж. В. Об одной возможности испытания моделей зданий. «Известия АН АрмССР (серия техн. науки)», т. XXV, № 5, 1972.
3. Абовян Г. А., Аракелян С. Г., Захарян Ж. В. Некоторые результаты испытания модели здания при сложной динамической нагрузке. Межвузовский сборник научных трудов. Серия XII, вып. 1. Ереван, 1974.
4. Горожан Г. А., Хачиян Э. Е. К определению периодов и форм свободных колебаний многоэтажных каркасных зданий. «Известия АН АрмССР (серия техн. науки)», т. XXIII, № 5, 1970.
5. Хачиян Э. Е., Захарян Ж. В., Погосян О. К. Инструментальные наблюдения за колебаниями высотных зданий. Труды координационных совещаний по гидро-технике, вып. 91. Ленинград, 1974.

*Задача преобразования информации в схеме замещения электрической системы.* Афанаси Г. Г. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXIX, № 1, 1976, 5-9

В процессе разработки нового метода расчета установившихся режимов сложных электроэнергетических систем, представляемых схемами с несколькими сот узлов, возникла задача преобразования информации над параметрами схем.

Сформулированная задача—преобразование информации, содержащейся в верхней треугольной матрице коэффициентов уравнений узловых напряжений электрической системы, в информацию, представляемую квадратной матрицей параметров уравнений нелинейных ветвей,—необходима для разработки нового метода расчета установившихся режимов электроэнергетической системы.

Предлагаемый алгоритм решения этой задачи основан на принципе использования схемы замещения и контурных уравнений электрической цепи.

Алгоритм решения иллюстрируется примером для схемы замещения, представляемой 51 ветвью, 16 узлами и 6 контурами.

*Оценка характеристик выносливости термообработанных сталей.* Олейник Н. В., Белев В. В., Стакин М. Г., Гаспарян С. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXIX, № 1, 1976, 10-17

Рассматриваются результаты циклических испытаний (чистый изгиб с вращением) образцов из сталей 45 и 40Х (гладкие и с выточками  $d = 10; 25,4$  и  $\tau_0 = 2,54$  и  $1,85$ ), подвергнутых отжигу, нормализации, улучшению и заклке. Режим нагружения—стационарный и программный с одноступенчатым изменением блока напряжений при

$$\tau = \frac{\tau_1}{\tau_2} = 0,8 \text{ и } \rho = \frac{n_{62}}{n_{61}} = 1 \text{ (} n_{61} = 10000 \text{ циклов),}$$

Показано, что основными факторами, влияющими на характеристики выносливости, являются конструктивная форма и твердость образцов НРС. Наряду со значениями  $\bar{\sigma}_1$ , параметры 50%-ной кривой выносливости  $\bar{\sigma}_m, \bar{m}$ , а также показатели рассеяния циклических долговечностей  $S_m$  и  $S_m$  в интервале НРС  $16 : 50$  меняются прямолинейно. При этом наблюдается достаточно высокая теснота корреляционной связи ( $r = 0,90 : 0,99$ ) между рассмотренными величинами и НРС.

В относительных координатах определены параметры уравнений  $\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_m, \bar{m}, S_m, S_m = f(\text{НРС})$ . Это позволяет определить указанные характеристики выносливости по результатам испытаний исходной серии образцов, которые изготовлены из сталей подобного класса, в зависимости от формы и размеров деталей машин при заданном НРС.

Табл. 1. Илл. 2. Библи. 5 назв.

*Определение параметров входной цепи измерительного преобразователя.* Шахкьян А. С., Гаспарян А. О., Шахкьян С. С. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXIX, № 1, 1976, 18-23

Рассматривается погрешность измерительной схемы преобразователя сигнала термометрического сопротивления, подключенного по четырехпроводной схеме, в напряжении постоянного тока при измерении параметров входной цепи.

Табл. 1. Илл. 2. Библи. 3 назв.

УДК 522.2 : 62—503.53 : 621.3.025

*Увеличение точности слежения системы управления креном телескопа АТЗ-2Б и применением автоматического поста переключения тока в системе точного отсчета.* Мелконян К. М. «Известия АН АрмССР (серия Т. II.)», т. XXIX, № 1, 1976, 24—30.

Приведена двухконтурная автоматическая синхронно-следящая система управления креном телескопа. В отличие от существующих, предлагаемая система значительно увеличивает точность слежения без введения механических связей между грубой и точной системами отсчета и обладает высокими динамическими характеристиками.

