

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

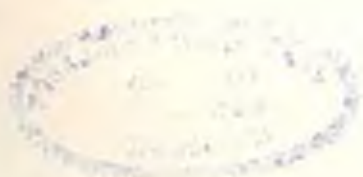
ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՄԲԱՌԱՐԱՆԱՆ ԳՈՐԾԳԻԱ

Այսինքն Շ. Ֆ., Ալեքսենսկի Վ. Վ., Եղիազարյան Ի. Վ., Դանյան
Մ. Վ. (պատ. խմբագրի), Նազարով Ա. Գ., Սիմոնով Մ. Ջ.,
Փիլաթյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Адоиц Г. Т., Алексеевский В. В., Егизаров И. В., Касьян
М. В. (ответ. редактор), Назаров А. Г., Пинаджян В. В.
(зам. отв. редактора), Симонов М. З.



ЭНЕРГЕТИКА

Ե. Դ. ԱԾՈՆԸ, Բ. Ա. ԱՄԻՐԻԿՅԱՆ

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗАЦИИ ЗАПИСИ УРАВНЕНИЙ
УЗЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Задаче автоматизации записи матриц уравнений контурных токов и узловых напряжений посвящен ряд советских и зарубежных работ. В частности, в статье авторов [1] была рассмотрена задача автоматизации записи с помощью ЦВМ уравнений контурных токов сложных электрических систем. В данной статье предлагается методика автоматической записи узловых напряжений электрических систем любой сложности по заданной таблице перечня: генераторов, трансформаторов, линий электропередач, нагрузок и остальных элементов исследуемой системы с указанием соответствующих их параметров. Для этой цели не требуется ни схема замещения, ни граф этой системы. Сущность предлагаемого метода автоматизации записи уравнений узловых напряжений иллюстрируется на примере системы, рассмотренной в [1].

1. Таблицы исходных информации. Для автоматизации записи матриц Y и J уравнений узловых напряжений предлагается вводить в машину исходные данные в виде таблиц, которые содержат в себе сведения как о параметрах элементов исследуемой системы, так и о способах их соединений между собой. Предлагаемые таблицы 1 и 2 исходных информации как по форме, так и по назначению, отличаются от табл. 1, приведенной в [1].

В данном случае эти таблицы приспособлены к тому, чтобы ЦВМ сама учитывала конфигурацию и электрические соединения элементов системы и сама производила их кодирование, тогда как в [1] предполагалось, что эта работа должна выполняться от руки. Это достигается благодаря тому, что схема системы заменяется таблицей, в соответствующих клетках которой записывается условно принятая цифра (например, 77), которая больше, чем наибольший ожидаемый номер узла рассматриваемой системы. Например, табл. 1 составлена для системы, схема которой показана на рис. 1.

Указанная таблица позволяет автоматизировать как процесс кодирования элементов, так и процесс выбора информации о кодах и параметрах отдельных элементов системы, которые необходимы для автоматической записи соответствующих матриц инцидентий, с

Таблица 1

№	Элементы системы	к	Объекты	1	2	3	7	8	9	10	11	22	23	26	35	36
				0	6	10	10	330	35	110	07 ₁	110	330	Л _{2ср}	Г ₉	Г ₁₀
1	Нагрузки H_k	1	1	77	77											
2		2	1	77	77			77								
3		3	2	77	77											
7	Линии с поперечной C^* L_k	1	3-5	77	77											
8		2	3-4	77	77			77					77		77	
9	Трансформаторы многообмоточные T_k	1	1	77	77				77	77	77					
10		2	1	77	77				77	77						
14	Трансформаторы двухобмоточные T_k	6	1	77	77					77						
15		7	1	77	77					77						
16		8	2	77	77											
17		9	2	77	77								77			
25	Линии без поперечной C^* L_k	6	1-2							77			77			
29	Генераторы G_k	1	1	77	77											
30		2	1	77	77											
31		3	2	77	77											
32		4	2	77	77											
33		5	2	77	77											
37		9	1	77	77			77								77
38		10	4	77	77				77							77

последующим расчетом и записью как матриц Z и U , так и матриц Y и J уравнений контурных токов и узловых напряжений. Кроме того, предлагаемые формы таблиц удобно воспроизводятся на перфокартах, что дает возможность учитывать изменения в схемах исследуемой системы, путем замены одних перфокарт другими, изъятием отдельных перфокарт из общей колоды или добавлением новых перфокарт.

Табл. 1, воспроизводящая схему соединений элементов системы, составляется следующим образом. Сначала заполняется столбец "элементы системы". Каждой строке таблицы соответствует один элемент системы (генератор, трансформатор, электропередачи, нагрузка и т. п.). Первая группа строк относится нагрузкам. Затем следуют линии, для которых учитывается поперечная емкость, далее многообмоточные трансформаторы, двухобмоточные трансформаторы, линии без учета поперечной емкости, нагрузки, учитываемые как эквивалентные генераторы, и в конце таблицы — генераторы и синхронные компенсаторы. В столбец "Объекты" записываются наименования объектов (станции, подстанции, переключательные пункты и т. п. или условные их

Таблица 2

№ эл. пп	1 сопротивление элементов Z (в ом.к)	2 Токи источников I (в ка)
1	430 / 900	0
2	400 / 820	0
3	470 / 1000	0
7	/ 1900 0,4+ / 2,4 0,1 / 2,1	0
8	/ 180 0,36 / 2,7 0,36 / 2,7	0
9	/ 2,6 / 61,2 / 105	0
10	/ 2,6 / 61,2 / 105	0
14	/ 100	0
15	/ 100	0
16	/ 40,8	0
17	/ 40,8	0
25	2,0 / 5,0	0
29	/ 120	1,43 $\angle -66$
30	/ 96,2	1,87 $\angle -66$
31	/ 168	1,02 $\angle -66$
32	/ 168	1,02 $\angle -66$
33	/ 168	1,02 $\angle -66$
37	/ 192,4	0,70 $\angle -64$
38	1,4 / 10,5	12,7 $\angle -43,4$

номера), которым принадлежит данный элемент. В случае электросетей записываются номера объектов, к которым они примыкают. В рассматриваемом примере, как это видно из табл. 1 и из представленной схемы сети, к первому объекту относятся нагрузки H_1 и H_2 , трансформаторы T_1 , T_2 , T_3 и T_4 , генераторы G_1 и G_2 . Линия L_1 соединяет 1-й объект со 2-м.

Таким образом, число строк таблицы равно числу элементов системы. Число же столбцов таблицы выясняется по мере ее составления. Если строки таблицы представляют отдельные элементы системы, то столбцы представляют узлы этих элементов и обозначаются соответствующими индексами.

Например, столбцы (в рассматриваемом примере 11 и др.), представляющие общие точки многолучевой схемы трансформаторов, обозначаются индексом O_i , где i — номер трансформатора. Столбцы (в рассматриваемом примере — 25 — 26), представляющие средние точки T -образной схемы размещения линий, обозначаются индексом M_i , где i — номер данной линии.

Остальные столбцы (в рассматриваемом примере 1, 2, 3 и др.), представляющие начало и конец отдельных элементов системы (генераторов, трансформаторов, линий, нагрузок и т. д.), обозначаются уровнем напряжения представляемых узлов. Например, столбец 2, представляющий шины б кв генераторов G_1 и G_2 , трансформаторов T_1 , T_2 , T_3 , T_4 и нагрузки H_1 , имеет индекс — 6. Или же столбец 1,

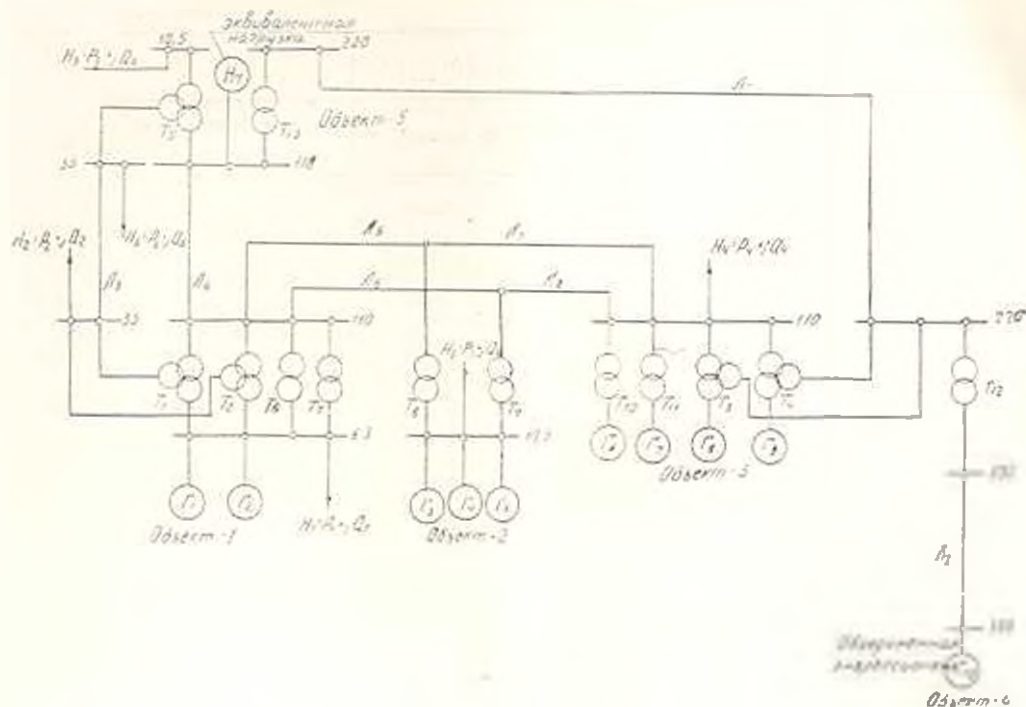


Рис. 1. Схема сети.

представляющий общий узел заземления генераторов, нагрузок, линий с учетом поперечной емкости и т. п., имеет индекс — О. Кроме того, для генераторных элементов предусматриваются дополнительные столбцы с индексами соответствующих генераторов. В силу этого таблица становится пригодной также для решения задачи автоматизации записи уравнений узловых напряжений в форме, удобной для получения уравнений эквивалентного многополюсника [2]. Для рассматриваемого примера такими столбцами служат 27—36 под индексами $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_{10}$, что означает возможность преобразования получаемых уравнений узловых напряжений системы в уравнения формы У эквивалентного многополюсника с подключенными к нему источниками токов генераторов $\Gamma_1, \dots, \Gamma_{10}$.