Илл. 3. Библи. 4 назв.

УДК 621.382.3

*Многоколлекторная планарная транзисторная структура.* Арустамян В. Е. «Известия АН АрмССР (серия Т. II.)», т. XXIX, № 1, 1976, 31—36.

Предлагается структура многоколлекторного планарного транзистора, выгодно отличающаяся от ранее известных структур по быстродействию, коэффициенту усиления; идентичности коллекторов и позволяющая использовать ее в интегральных схемах. Дана начальная теория, простейшая модель и эквивалентная схема многоколлекторного транзистора.

Илл. 2. Библи. 5 назв.

УДК 532.595.2 : 512.9

*Метод приближенного решения дифференциального уравнения упругого гидравлического удара.* Овсепян К. Х. «Известия АН АрмССР (серия Т. II.)», т. XXIX, № 1, 1976, 37—42.

Для расчета упругого гидравлического удара предлагается линейное дифференциальное уравнение второго порядка, в котором учтены упругие свойства воды и материала трубопровода. Предложенное уравнение можно использовать для аналитических исследований переходных процессов в гидротрестах и для математического моделирования. Получены формулы для расчета гидравлического удара и изменения давления во времени.

Илл. 2. Табл. 1. Библи. 4 назв.

УДК 556.3 : 532 : 546

*Изменение минерализации почвенного раствора и грунтовых вод при каталитическом проницании.* Аванян С. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. II.)», т. XXIX, № 1, 1976, 43—49.

Излагается решение одной практической задачи физико-химической гидрогеологии, относящейся к вопросу оактивации систем в почве и изменении минерализации почвенного раствора и грунтовых вод при фильтрационных процессах.

Особенность данной задачи заключается в том, что в процессе каталитического проницания учитываются изменения во времени уровня грунтовых вод, который является границей между двумя зонами фильтрации. Получены формулы, при помощи которых можно определить концентрации почвенного раствора и минерализацию грунтовых вод в любой момент времени в любой точке области фильтрации.

Табл. 1. Библи. 3 назв.

УДК 69.032 : 624.042.8

*Результаты экспериментальных исследований динамических характеристик модели 9-этажного жилого дома в масштабе 1:30.* Шагинян С. Г. «Известия АН АрмССР (серия Т. II.)», т. XXIX, № 1, 1976, 52—58.

Приводятся результаты экспериментальных исследований модели 9-этажного жилого дома в масштабе 1:30. Для экспериментальных работ

был выбран проект 9-этажного жилого дома, разработанного «Армгос-проектом».

Материалом для изготовления модели подобран оргстекло. Предварительно были изучены физико-механические свойства оргстекла. Моделирование произведено по теории расширенного подобия, разработанной проф. А. Г. Назаровым. При экспериментах были определены динамические характеристики модели, которые сравнивались, с учетом множителей подобия, с соответствующими характеристиками натурального здания. На основании экспериментов сделаны соответствующие выводы.

Илл. 1 Табл. 1 Библ. 1 назв.

УДК 62-752-1X.621.8.02

*Об экспериментальном определении характеристик переходного процесса наблюдаемого в присутствии шумов.* Мелкоян Д. С., Ростомян Д. К. «Известия АН АрмССР (серия Г. Н.)», т. XXIX, № 1, 1976, 59-61.

Рассмотрен принцип получения усредненной кривой переходного процесса методом наложения для случая, когда под действием внешнего воздействия, вызывающего переходный процесс, происходит изменение параметров системы. Приведен пример применения предложенного способа к получению характеристик усредненной кривой названного потенциала.

Илл. 1 Библ. 1 назв.

УДК 624.94:699.842

*К вопросу динамического испытания здания с учетом высших форм колебаний.* Аракелян С. Г. «Известия АН АрмССР (серия Г. Н.)», т. XXIX, № 1, 1976, 62-65.

Изложены результаты экспериментальных исследований модели стального каркаса 9-этажного здания, проведенных вибрационными машинами, которые, будучи установленными на различных уровнях, вводились в резонансный режим по отдельным формам ее свободных колебаний. Показано, что последовательность включения отдельных вибростанов не играет существенной роли, и дана оценка погрешности, связанной со случайным фазовым сдвигом между компонентами.

Илл. 2 Табл. 1 Библ. 5 назв.

Ի ՈՎ ՈՆ Դ Ա Կ ՈՒ Ի Յ ՈՒ Ն

ՍՍՀՄ ժողովրդական տնտեսության զարգացման սահունորոշ նեղամյա պլանի շնորհիվ 3

Է Ե Ե Ղ Ա ի Կ

Հ. Տ. Ազունց, Էլեկտրական համակարգի փոխարինման սխեմաների վերաբերյալ ին- 5  
ֆորմացիայի վերափոխման խնդիրը

Մ Ե Ն Ե Ա Ղ Ե Ա Ր Դ Ո Մ Ե

Ե. Վ. Այլենիկ, Վ. Վ. Սելեր, Մ. Կ. Ստալյուս, Ս. Հ. Իսապարյան, Ջերմամշակման 10  
պողպատների դիմացկունության բնութագրերի զննչատուր

Չ ա փ ա ց ա Կ ա ն ա Խ Ե Ն Ի Կ

Ա. Ս. Շաղզամյան, Ա. Հ. Իսապարյան, Ս. Ս. Նաղզամյան, Չափողակույն կերպավորման 15  
չի մուտքային շղթայի պարամետրների որոշումը

Կ. Հ. Մելիսեյան, ԱՏՁ-2.6 մ շեռագիտակի գծերի կառավարման սխեմանի նեոնիան 24  
ճշտության մեծացումը՝ ճշգրիտ հաշվանքի սխեմանում փոփոխական շոտանյի  
ափտումատ կամրջակ օգտագործելով

Ի Ղ Ե Կ ա ր ա ն Ե ի ն տ Ե Ն Ի Կ

Վ. Ե. Առուստամյան, Բազմակողմանորային պլաննար սրանկրիտների կատարողությամբ 27

Հ ի զ ր ա Վ ի Կ

Կ. Ե. Հովսեփյան, Առավելագույն հեղուկացման շարժանի դիֆերենցիալ նախատրաման 37  
մուտքային շղթայի մեկնող

Գ. Ա. Անանյան, Բաշտարային շոտանյի և դեռնադրերի հանրաշման փոփոխությունը 43  
կապիտալ շինարարների մասնակի

Շ ի Ե ա ր ա Ե Կ ա ն Կ Ե Ե ա ր ա Կ ի Կ Ե Ե

Ո. Ե. Նուսեյան, Գ. Նարկանի բնակչի ստան Լ. ՍՏ մուտքային մոդերի պիտանման 52  
բնութագրերի փորձարարական նետադատությունների արդյունքները

Պ ի ա Կ ա ն Ե ո ր Ե

Գ. Ս. Մելիսեյան, Գ. Կ. Սոսամյան, Ազմունքների առաջադիմությամբ նկատվող ռեզու- 59  
մսային սրբոցանների բնութագրերի փորձարարական որոշման վերաբերյալ

Ա. Գ. Առաքելյան, Տասնամյակների բարձր մեծի հաշվարկով շեռերի դիմամիկանային 62  
փորձարկումների հարցի շուրջը

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>На первом десятилетии пятилетнего плана развития народного хозяйства СССР</i>	3
<b>Энергетика</b>	
<i>Г. Т. Митин</i> Задача преобразования информации о сдвиге импеданса электрической системы	5
<b>Машиностроение</b>	
<i>И. В. Олишник, В. В. Басер, М. Г. Ставкин, С. А. Гаспарян</i> Оценка характеристик пластичности термически обработанных сталей	10
<b>Измерительная техника</b>	
<i>А. С. Шахматов, А. Ю. Гаспарян, С. С. Шахматов</i> Определение параметров входной цепи измерительного преобразователя	18
<i>К. М. Мелконян</i> Увеличение точности слежения системы управления яхтой телескопа АТЗ-2,6 и применением автоматического поста переменного тока в системе точного отсчета	24
<b>Электронная техника</b>	
<i>В. Е. Арштам</i> Многоколлекторная планарная транзисторная структура	31
<b>Гидравлика</b>	
<i>К. У. Овсепян</i> Метод приближенного решения дифференциального уравнения упругого гидравлического удара	37
<i>С. А. Манаев</i> Изменение минерализации почвенного раствора и грунтовых вод при капитальных промывках	43
<b>Строительные конструкции</b>	
<i>С. Ш. Шагинян</i> Результаты экспериментальных исследований динамических характеристик модели фундаментного якоря дома в масштабе 1:50	62
<b>Научные заметки</b>	
<i>Д. С. Мельников, Д. К. Гуртович</i> Об экспериментальном определении характера переходного процесса, обусловленного и присутствия шумов	69
<i>С. Г. Артемов</i> К вопросу динамического испытания станин с учетом шести форм колебаний	69