Заполнение столбцов таблицы начинается с группы строк, выделенных для генераторов. Первый столбец с индексом О, как уже было отмечено, представляет узлы заземления схемы замещения генераторов. Эти узлы можно рассматривать как общие для всех генераторов и потому в пересечениях строк, соответствующих генераторам, с 1-ым столбцом записывается условно принятая цифра 77. Второй столбец идет под индексом, соответствующим напряжению 1-го генератора, и в пересечении этого столбца со строкой 1-го генератора записывается 77. Если следующий генератор работает параллельно с предыдущим, то 77 записывается в пересечении того же столбца и соответствующей строки. Если же они работают раздельно, то пре-

дусматривается новый столбец и 77 записывается в его пересечении соответствующей строкой. Таким образом, каждый столбец, обусловленный генераторами, представляет или шины параллельно работающих генераторов или зажимы раздельно работающего генератора. Так, в приведенном примере, параллельной работе генераторов G_1 и G_2 первого объекта, соответствует образование только 2-го столбца. Аналогично для параллельно работающих генераторов G_3 , G_4 и G_5 образуется третий столбец. Все остальные генераторы рассматриваемой схемы ($G_6 \dots G_{10}$) работают раздельно и, следовательно, в табл. 1 для них выделяются отдельные столбцы (4—8) с индексами, соответственно 10 и 330. (В рассматриваемой схеме генератор G_{10} — эквивалент системы). Далее рассматриваются по порядку строки, соответствующие трансформаторам. Узлы присоединения трансформаторов к зажимам или шинам генераторов, которые в табл. 1 представлены соответствующими столбцами, фиксируются индексом 77 в месте пересечения этих столбцов со строками, представляющими соответствующие трансформаторы.

Высокая и средняя стороны группы параллельно работающих трансформаторов или одного отдельно работающего трансформатора представляются новыми столбцами, идущими под индексом соответствующего напряжения. То есть, как и в случае с генераторами, столбцами представляются или шины групп параллельно работающих трансформаторов или зажимы раздельно работающего трансформатора. Многообмоточные (трех и более) трансформаторы, как уже было отмечено, представляются также столбцами под индексом 0_{T_i} , в которых фиксируется точка многолучевой схемы трансформаторов. Например, трехобмоточные трансформаторы T_1 и T_2 первого объекта работают параллельно, что отмечено индексом 77 в столбцах 2, 9 и 10 соответствующих строк 9 и 10. Кроме того, каждый из указанных трансформаторов представляется соответственно столбцами 11 и 12 с индексами 0_{T_1} и 0_{T_2} . В пересечениях соответствующих строк 9 и 10 и столбцов 11 и 12, в табл. 1 зафиксированы цифровые индексы 77.

Двухобмоточные трансформаторы T_3 и T_4 со стороны низкого напряжения работают на общие шины с генераторами G_3 , G_4 и G_5 , что отмечено цифрами 77 в соответствующих строках столбца 3. Высокие стороны этих трансформаторов представляются соответственно столбцами 21 и 22.

Далее рассматриваются линии с учетом поперечной емкости. Эти линии могут быть представлены Π или T -образной схемой. Если линия представляется Π -образной схемой, то при составлении табл. 1 затруднения не встречаются, так как не появляются дополнительные узлы, поскольку поперечные элементы подключаются к узлам, представляющим начало и конец данной линии. Если же линия представляется T -образной схемой, то появляется дополнительный узел, в котором соединяются продольные и поперечный элементы. В этом случае табл. 1 заполняется следующим образом. В пересечении строки,

представляющей линию с учетом поперечной емкости, со столбцом 1, представляющим узел заземления, и со столбцами, представляющими узлы элементов, которые соединяются этими линиями. фиксируется цифра 77. Возникший дополнительный узел T -образной схемы замещения линии, т. е. ее общий узел продольных и поперечного элементов, представляется новым столбцом с индексом $L_{\text{ср}}$. Например, линия L_2 соединяет шины 330 кВ 3-го и 4-го объектов. Это учитывается записью цифры 77 в пересечении строки 8 со столбцами 8 и 23. Цифра 77 в 1-м столбце отмечает нулевой узел T -образной схемы линии. Общий узел элементов T -образной схемы линии L_2 представлен 26-м столбцом под индексом $L_{\text{ср}}$. В его пересечении со строкой 8 также записывается цифра 77.

Для линий без учета поперечной емкости цифровым индексом 77 отмечается пересечение строки, представляющей эту линию с соответствующими столбцами, представляющими узлы элементов, к которым присоединяется данная линия. Например, линия L_1 соединяет шины 110 кВ, 1-го и 2-го объектов. Для этого случая цифровые индексы 77 записываются в пересечении строки 25, соответствующей линии L_1 со столбцами 10 и 22, представляющими упомянутые шины.

Для нагрузочных элементов цифровыми индексами 77 отмечаются пересечения строк, представляющих нагрузки, со столбцом 1 и столбцами, представляющими узлы, к которым подключены эти нагрузки. Например, нагрузка H_1 присоединена к шинам 6 кВ 1-го объекта. Это учитывается цифровыми индексами 77, записанными в пересечениях столбцов 1 и 2 соответствующей строкой 1. Далее, как было отмечено выше, добавляются дополнительные столбцы 27—36, соответствующие числу генераторных элементов системы, обозначенных индексами $G_1, G_2, \dots, G_n$. В пересечении этих столбцов (27—36) со строками 29—38, представляющими эти же генераторы, фиксируются цифровые знаки 77. Заметим, что появление таких столбцов связано только с задачей записи матрицы Y , ибо при записи матрицы Z контурных уравнений необходимости в них нет. В результате получается таблица, которая содержит все сведения о взаимных соединениях элементов системы.

Таблицы информации о параметрах элементов системы составляются следующим образом. Номера строк таблицы (ради сокращения текста таблицы не приводятся) соответствуют номерам строк табл. 1 и представляют те же элементы рассматриваемой системы. Столбец 1 выделяется для указания типа оборудования (генераторы, трансформаторы) и марки провода линии. Вторым и четвертым столбцами выделяются для указания полной мощности и $\cos \varphi$ генераторов, трансформаторов и нагрузок. 3-й столбец — для указания номинального напряжения всех элементов, 5-й и 6-й столбцы — для указания схем и группы соединения трансформаторов и величин $e^{\alpha_{\text{ср}}}$. Схема и группа соединений показывается графически с указанием выведенной или заземленной нейтрали. Предлагаемые формы таблиц были ис-

пользованы представителями ряда энергосистем и проектных организаций, по заданию которых в АрИИИЭ выполнялись работы, связанные с автоматизацией записей матриц Z и Y и эквивалентированию энергосистем по заданной табличной информации.

По данным этой табл. составляется табл. 2, номера строк которой соответствуют номерам строк табл. 1 и представляют те же элементы. В табл. 2 записываются величины Z -параметров элементов исследуемой системы. Алгоритм и программа предусматривают получение Y -параметров уравнений узловых напряжений системы по заданным Z -параметрам отдельных элементов. Что касается матрицы J системы уравнений узловых напряжений, имеется в виду, что величины элементов этой матрицы или известны или могут быть вычислены по хорошо известным методам. В частности, в рассмотренном примере (табл. 1 и 2) принято, что генераторы (а также нагрузки, учитываемые как эквивалентные генераторы — H) заданы комплексными значениями токов соответствующих источников энергии, а постоянные нагрузки, учитываемые как пассивные элементы — комплексными сопротивлениями. Информация, содержащаяся в табл. 1 и 2, заменяет собой схему рассматриваемой системы и ее параметры. Они достаточны для автоматической записи с помощью ЦВМ матриц Z , J и E уравнений контурных токов (с соответствующей заменой столбца J столбцом E табл. 2) и матриц Y , U и J уравнений узловых напряжений. Предлагаемый алгоритм, обеспечивающий автоматическую запись Y -параметров уравнений узловых напряжений, позволяет ускорить процессы решения с помощью ЦВМ ряда важных задач по расчетам потокораспределений, оптимизации, устойчивости режимов энергосистем, так как имеется в виду, что для решения перечисленных и других аналогичных задач, необходимо иметь в качестве исходных данных матрицы Z -контурных уравнений или матрицы Y -узловых напряжений.

Алгоритм записи матриц Z и Y реализуется при помощи:

а. Подпрограммы (необходимой для записи как Z , так и Y матриц) кодирования элементов системы и составления таблицы кодов элементов с соответствующими параметрами.

б. Подпрограмм а и б, приведенных в [2], необходимых только для записи матрицы Z .

в. Подпрограммы (необходимой для записи матрицы Y) автоматизации записи матрицы K соединений элементов системы в узлах.

г. Подпрограммы автоматизации записи матриц Z и Y соответственно уравнениям контурных токов и узловых напряжений.

2. Алгоритм подпрограммы кодирования элементов системы и составления таблицы кодов элементов с соответствующими параметрами для записи матрицы Y . Операция кодирования сводится к замене цифровых индексов 77 табл. 1 цифрами, соответствующими номерам столбцов, как это показано в табл. 3. По ходу кодирова-

Таблица 3

№№ строк табл. 1	1	2	3	·	7	8	9	10	11	·	22	23	·	26	·	35	36
1	1	2															
2	1						9										
3	1		3														
·																	
7	1																
8	1				8							23		26			
9		2					9	10	11								
10		2					9	10									
·																	
14		2						10									
15		2						10									
16			3														
17			3								22						
·																	
25								10			22						
·																	
29	1	2															
30	1	2															
31	1		3														
32	1		3														
33	1		3														
·																	
37	1				7											35	
38	1					8											36

ния составляется табл. 4, в столбце 1 которой записываются коды элементов, взятые из табл. 3, а в столбце 2 — соответствующие им проводимости, взятые по данным табл. 2. Коды элементов (нагрузок, линий, трансформаторов, генераторов и т. п.) из табл. 3 выписываются в табл. 4 по следующему алгоритму. Для каждой строки табл. 3 последняя цифра считается базисной и все предыдущие цифры в сочетании с этой базисной представляют коды данного элемента системы. Заметим, что из предлагаемого алгоритма следует правило соответствия следования записей в строках табл. 2 порядку следования цифр строк табл. 3. Например, для 8-й строки табл. 3, представляющей линию 2 рассматриваемого примера, за базисный принимается код 26. Информации о кодах этой линии, взятые по данным 8-й строки табл. 4, ищутся в следующем порядке: 1—26, 8—26 и 23—26. Этим кодам соответствуют проводимости: $j26,32 \cdot 10^{-4}$; $(485,2 - j3639,01) \cdot 10^{-1}$ и $(485,2 - j3639,01) \cdot 10^{-4}$, взятые по данным соответствующей 8-й строки табл. 2.

3. Алгоритм подпрограммы автоматической записи матрицы инцидентий K соединений элементов системы в узлах. По табл. 4 определяются следующие данные исследуемой системы: число ветвей, равное числу строк таблицы; число независимых узлов, равное наибольшему номеру кода, уменьшенному на единицу; число независимых контуров, равное разности чисел ветвей и независимых узлов. Для рассматриваемого примера этими величинами являются соответственно: при составлении Z -параметров уравнений контурных токов — 52, 25 и 27; при составлении Y -параметров уравнений узловых напря-

Таблица 4

№ узла	Элементы		№ ветви	Элементы	
	коды	проводимости $\times 10^{-4}$ (в см.)		коды	проводимости $\times 10^{-1}$ (в см.)
1	1-2	4,32 — j 9,05	33	5-13	— j 100
2	1-9	4,81 — j 9,85	34	14-23	— j 3846,15
3	1-3	3,85 — j 8,19	35	19-24	— j 1086,96
4	1-13	14,75 — j 33,91	36	9-18	252,68 — j 323,43
5	1-17	2,06 — j 4,64	37	10-19	462,9 — j 915,31
6	1-18	2,30 — j 5,75	38	10-21	818,64 — j 1574,31
7	1-25	j 5,26	39	10-22	818,64 — j 1574,31
8	14-25	675,68 — j 4054,05	40	13-21	891,53 — j 1708,77
9	24-25	675,68 — j 4054,05	41	13-22	891,53 — j 1708,77
10	1-26	j 26,32	42	1-19	0
11	8-26	485,20 — j 3639,01	43	1-27	0
12	23-26	485,20 — j 3639,01	44	2-27	— j 79,37
13	2-11	— j 3846,15	45	1-28	0
14	9-11	— j 163,4	46	2-28	— j 103,95
15	10-11	— j 95,23	47	1-29	0
16	2-12	— j 3846,15	48	3-29	— j 59,52
17	9-12	— j 163,4	49	1-30	0
18	10-12	— j 95,23	50	3-30	— j 59,52
19	6-15	— j 1562,5	51	1-31	0
20	13-15	— j 1020,41	52	3-31	— j 59,52
21	14-15	— j 602,41	53	1-32	0
22	7-16	— j 1562,5	54	4-32	— j 39,68
23	13-16	— j 1020,41	55	1-33	0
24	14-16	— j 602,41	56	5-33	— j 39,68
25	17-20	— j 163,4	57	1-34	0
26	18-20	— j 3846,15	58	6-34	— j 51,98
27	19-20	— j 95,24	59	1-35	0
28	2-10	— j 100	60	7-35	— j 51,98
29	2-10	— j 100	61	1-36	0
30	3-21	— j 245,1	62	8-36	124,76 — j 935,74
31	3-22	— j 245,1			
32	4-11	— j 100			

жений — 62. 35 и 27. Искомая матрица инцидентий K , показывающая соединения элементов системы в узлах, составляется по данным табл. 4.

Для обозначения взаимных связей между элементами рассматриваемой системы, как и в [1], используются числовые индексы 00 (или 01), 01 и 11*. В табл. 5 приведена матрица K рассматриваемого примера сети.

Номера и число строк матрицы соответствуют номерам (в рассматриваемом примере 2—36) и числу (в рассматриваемом примере 35) независимых узлов. Узел 1 принимается за базисный и является зависимым. Поэтому в матрице K отсутствует строка с номером 1. Номера и число столбцов матрицы K соответствуют номерам и числу строк табл. 4, равному числу ветвей исследуемой системы (в рассматриваемом примере 62). Каждая i -я строка матрицы K представляет соответствующий узел рассматриваемой системы. Каждый j -й столбец

* Взамен этих индексов можно пользоваться индексами, соответственно 0,1 и —1, но в таком случае для регистрации в ЦВМ матрицы K потребуется во много раз больше ячеек ее оперативной памяти.

Таблица 5

№№	1	2	3	10	11	12	13	14	15	28	29	30	31	59	60	61	62
2	11						01			01	01						
3			11									01	01				
7															01		
8					01												01
9		11						01									
10							11	11	01	11	11						
11																	
12																	
13																	
14																	
22														11			
23						01											
24																	
25																	
26				11	11	11											
35														11	11		
36																11	11

этой матрицы представляет соответствующую ветвь (элемент) системы коды и параметры которой записаны в j -й строке табл. 4.

Матрица K составляется по данным о кодах элементов, записанных в столбце 1, табл. 5. В каждой j -й строке этой таблицы записаны коды i_1 и i_2 j -й ветви системы. Коды i_1 и i_2 указывают номера узлов системы, к которым соединяется данная j -я ветвь. Выбирая очередную j -ю ветвь табл. 5 с кодами i_1 и i_2 в строки i_1 и i_2 j -го столбца матрицы K вписываются соответственно цифровые индексы 01 и 11. При этом 01 пишется в строке, соответствующей меньшему номеру кода j -го элемента, а 11 — в строке, соответствующей большему номеру (согласно предлагаемому алгоритму составления табл. 4, всегда i_1 ожидается с меньшим номером кода, а i_2 — с большим).

В остальных строках этого столбца вписываются индексы 00 (при сокращении числа записей в табл. 5 индексы 00 опущены). Если i_1 данной ветви является кодом 1, представляющим базисный узел „1“, то ввиду отсутствия в матрице K строки, представляющей этот узел „1“, в столбцах матрицы, обусловленных такими ветвями, индекс 01 не будет регистрирован. Например, в первой строке табл. 4 записаны коды 1 и 2, следовательно цифровой индекс 01 нигде не записывается, а в строке с номером 2 (первая строка) первого столбца матрицы K записывается индекс 11. В остальных 34 строках записываются индексы 00. Или, например, в 11-й строке табл. 4 записаны коды 8 и 26. Согласно алгоритму, в строках с номерами 8 и 26 одиннадцатого столбца матрицы K записываются соответственно индексы 01 и 11, а в остальных строках — 00. Рассматриваемый способ построения матрицы K оказывается удобным и для решения задачи эквивалентной замены заданной схемы многополюсником, на зажимах кото-

рого действуют выделенные источники тока. Алгоритм такой эквивалентной замены описан в [2]. Для обеспечения реализации такого алгоритма в программе предусматривается операция по записи в первых строках матрицы K данных, соответствующих узлам с источниками тока.

4. Алгоритм программы записи матрицы Y . Этот алгоритм аналогичен алгоритму программы записи матрицы Z , приведенного в [1]. Здесь также взамен обычных методов определения матрицы Y [3-6]

$$Y = K \cdot Y_0 \cdot K_1, \quad (1)$$

требующего транспонирования матрицы, где Y_0 — диагональная матрица проводимостей элементов системы, а K_1 — транспонированная матрица от K , предлагается следующая формула, аналогичная формуле определения матрицы Z , приведенной в [1]

$$Y_{i,j} = \sum_{\beta=1}^n [(a_{i\beta} \wedge 10) \vee (a_{j\beta} \wedge 10)] \equiv (a_{i\beta} \oplus a_{j\beta}) \cdot Y_{\beta}, \\ i, j = 1, 2, \dots, k = 35 \\ \beta = 1, 2, \dots, n = 62$$

где

k — число независимых узлов, т. е. число строк матрицы K ;

n — число ветвей, т. е. число столбцов матрицы K ;

i, j, β — текущие индексы строк и столбцов матриц Y и K ;

$a_{i\beta}, a_{j\beta}$ — элементы матрицы K , соответствующие строкам i и j и столбцу β ;

$\wedge$ — знак логического умножения;

$\vee$ — знак логического сложения;

$\oplus$ — знак логического сложения по модулю два.

Предлагаемая формула (2) требует в 7-8 раз меньшее число вычислительных операций против случая использования для этой же цели распространенной формулы (1). В качестве иллюстрации укажем, что согласно той программе были получены величины: $Y_{1,1} = 124.76 - j 935.74$; $Y_{1,2} = 0$ и т. д.

5. Алгоритм программы записи матрицы J уравнений узловых напряжений. Матрица J (табл. 6) строится по данным таблиц 2 и 4. Порядок записи в табл. 6 значений токов источников энергии соответствует порядку записи величин $Y_{i,j}$ в матричном уравнении: $Y \cdot U = J$. Часть строк этой матрицы имеет нулевое значение токов, так как она соответствует узлам, к которым не подключены источники тока. Остальные строки этой матрицы (для рассматриваемого примера первые 11 строк) соответствуют значениям токов источников энергии и эквивалентных нагрузок, подключенных к соответствующим узлам.

Пример: предлагаемый алгоритм был реализован на примере расчетов, выполненных на ЦВМ "Раздан-2", для случая системы, показанной на рис. 1. Часть полученных с помощью ЦВМ величин $Y_{i,j}$ представлена ниже

Таблица 6

№№ п/п	Токи источников энергии (в кА)		
1	12,70	$\angle$	$-43,4^\circ$
2	0,70	$\angle$	-64°
3	0,70	$\angle$	-64°
4	0,73	$\angle$	-61°
5	0,73	$\angle$	-61°
6	1,02	$\angle$	-66°
7	1,02	$\angle$	-66°
8	1,02	$\angle$	-66°
9	1,87	$\angle$	-66°
10	1,43	$\angle$	-66°
11	-21,20	$\angle$	$-52,6^\circ$
12			0
13			0
14			0
15			0
35			0

$$Y_{1,1} = 124,76 - j935,74 \quad Y_{2,2} = -j51,98 \quad Y_{3,3} = -j51,98$$

$$Y_{1,3} = 0 \quad Y_{2,3} = 0 \quad \dots$$

$$Y_{1,3} = 0 \quad \dots$$

$$\dots$$

$$\dots \quad Y_{17,17} = 254,98 - j4175,33$$

$$\dots \quad Y_{2,30} = j51,98 \quad Y_{28,33} = 0$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$Y_{1,35} = 0 \quad Y_{2,35} = 0 \quad Y_{35,35} = 4,32 - j8084,67.$$

Для контроля эта же задача была решена методом, основанным на использовании схемы замещения системы. Результаты совпали.

Заметим, что суммарное время работы „Раздан-2“, затраченное на решение этого примера, оказалось в пределах 2,5 минут, включая ввод программы и информации табл. 1 и 2, а также печатание матрицы Y .

В настоящее время в АрмНИИЭ составлена более усовершенствованная программа для „Урал-3“, учитывающая коэффициенты трансформаций, отличные от единицы, и без составления матрицы K соединения элементов системы в узлах. Отметим, что с помощью этой программы матрица Y для сети с 45 узлами и 83 ветвями была получена за 57 секунд.

АрмНИИЭ

Поступило 28.VIII.1967.

Հ. Տ. ԱՊՈՆՑ, Ի. Հ. ԱՄԻՐԿՅԱՆ

ՀԱՆԴՈՒՑԱՅԻՆ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԳՐԱՆՑՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑԻՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱ

Ու մ փ ու փ ու մ

էլեկտրական սխեմաների ուղիներին հաշվման ու հեռազուտման համար անհրաժեշտ է կազմել կոմպուտային հոսանքների կամ հանգուցային լարումների հավասարումները և, մասնավորապես, այդ հավասարումների Z , U , I և J մատրիցաները: Պարզ էլեկտրական սխեմաների դեպքում այդպիսի հավասարումներ կամ համապատասխան մատրիցաներ հեշտությամբ կարելի է կազմել նախապես կառուցելով սխեմայի փոխարինման սխեման կամ դրա Բարդ սխեմաների դեպքում առաջ է դալիս նշված հավասարումների մատրիցաների դրանցման ավտոմատացման գործնական անհրաժեշտությունը:

Հոգավորում դիտվում է բարդ էլեկտրական սխեմաների հանգուցային լարումների հավասարումների դրանցման ավտոմատացման հարցը և առաջարկվում է էլեկտրասխեմայի սխեմայի ու նրա առանձին միացումների (գեներատորների, տրանսֆորմատորների, բեռների, էլեկտրահաղորդման գծերի և այլնի) պարամետրներին վերաբերվող էլակենսային ալյալները թվային հաշվի մեքենայի (ΦZV) մեջ մտցնել ալյուսակների ձևով: Ըստ որում, չի պահանջվում էլեկտրասխեմայի փոխարինման սխեմայի կամ պրաֆի նախնական կառուցում:

Հանգուցային լարումների հավասարումների հաղորդունակությունների (Y) մատրիցայի ավտոմատ դրանցումը ΦZV վրա իրադրվում է հետևյալ կերպ ենթադրյալի միջոցով. ա) էլեկտրասխեմայի առանձին էլեմենտների կողմիցման ավտոմատացման ծրագիր, բ) հանգուցներում սխեմայի էլեմենտների միացման մատրիցայի կազմման և դրանցման ավտոմատացման ծրագիրը, գ) հանգուցային լարումների հավասարումների հաղորդունակությունների մատրիցայի ավտոմատ դրանցման ծրագիր:

Ըստ առաջարկվող ալգորիթմի «Աբրալ—3» և «Հրազդան—2» մեքենաների համար կազմված ծրագրերը իրացվել են մի շարք էլեկտրասխեմաների համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Адоңц Г. Т., Амрикийн Р. А. Алгоритм записи уравнений контурных токов сложных электрических систем. Журн. «Электричество», № 12, 1966.
2. Адоңц Г. Т. Расчет параметров многополюсника, эквивалентного схеме сложной структуры. Журн. «Электричество», № 4, 1966.
3. Мельников Н. А. Матричный метод анализа электрических цепей. Изд. «Энергия», 1966.
4. Byerly, Long, King, Logic for applying topological methods to electric networks. AIEE Trans. pt. I (Communication and Electronics), v. 77, Nov., 1958.
5. Крон Г. Применение тензорного анализа в электротехнике, ГЭИ, 1955.
6. Реди Ф., Сили С. Современный анализ электрических цепей. Изд. «Энергия», 1964.

ЭНЕРГЕТИКА

Э. С. ПОГОСЬБЕКОВ

К МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА МНОГОЛЕТНЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Моделирование многолетнего ряда выработки теплоэлектростанции, работающей в смешанной энергосистеме, в [1] рассматривалось, исходя из необходимости учета сезонных колебаний потребной регулирующей теплоэлектроэнергии. В случае необходимости моделирования многолетнего ряда регулирующей энергии, который включал бы в себе информацию о внутригодовых колебаниях по более мелким фазам, скажем по месяцам, можно обратиться к разработанному в литературе методу "фрагментов" [2]. Смысл его заключается в том, что за каждым годом смоделированного энергетического ряда $\mathcal{E}$ закрепляется определенный фрагмент (модель) внутригодового распределения регулирующей энергии. Для случая, когда прослеживается связь между величиной годовой энергии $\mathcal{E}$ и конфигурацией внутригодовой неравномерности, предлагается следующий порядок вычислений: вводится в память ЭВМ таблица значений относительных ординат q_{kj} , где $k = 1, s$ и $j = 1, \tau$, дающих форму внутригодового изменения энергии по s характерным годам, привязанным к заданным интервалам (в количестве s) возможных значений годовой энергии $\mathcal{E}$ посредством соотношения

$$\frac{\mathcal{E}_{\min}}{s} (k-1) < \mathcal{E}_i < \frac{\mathcal{E}_{\max}}{s} k.$$

Соответственно тому интервалу k_0 , в который попадает величина очередной годовой энергии $\mathcal{E}_i$, вычисляются внутригодовые значения энергии e_i i -го года $e_i = \mathcal{E}_i \cdot q_{k_0}$.

В случае отсутствия корреляционной связи между годовой энергией $\mathcal{E}$ и формой внутригодовой неравномерности расчет может производиться самостоятельной случайной выборкой фрагментов параллельно с моделированием годовых величин $\mathcal{E}_i$. Если операция осуществляется случайными числами ξ , то алгоритм вычислений $e_i = \mathcal{E}_i \cdot q_{k_j}$ будет определяться условием

$$\frac{1}{s} (k-1) < \xi < \frac{1}{s} k, \quad k = 1, \dots, s.$$

Рассмотренное в предыдущей работе [3] многолетнее регулирование газопередачи по годовым объемам газопотребления теплоэлек-

тростанции, давая ответ на балансовое состояние системы на конец каждого года, не раскрывает картины, складывающейся на протяжении года. Представим каждую отдельную фазу e_j внутригодовой разбивки, по аналогии с годом, как автономную единицу и обозначим последовательность этих фаз в каждом i году e_{ij} . В этом случае балансовое состояние энергии j фазы i года определится равенством

$$e_{ij} = e_{i,j-1} + \bar{e} - \Delta e \frac{e_{i,j-1}}{|e_{i,j-1}|} - e_{i,j},$$

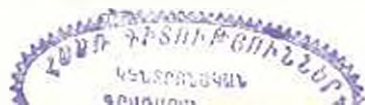
при $j = 1, 2, \dots, \infty$. Алгоритм расчета регулирования по фазовым единицам будет подобен алгоритму расчета по годовым величинам энергии [3] и может быть описан группой равенств

$$\Delta e_{ij} = \begin{cases} e_{ij} - \frac{W_p}{2} & \text{при } e_{ij} > \frac{W_p}{2}, \\ 0 & \text{при } \frac{W_p}{2} > e_{ij} > -\frac{W_p}{2}, \\ e_{ij} + \frac{W_p}{2} & \text{при } e_{ij} < -\frac{W_p}{2}, \end{cases}$$

где $e_{ij} = e_{i,j-1} + \Delta e_{i,j-1} + \bar{e} - \Delta e \operatorname{sgn} e_{i,j-1} - e_{ij}$. Очевидно, что если $j = 1$, то для любого очередного года i , то для $j = 1$ справедливо $e_{i,j-1} = e_{i-1,j}$ и $\Delta e_{i,j-1} = \Delta e_{i-1,j}$.

Расчет обеспеченности работы системы газопровод-газохранилище P_e и регулирующей способности газохранилища P_r определяется по числу дефицитных M_d (когда наблюдается недостаток в газе при полностью опорожненном газохранилище) и избыточных M_e лет (когда потребность в газе меньше поступления при полностью заполненном газохранилище). Вычисления M_d и M_e производятся подсчетом числа лет, в котором соответственно имеют неравенства $\Delta e_{ij} < 0$ и $\Delta e_{ij} > 0$.

В [3] было показано, что для любого заданного ряда газопотребления характерна определенная зависимость потребных объемов аккумулирующей емкости W_p от принятой обеспеченности P_e . Вопрос выбора величины обеспеченности, которому следует дать предпочтение, при выборе оптимальной величины аккумулирующей емкости по конкретному газопроводу с газопотребляющим объектом (ТЭС), упирается в необходимость проведения технико-экономического сопоставления нескольких вариантов газоснабжения. Сравнения различных вариантов обеспечения рассматриваемых объектов газом может проводиться лишь при сопоставимых условиях. Это значит, что сравниваемые варианты газоснабжения, имеющие разные обеспеченности передачи газа, путем дополнительных мер должны быть приведены к равным по величине обеспеченностям. Если в дефицитные по газу годы M_d недостающие количества его $\Delta e_{ij} < 0$ покрывать другим видом топлива, скажем мазутом или углем, то можно перебойные годы свести к какому-то заданному минимуму, оцениваемому новой величиной обес-



печенности P_* , характеризующей процент бесперебойности снабжения объекта обоими видами топлива.

Снабжение заданного объекта топливом требует соответствующих затрат. Суммарные затраты по линии газоснабжения [4] и по второму виду топлива будут служить тем числовым критерием, по которому можно будет выявить экономически оптимальный вариант топливообеспечения теплоэлектростанции. Задача, таким образом, заключается в следующем: при заданном газопроводе с максимальной производительностью $\bar{e} \pm \Delta e$, рассчитанной по среднесноголетней годовой потребности ТЭС в газе, работающей в основном на газовом топливе, найти такой объем многолетнего аккумуляирования W_p , при котором были бы минимальными суммарные расчетные затраты по газу и второму топливу вместе взятым по сравнению со всеми остальными вариантами, соответствующими другим значениям W_p . Сравнение должно проводиться при сопоставимых условиях, когда обеспеченность топливоснабжения P_* по всем вариантам приводится к одной величине. На основании осуществленных расчетов, по которым получена зависимость $W_p = f(P_*)$, соответственно по каждому варианту W_p вычисляются суммарные по всем годам дефициты и излишки энергоресурса $\Sigma(\Delta e_{ij} < 0)$ и $\Sigma(\Delta e_{ij} > 0)$ в эквиваленте — газа. В количестве $\Sigma(\Delta e_{ij} < 0)$ за рассчитанный период N лет и должен быть подан на ТЭС второй вид топлива для бесперебойной работы ее с обеспеченностью P_* , близкой к 100% . Если условимся, что будем подавать второй вид топлива не более некоторого максимального годового объема Δe_{x*} , то в случаях $\Delta e_{ij} > \Delta e_{x*}$ будем иметь перебойные годы. При числе этих лет, равном τ , обеспеченность работы ТЭС в режиме многолетнего регулятора определится выражением

$$P_* = \frac{N - \tau}{N - 1} 100\%.$$

Задаваясь различными уровнями подачи второго топлива Δe_{x*} и вычисляя соответствующие им значения $\Sigma(\Delta e_{ij} < \Delta e_{x*})$ и P_* , относящиеся к рассматриваемому объему аккумуляирования W_p , можно построить зависимости $\Sigma(\Delta e_{ij} < \Delta e_{x*})$ и Δe_{x*} от P_* . Произведя подобные расчеты для ряда значений W_p , получим серию таких кривых. Пользуясь этими кривыми, можно перейти к зависимости $\Sigma(\Delta e_{ij} < \Delta e_{x*})$ и Δe_{x*} от W_p , каждая из которых справедлива при определенной обеспеченности P_* .

На рис. 1 изображены упомянутые кривые для объекта с коэффициентом вариации многолетних колебаний газопотребления $C_g = 0,37$. Подобные кривые позволяют весьма просто определять для заданных величин объема аккумуляирования W_p соответствующие им значения потребных количеств второго вида топлива при заданной обеспеченности топливоснабжения P_* . Чтобы исключить влияние длины ряда N на оценку потребного количества второго топлива, значения $\Sigma(\Delta e_{ij} <$

$\langle \Delta e_{\text{в}} \rangle$ на рисунке приведены и среднегодовые величины $\frac{1}{N} \sum (\Delta e_{ij} < \Delta e_{\text{в}})$.

Полученные зависимости по конкретному многолетнему ряду регулирующей энергии с определенными параметрами α и β (или $C_{\text{г}}$)

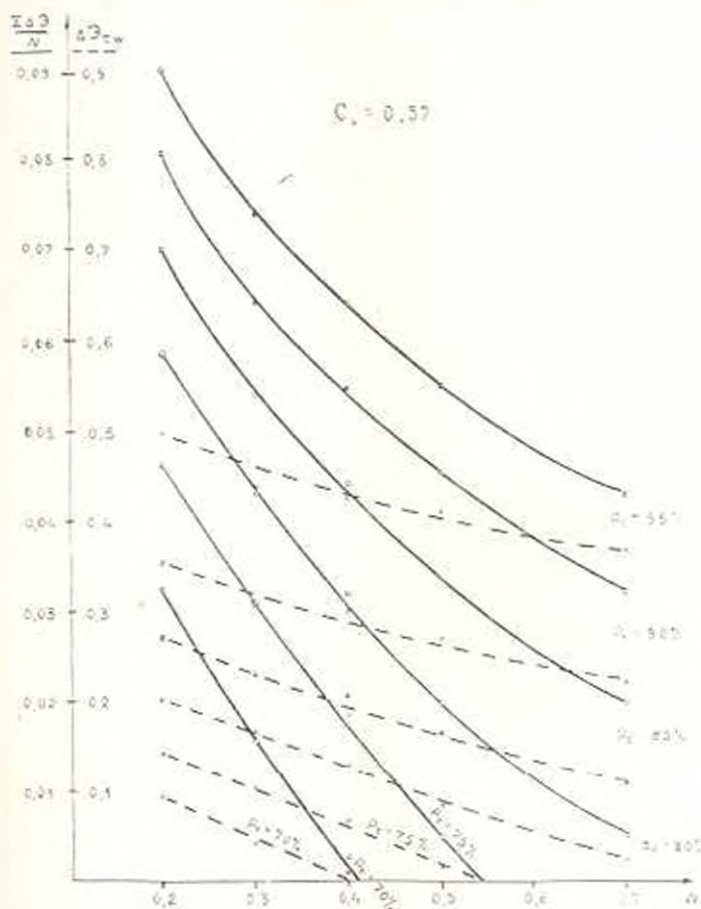


Рис. 1. Среднегодовые и максимальная годовые потребности во втором топливе в зависимости от объема аккумулярования W_p при различных обеспеченностях P_g топливообеспечения ТЭС.

будут справедливы для других объектов с подобными же параметрами. Если построить указанные зависимости для различного числа значений $C_{\text{г}}$, то окажется возможным весьма просто получать искомые значения объемов аккумулярования и потребного количества второго топлива, отвечающее объектам с заданными параметрами.

Для вычисления сумм избытков и дефицитов, соответствующих заданным значениям $\Delta e_{\text{в}}$, составлен алгоритм для проведения расчетов на ЭЦВМ

$$\Delta_{ij} = \begin{cases} \Delta e_{ij} & \text{при } \Delta e_{x-} > \Delta e_{ij} \geq -\Delta e_{x+}; \\ \Delta e_{x-} & \text{при } \Delta e_{ij} > \Delta e_{x+}; \\ -\Delta e_{x+} & \text{при } \Delta e_{ij} < -\Delta e_{x+}; \end{cases}$$

для $\Delta e_{x-}, \Delta e_{x+}, \dots$.

Вычисляются суммы $\sum_{i=1}^{t-1} \Delta_{ij}$ и $\frac{1}{N} \sum \Delta_{ij}$ отдельно для $\Delta_{ij} > 0$ и $\Delta_{ij} < 0$.

Осуществляется подсчет числа лет t , в котором имеют место $\Delta_{ij} > 0$ и $\Delta_{ij} < 0$.

Осуществляется подсчет числа всех действительных значений для $\Delta_{ij} > 0$ и $\Delta_{ij} < 0$.

Издержки производства по транспорту газа за многолетие и сравниваемых вариантов предлагается принять неизменными, так как имеющие место периодические колебания газопередачи носят случайный характер и могут быть учтены в среднем соответствующей величиной отклонения $\frac{1}{N} \sum (\Delta \mathcal{E}_i > 0)$ от среднемноголетней заданной передачи $\mathcal{E}$. Учет фактора удорожания удельных затрат κ при работе газопровода с неполной загрузкой осуществляется посредством выделения постоянной доли затрат ψ по выражению

$$\kappa = \kappa_0 + \frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}_p}{\mathcal{E}_p} \cdot \kappa(1 - \psi), \quad \mathcal{E}_p = \mathcal{E} - \frac{1}{N} \sum (\Delta \mathcal{E}_i > 0),$$

где κ' — приведенные удельные затраты к фактической среднемноголетней загрузке газопровода, κ — удельные затраты на транспорт газа при предельно возможной загрузке газопровода, ψ — коэффициент, показывающий долю постоянных затрат в транспорте газа. Средняя за многолетие годовая потребность во втором топливе $B_{\text{в}}$, соответствующая некоторому многолетнему объему аккумулялирования W_p при выбранной обеспеченности топливоснабжения P , определяется через среднемноголетний дефицит $\frac{1}{N} \sum (\Delta \mathcal{E}' < -\Delta \mathcal{E}_{\text{в}})$. Вычисленные расчетные затраты по обоим видам топлива при заданной величине обеспеченности топливоснабжения для разных значений объема аккумулялирования, связанных с транспортом и хранением этих видов топлив, позволяют найти суммарные затраты и кривую их изменения в зависимости от объема W_p .

Рассмотренную задачу можно решить при более широком исходном условии, когда для ТЭС оба вида топлива являются основными. В этом случае покрытие топливopотребления газом осуществляется до некоторого заданного уровня $e_{\text{ггг}}$. Превышающие этот уровень потребности $\Delta e' = e_i - e_{\text{ггг}} > 0$ покрываются вторым видом топлива. При таком способе покрытия топливopотребления среднемноголетняя

подача газа снизится на новый уровень $\bar{g}'$. Для любого выбранного уровня покрытия можно применить изложенную методику регулирования и получить соответствующие зависимости и номограммы для вычисления затрат. Сопоставление затрат при разных уровнях выравнивания позволит выбрать оптимальный вариант схемы топливоснабжения теплоэлектростанции.

АрмНИИЭ

Поступило 25 VIII.1967.

Է. Ս. ՊՈԿՈՍՅԱՆՈՎ

ՋԵՐԵԱԷԼԵԿՏՐՈՎԱՆԻ ԳԱԶԱՍՊԱՌՄԱՆ ԲԱԶՄԱՆՅԱՆ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԵԹՈԴԻԿԱՆԻ ՇՈՒՐՋՈՒ

Ա մ փ ո փ ո ս լ

Հրդեհածով շարագրված է խառն էներգատեսիսների մեջ աշխատող ջերմաէլեկտրակայանի կարգավորիչ էներգիայի բաղմամբ շարքի մոդելացման եղանակը հաշվի առնելով ներտարեկան անհամապատասխանությունը: Հաշվարկի եղանակը հենվում է փոփոխադրական փորձարկումների մեթոդի վրա՝ օգտագործելով բնորոշ տարիների էներգիայի տարեկան պատֆիկները (ֆրակցմանները) [2]: Առաջարկվում է ՋԷԿ-ի կրկնակի վառելիքա-մատակարարման հետ համակցված դադասպատման բաղմամբ կարգավորման հաշվարկի մեթոդիկա՝ մոդելացվող տրանստեկան էներգետիկ շարքերի միջոցով: Հիշյալ մեթոդիկայի միջոցով սրտվող կարգավորման համակարգիչայան բնութագրերը թույլ են տալիս կատարել տարբեր ախումուացիոն տարողություններով սրելիտի (ՋԷԿ) համակցված վառելիքա-դադամատակարարման սխեմաների տեխնիկա-տնտեսական համեմատություն: Նկարագրված մեթոդիկայով մեկ օրգնկտի համար, կատարված են համապատասխան հաշվարկներ, որոնց արդյունքները բերված են նոժոցրամի տեսքով: Վերջինիցս սղափելով, արված յուրաքանչյուր ախումուացիոն տարողության համար կարելի է անմիջապես ղտնել երկրորդ վառելիքի պահանջվող միջին բաղմամբ բանակը և զուգամտղի սղափող միջին բաղմամբ բննվածությունը, որոնք համապատասխանում են համակցված վառելիքամատակարարման աղանդվածության բնույնված մեծությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Погосбеков Э. С. Определение объема многолетнего аккумулирования газа для тепловых электростанций энергосистемы. Известия Академии наук Армянской ССР (серия Т. II), т. XX, № 1, 1967.
2. Сванидзе Р. Р. Моделирование гидрологических рядов с учетом внутригодового распределения стока (метод фрагментов). Тр. Института математики АН ГССР, т. XVII, 1963.
3. Погосбеков Э. С. Многолетнее регулирование газопотребления в энергетической системе. Известия Академии наук Армянской ССР (серия Т. II), т. XX, № 1, 1967.
4. Оселля А. М., Абдуллаева С. С. Экономика газохранилища в энергосистеме. Т., 1964.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Գ. Լ. ԱՐԵՎԻԱՆ, Ս. Տ. ЗАХАРЬЯՆ

РАСЧЕТ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ КОНТАКТНОГО
АППАРАТА СИНТЕЗА ВИНИЛАЦЕТАТА

Реактор парофазного синтеза винилацетата в стационарном слое катализатора представляет собой трубчатый контактный аппарат с отводом тепла посторонним теплоносителем. В системе автоматического регулирования контактный аппарат, как объект регулирования, представляет собой звено с распределенными по длине реактора параметрами. В настоящей работе приводится аналитический расчет передаточных функций реактора. При этом используются уравнения динамики контактного аппарата, полученные на основе закономерностей химической кинетики, тепло-массообмена. Рассматривается промышленный реактор Ереванского завода «Поливинилацетат» с двумя входами: начальной температурой пирогазовой смеси T_1 и начальной температурой хладагента (масла) $T_{\text{мол}}$. Выходами реактора являются: температура рабочей зоны контактного аппарата («горячая точка») T_{12} и конечная температура хладагента $T_{\text{кон}}$.

Статический режим контактного аппарата с достаточной точностью описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dl} = \frac{1}{\tau} \varphi(x, T) \\ \frac{dT}{dl} = A_1 \varphi(x, T) - B_1(T - T_n) \\ \frac{dT_{\text{мол}}}{dl} = -B_2(T - T_{\text{мол}}), \end{cases} \quad (1)$$

причем

$$\varphi(x, T) = k_0(1-x)Te^{-\frac{E}{RT}}, \quad (2)$$

$$A_1 = \frac{c_0 Q}{v c_v}, \quad (3)$$

где l — текущая длина трубки; T — температура в трубке; T_n — температура масла в межтрубном пространстве; x — степень превращения уксусной кислоты; B_1 , B_2 — параметры теплоотвода, $B_1 = \alpha s_{\text{вн}} / \tau c_v$, $B_2 = \alpha s_{\text{вн}} / \tau_{\text{мол}} c_{\text{мол}}$; c_0 , c_v — теплоемкости газов и масла; v , $\tau_{\text{мол}}$ — линейные скорости газового потока и масла; α — коэффициент теплоотдачи;

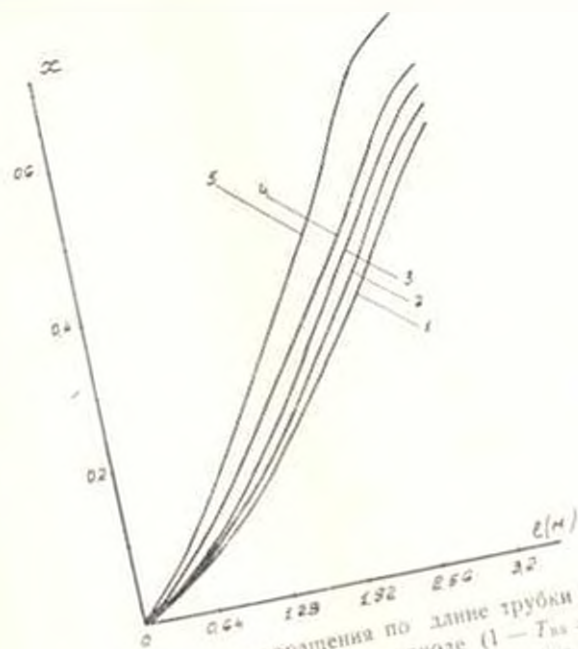
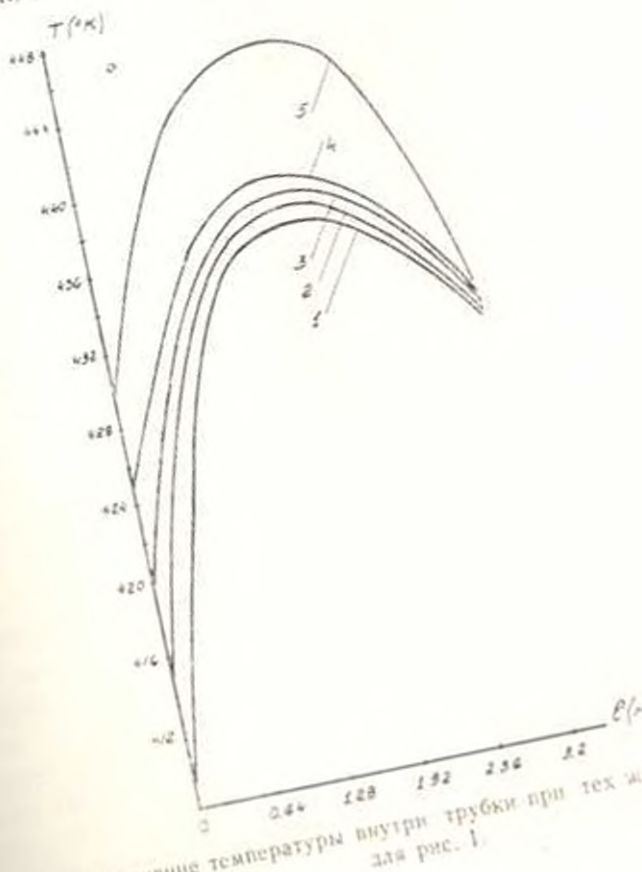


Рис. 1. Изменение степени превращения по длине трубки реактора при различных температурах парогазовой смеси на входе (1 — $T_{\text{вх}} = 409^\circ\text{K}$; 2 — 415°K ; 3 — 420°K ; 4 — 425°K ; 5 — 430°K) и при температуре масла на входе $T_{\text{мх}} = 420^\circ\text{K}$.



Изменение температуры внутри трубки при тех же условиях, что и для рис. 1.

$s_{\text{пл}}$ — удельная поверхность теплоотвода в слое катализатора, $s_{\text{пл}} = 2/R_0$; R_0 , L — радиус и длина трубки; E — энергия активации реакции; R — газовая постоянная; Q — теплота реакции; K_0 — константа скорости реакции. Граничные условия системы (1):

при $l = 0$, $x = 0$, $T = T_{\text{пл}}$; при $l = L$, $T_w = T_{\text{пл}}$. (4)

Параметры математического описания и решение уравнений статки (1) для промышленного реактора определены в [1].

По уравнениям (1) вычислены показанные на рисунках 1—3 ста-

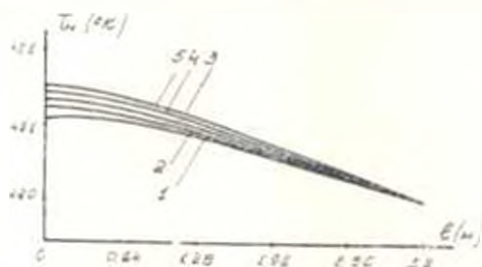


Рис. 3. Изменение температуры масла по длине реактора при тех же условиях, что и для рис. 1.

тические характеристики реактора при различных отклонениях одной входной величины: ($T_{\text{пл}} = 400, 415, 420, 425, 430$) и неизменных значениях другой ($T_{\text{пл}} = 420$). На рисунках 4, 5 показаны зависимости температуры средней зоны $T_{\text{ср}}$ ($l = 1, 2$) и температуры хладагента $T_{\text{хл}}$

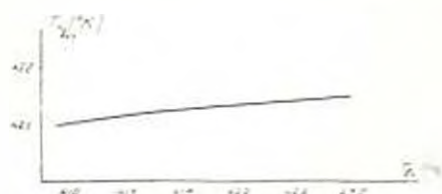


Рис. 4. Зависимость температуры масла при выходе из реактора от температуры парогазовой смеси на входе.

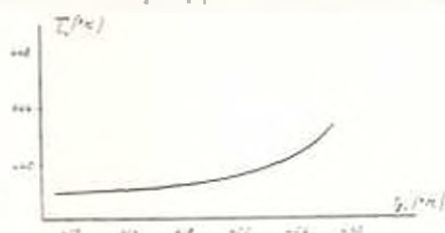


Рис. 5. Зависимость температуры в средней зоне от температуры парогазовой смеси на входе.

на выходе реактора ($l = 0$) от одного из входных параметров ($T_{\text{пл}}$). Графики на рисунках 3 и 5 линейны в достаточно широком интервале изменения входных величин.

На основании математического описания (1) получены уравнения нестационарного режима контактного аппарата

$$\begin{cases} \frac{\partial x}{\partial t} + v \frac{\partial x}{\partial l} = \gamma(x, T); \\ B_1 \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial T}{\partial l} = A_1 \gamma(x, T) - B_1 (T - T_w); \\ B_2 \frac{\partial T_w}{\partial t} - \frac{\partial T_w}{\partial l} = B_2 (T - T_w), \end{cases} \quad (5)$$

причем

$$B_1 = \frac{c_k \rho_k}{c_v v},$$

$$B_2 = \frac{1}{c_m v_m},$$

где c_k , ρ_k — теплоемкость и удельный вес катализатора,
 t — время.

Линеаризуя систему уравнений (5) для малых отклонений и преобразуя по Лапласу по переменной t , получаем систему уравнений в обыкновенных производных:

$$\begin{cases} v \frac{dx}{dt} = \left[\left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right)_{x_{ст}, T_{ст}} - s \right] \bar{x} + \left(\frac{\partial \psi}{\partial T} \right)_{x_{ст}, T_{ст}} \bar{T}, \\ \frac{dT}{dt} = (F_1 - B_1 - B_2 s) \bar{T} + \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right)_{x_{ст}, T_{ст}} \bar{x} + B_1 \bar{T}_u, \\ \frac{dT_u}{dt} = -B_2 \bar{T} - (B_2 + B_3 s) \bar{T}_u, \end{cases} \quad (6)$$

где s — оператор Лапласа;

$\bar{x}$, $\bar{T}$, $\bar{T}_u$ — изображения по Лапласу соответствующих отклонений Δx ,

ΔT , ΔT_u от стационарных состояний в данном сечении;

F_1 — коэффициент ряда Тейлора

$$F_1 = A_1 \left(\frac{\partial \psi}{\partial T} \right)_{x_{ст}, T_{ст}}.$$

Здесь A_1 взято из (3), $\psi(x, T)$ — из (2); $T_{ст}$ и $x_{ст}$ — стационарные значения параметров в данном сечении.

Для получения передаточных функций необходимо решить систему (6) трех нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Нелинейность вызвана тем, что $T_{ст}$ и $x_{ст}$ являются функциями параметра l . Для нахождения решения в первом приближении примем $T_{ст}$ и $x_{ст}$ независимыми от l и равными среднему по длине трубки значению, определяемому из статических характеристик. Таким образом, система (6) становится линейной и допускает решение в численном виде (требуется решение детерминанта третьего порядка). Примем также, что степень превращения x мало изменяется при подаче возмущения по каналам масла и парогазовой смеси, т. е. пренебрегаем первым уравнением системы (6). Это допущение несколько искажает действительную картину динамики процесса, но позволяет получить в первом приближении аналитическое решение системы (6), так как при этом требуется решение детерминанта второго порядка, что не составляет особых затруднений.

Обозначим

$$\bar{w}_1(s) = \bar{T} \bar{T}_{вх}; \quad \bar{w}_2(s) = \bar{T}_u \bar{T}_{ст}.$$

Тогда с учетом этих допущений систему (6) можно представить в виде

$$\begin{cases} \frac{d\omega_1}{dt} = (F_1 - B_1 - B_3 s) \omega_1 + B_1 \omega_2; \\ \frac{d\omega_2}{dt} = -B_2 \omega_1 - (B_2 + B_3 s) \omega_2. \end{cases} \quad (7)$$

Граничные условия системы (7) получаются из (4), причем T_{in} — ступенчатая функция

$$\text{при } t = 0, \quad \omega_1(s) = 1, \quad \omega_2(s) = 0.$$

Система (7) решается операторным методом. Решение имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \omega_1(s) &= \frac{(B_3 + B_3 s + p_1) e^{p_1 t} + (-B_2 - B_3 s - p_2) e^{p_2 t}}{p_1 - p_2}; \\ \omega_2(s) &= \frac{B_2 (e^{p_1 t} - e^{p_2 t})}{p_1 - p_2}, \end{aligned} \quad (8)$$

где p_1, p_2 — корни уравнения

$$(p - F_1 + B_1 - B_3 s)(p + B_2 + B_3 s) + B_1 B_2 = 0.$$

Производя аналогичные выкладки относительно передаточных функций

$$\omega_3(s) = \frac{\bar{T}}{T_{max}}, \quad \omega_4(s) = \frac{T_n}{T_{max}},$$

получим систему уравнений

$$\begin{cases} \frac{d\omega_3}{dt} = (F_1 - B_1 - B_3 s) \omega_3 + B_1 \omega_4; \\ \frac{d\omega_4}{dt} = -B_2 \omega_3 - (B_2 + B_3 s) \omega_4 \end{cases} \quad (9)$$

с граничными условиями

$$\text{при } t = l, \quad \omega_3(s) = 0, \quad \omega_4(s) = 1.$$

Решение системы (9) имеет вид

$$\begin{aligned} \omega_3(s) &= \frac{B_1 [e^{p_2(l-l)} - e^{p_1(l-l)}]}{p_2 - p_1}; \\ \omega_4(s) &= \frac{(-F_1 + B_1 + B_3 s - p_1) e^{p_1(l-l)} + (F_1 - B_1 - B_3 s + p_2) e^{p_2(l-l)}}{p_2 - p_1}, \end{aligned} \quad (10)$$

где p_1, p_2 — корни уравнения

$$(p - F_1 + B_1 - B_3 s)(p + B_2 + B_3 s) + B_1 B_2 = 0.$$

Для контактного аппарата с параметрами, приведенными в [1], передаточные функции, рассчитанные по (8) и (10), после упрощения имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}\omega_1(s) &= 0,445 \frac{1 + 54s}{1 + 58s} e^{-4s}; \\ \omega_2(s) &= 0; \\ \omega_3(s) &= 4,56 \frac{1}{1 + 58s} e^{-2s}; \\ \omega_4(s) &= 1,066 \frac{1 + 56s}{1 + 58s} e^{-2s}.\end{aligned}\quad (11)$$

Приведенный метод определения передаточных функций выгодно отличается от метода [2] тем, что не требуется приближенного перехода от $s = j\omega$ к $s = \omega$ и нахождения численных решений системы (7) при различных $s = \omega$ и их последующей аппроксимации.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 28.VIII.1967.

Վ. Լ. ԱՐԵՇՅԱՆ, Ս. Ս. ԶԱՐԻՅԱՆ

ՎԻՆԿԱՅԵՍԱՏԻ ՈՐԵՐԵՐԻ ԿՈՆՏԱԿՏԱՅԻՆ ԱՊԱՐԱՏԻ ՓՈՆԱՆԳՈՒՆ ՖԱԽԱՆԵՅԻՆԻ ՇԱՀՎԱՐԿՈՒՄԸ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Ավտոմատ կարգավորման սխեմանում կոնտակտային աղարատն իրենից ներկայացնում է ուսկտորի երկարությամբ բաշխված պարամետրներով օղակ: Հոգնածում առաջարկված է ուսկտորի փախանցման ֆունկցիաների ճաշվարկման անալիտիկ մեթոդ: Փոխանցման ֆունկցիաները որոշվում են կոնտակտային աղարատի դինամիկան պատկերող մասնակի ածանցյալներով դիֆերենցիալ հավասարումների սխեմանից: Փոխանցման ֆունկցիաների ճաշվարկումը դիտված է կատարիդատորի կայուն շերտում վինիլացետատի շոգեզաղային սինթեզի արդյունաբերական ուսկտորի օրինակով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арцинян Г. А., Захарьян С. С. Сб. тр. факультета технической кибернетики Ереванского политехнического института.
2. Сб. тр. „Моделирование и оптимизация каталитических процессов“, 1965. Изд. „Наука“ (статья Б. Бескова и Ю. Матросы).

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Н. А. МАТЕВОСЯН

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ТОЧНОСТИ АНАЛОГОВЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В статье рассматривается методика расчета точности аналоговых математических модулей (АММ), описываемых системами нелинейных дифференциальных уравнений, основанная на выполнении расчетов с применением аналоговых моделей. В общем случае АММ может быть реализована для решения системы нелинейных дифференциальных уравнений вида:

$$f_s(x_1, \dots, x_n, x_1, \dots, x_n, b_1, \dots, b_m, a_1, \dots, a_r, t) = 0, \quad (1)$$

$$(s = 1, 2, \dots, n)$$

где x_i — зависимое переменное ($i = 1, 2, \dots, n$);

$\dot{x}_i$ — производная по времени от зависимой переменной;

b_j — заданное или независимое переменное ($j = 1, 2, \dots, m$);

a_s — коэффициент ($s = 1, 2, \dots, r$);

t — время в сек.

Построенная на основе (1) математическая модель обычно содержит помимо основных решающих блоков целый ряд дополнительных устройств, например, таких как инверторы, блоки постоянных и переменных коэффициентов, а также паразитные проводимости, емкости и индуктивности в различных частях решающих блоков. В результате, так называемые машинные уравнения математической модели содержат большее число параметров, чем заданные исходные уравнения. Поэтому при рассмотрении точности АММ в основу исследования следует брать не исходные, реализованные на модели уравнения (1), а машинные уравнения.

Систему машинных уравнений АММ, построенную для реализации (1), можно в общем случае представить так:

$$U_i = F_i(U_1, \dots, U_n, U_m, \dots, U_m, K_1, \dots, K_l, t), \quad (2)$$

где U_i — машинное переменное или выходное напряжение;

$\dot{U}_i$ — производная машинной переменной по машинному времени t ;

U_m — заданное или входное напряжение;

K_q — коэффициент передачи решающего блока ($q = 1, 2, \dots, l$).

Для случая суммирующего и функционального блоков машинное уравнение (2) в левой части вместо производной $\dot{U}_i$ имеет U_i . При

учете в схеме АММ паразитного параметра, машинное уравнение составляется с учетом этой погрешности в виде параметра схемы, имеющего погрешность, но с номиналом, равным нулю.

При исследовании точности АММ, в качестве „первичных ошибок“ [1, 2] удобно рассматривать не погрешности параметров отдельных деталей, таких как R, L, C , а погрешности решающих блоков в целом, т. е. ошибки их коэффициентов передач K_q .

Разлагая (2) в ряд Тейлора по степеням приращений (погрешностей) $\Delta U_{\delta i}, \Delta K_q$, параметров $U_{\delta i}, K_q$, ограничиваясь членами первого порядка малости и вычитая из полученных уравнений уравнения (2) „идеальной“ АММ, получим выражение для расчета погрешностей выходных параметров исследуемой модели, вида

$$\Delta U_i = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial F_j}{\partial U_{\delta j}} \right)_0 \Delta U_{\delta j} + \sum_{q=1}^m \left(\frac{\partial F_j}{\partial K_q} \right)_0 \Delta K_q, \quad (3)$$

Это выражение может быть получено также путем замены в выражении полного дифференциала уравнения (2) знака дифференциала d знаком приращения Δ . При учете дрейфа нуля усилителей в (3) следует включить дополнительную сумму

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F_j}{\partial U_{\delta i}} \right)_0 \Delta U_{\delta i},$$

где $\Delta U_{\delta i}$ — напряжение дрейфа нуля. Индекс 0 при частных производных (3) означает, что частная производная берется без учета погрешности параметров математической модели.

Для расчета ошибки наиболее сложным представляется вычисление значений частных производных (3), которые в общем случае для АММ, предназначенной для решения систем нелинейных дифференциальных уравнений, могут быть сложными функциями от входных параметров, от параметров схемы модели и от времени. Степень влияния погрешностей отдельных решающих устройств на точность решения можно ориентировочно установить путем небольших изменений непосредственно на исследуемой АММ величин ее параметров. Такой способ исследования может быть применен при ориентировочном анализе. Однако для осуществления расчетов точности с целью получения количественных соотношений, этот способ не приемлем.

Расчет и исследование точности сложного устройства можно выполнить с помощью (3) по заранее вычисленным значениям частных производных. В работах [2—5] предложены различные аналитические и экспериментальные методы их определения. Однако осуществление подобных расчетов для АММ, реализованных для решения систем нелинейных дифференциальных уравнений, у которых частные производные и погрешности параметров решающих блоков представляют сложные функции от входных параметров и времени, требует также выполнения значительного объема математических операций.

При расчете частных производных, необходимых для исследова-

ния точности механических и электронных систем, в работах предложены методы построения так называемых „преобразованных механизмов“ и „преобразованных цепей“. Основываясь на этих методах и принимая во внимание особенности АММ, представляется целесообразным для выполнения расчета ΔU использовать ту же аналоговую модель.

Представим в общем случае блок-схему модели для расчета точности АММ при наличии только одной ошибки ΔU_{bf} . Согласно (2) имеем:

$$\Delta U_i = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial F_i}{\partial U_j} \right)_0 \Delta U_j + \left(\frac{\partial F_i}{\partial U_{bf}} \right)_0 \Delta U_{bf}. \quad (4)$$

Уравнение (4) представляет в общем случае систему n линейных дифференциальных уравнений с постоянными и переменными коэффициентами, зависящих от машинных переменных U_j . С целью повышения точности расчета, увеличим номиналы ΔU_i , ΔU_{bf} , ΔK_j , путем умножения уравнений (4) на постоянный коэффициент M . В результате (4) перепишем в следующем виде

$$\dot{U}_i^* = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial F_i}{\partial U_j} \right)_0 U_j^* + \left(\frac{\partial F_i}{\partial U_{bf}} \right)_0 U_{bf}^*, \quad (5)$$

где $U_i^* = \Delta U_i \cdot M$ и $U_{bf}^* = \Delta U_{bf} \cdot M$.

На основе полученной системы (5) линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами составим блок-схему так называемой „преобразованной“ модели. Напряжения U_i , необходимые для реализации переменных коэффициентов формулы 5, можно получить с выходов исследуемой АММ согласно схеме, представленной на рис. 1.

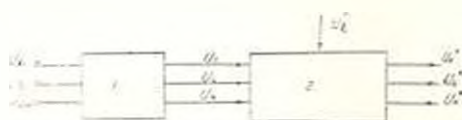


Рис. 1. Блок-схема модели при погрешности входного напряжения.

На рис. 1 блок 1 представляет схему исследуемой АММ, а блок 2—схему „преобразованной“ модели. На вход блока 2 подается напряжение U_{bf} от отдельного источника питания, а напряжения $U_1, \dots, U_n$ с выходов блока 1. На выходе блока 2 получаем напряжения $U_1^*, \dots, U_n^*$, соответствующие погрешностям выходных напряжений $U_1, \dots, U_n$ от ошибки в напряжении U_{bf} .

Аналогично предыдущему, систему уравнений для вычисления ошибок выходных напряжений только от ошибки ΔK_j , согласно (2), можно представить так

$$\Delta U_i = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial F_i}{\partial U_j} \right)_0 \Delta U_j + \left(\frac{\partial F_i}{\partial K_j} \right)_0 \Delta K_j. \quad (6)$$

Частная производная $\left(\frac{\partial F_i}{\partial K_q}\right)_0$ для случая линейного решающего блока представляет собой напряжение, полученное от поданного на соответствующий вход усилителя, имеющего коэффициент передачи K_q . Значение ΔK_q при рассмотрении функционального блока можно представить в виде функции выходного напряжения этого блока, т. е. $\Delta K_q = f_q(U_i)$. Для блока произведения ΔK_q представляет сложную функцию от двух его входных напряжений, которую приближенно, с целью удобства моделирования, можно представить в виде функции от выходного напряжения множительного блока, т. е. $\Delta K_{q,m} = f_q(U_{i,m})$.

Умножая систему линейных дифференциальных уравнений (6) на постоянный множитель M , аналогично предыдущему получим

$$U_i^* = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F_i}{\partial U_i}\right)_0 U_i^* + \left(\frac{\partial F_i}{\partial K_q}\right)_0 K_q^* \quad (7)$$

На рис. 2 блок 1 соответствует схеме исследуемой АММ, а блок 2 — схеме „преобразованной“ модели, построенной на основании (7).

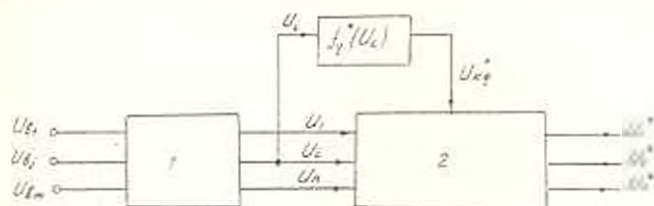


Рис. 2. Блок-схема модели при погрешности коэффициента передачи.

На вход блока 2 подается напряжение, пропорциональное K_q^* , получаемое с нелинейного блока, реализующего функцию $U_{eq}^* = f_q^*(U_i)$.

Исходя из рассмотренных частотных случаев, расчетную схему, соответствующую (2), при наличии погрешностей во всех входных напряжениях и в коэффициентах передач решающих блоков, можно представить в виде схемы рис. 3.

Модель, собранная согласно схеме рис. 3, позволяет вычислить погрешности выходных напряжений АММ от совместного влияния погрешностей отдельных ее устройств. С помощью рассмотренной методики можно выполнить расчет точности только для конкретной единичной АММ.

При рассмотрении серии одинаковых моделей расчет точности проводится на основании вероятностных формул, с помощью которых вычисляются математическое ожидание $M_0 O(\Delta U_i)$, дисперсия $\sigma^2(\Delta U_i)$ и допуск $\Delta(\Delta U_i)$ выходных параметров модели, по известным значениям математического ожидания, дисперсии и допуска параметров отдельных решающих блоков.

Уравнения (4) и (6) после ряда преобразований можно представить так

$$\Delta U_s = \left(\frac{\partial \Phi_s}{\partial U_{vj}} \right)_0 \Delta U_{vj} \quad (8)$$

и

$$\Delta U_s = \left(\frac{\partial \Phi_s}{\partial K_q} \right)_0 \Delta K_q, \quad (9)$$

где частные производные представляют собой коэффициенты влияния погрешностей отдельных решающих блоков на погрешность выход-

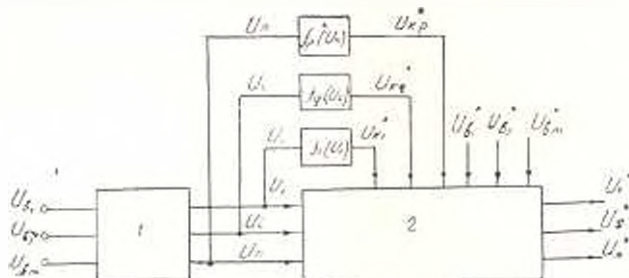


Рис. 3.

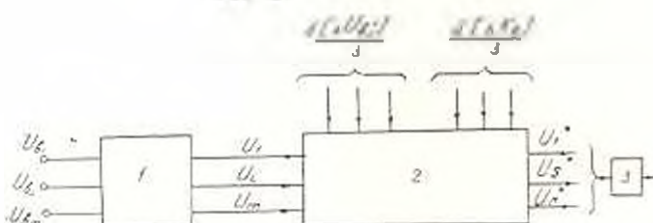


Рис. 4.

Рис. 3. Блок-схема модели при наличии погрешностей во всех узлах и входных параметрах модели.

Рис. 4. Блок-схема для расчета слагаемых уравнения допуска.

ных напряжений. Значения частных производных можно вычислить с помощью схем моделей рис. 1 и рис. 2. С этой целью значения U_{vj} и U_{k0} следует принять равными единице. Тогда напряжения ΔU_s согласно (8) и (9) будут соответствовать величинам коэффициентов влияния.

Предполагая, что распределение случайных ошибок решающих блоков АМ подчиняется симметрично расположенной кривой закона Гаусса, формулы для определения математического ожидания, дисперсии и допуска можно представить так

$$M. O. |\Delta U_s| = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial \Phi_s}{\partial U_{vj}} \right)_0 M. O. |\Delta U_{vj}| = \sum_{q=1}^l \left(\frac{\partial \Phi_s}{\partial K_q} \right)_0 M. O. |\Delta K_q|; \quad (10)$$

$$\sigma^2 |\Delta U_s| = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial \Phi_s}{\partial U_{vj}} \right)_0^2 \sigma^2 |\Delta U_{vj}| + \sum_{q=1}^l \left(\frac{\partial \Phi_s}{\partial K_q} \right)_0^2 \sigma^2 |\Delta K_q|; \quad (11)$$

$$\hat{\varepsilon}[\varepsilon U_s] = \left\{ \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial \Phi_s}{\partial U_{bj}} \right)_0 (\hat{\varepsilon} |\Delta U_{bj}|)^2 + \sum_{q=1}^l \left(\frac{\partial \Phi_s}{\partial K_q} \right)_0 (\hat{\varepsilon} |\Delta K_q|)^2 \right\}^{1/2}. \quad (12)$$

Уравнение (12) используется как в задачах анализа точности АММ, т. е. для вычисления величины допуска ошибки выходного напряжения по известным допускам отдельных параметров модели, так и в задачах синтеза, где по заданному значению допуска на выходное напряжение требуется установить допуски на погрешности параметров решающих блоков.

Расчеты точности с помощью формул (10)–(12) для моделей описываемых системами нелинейных уравнений представляется удобным проводить также с помощью аналоговых моделей. Так для расчета с помощью схемы рис. 3 допуска выходного напряжения, на вход преобразованной модели вместо напряжений, пропорциональных ΔU_{bj} и ΔK_q , следует подать поочередно на соответствующие входы напряжения, пропорциональные $\hat{\varepsilon} |\Delta U_{bj}|$ и $\hat{\varepsilon} |\Delta K_q|$, тогда на выходе модели, согласно уравнениям (8) и (9), соответственно получим напряжения, пропорциональные выражениям

$$\left(\frac{d\Phi_s}{dU_{bj}} \right)_0 \cdot \hat{\varepsilon} |\Delta U_{bj}| \text{ и } \left(\frac{d\Phi_s}{dK_q} \right)_0 \cdot \hat{\varepsilon} |\Delta K_q|.$$

Подавая поочередно эти напряжения на вход квадратора, получим слагаемые подкоренного выражения (12), сумма которых будет соответствовать напряжению, пропорциональному $\hat{\varepsilon} |\Delta U_s|$. Блок-схема для вычисления значений слагаемых (12) представлена на рис. 4.

На рис. 4 блок 2 соответствует схеме „преобразованной“ модели, составленной для общего случая наличия всех возможных ошибок, блок 3—соответствует квадратору.

В качестве примера рассмотрим расчетную схему для исследования точности АММ синхронного генератора, описываемого системой уравнений вида

$$\begin{aligned} \frac{dU_d}{dt} &= -314U_q - \frac{dU_r}{dt}; \quad \frac{dU_r}{dt} = 0,177e_r - 0,177U_r - 0,662 \frac{dU_d}{dt}; \quad (13) \\ \frac{dU_q}{dt} &= 314U_d + 314U_r; \quad C \frac{d^2\theta}{dt^2} = M_m - U_q \left[\left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) U_d + \frac{1}{x_q} U_r \right]. \end{aligned}$$

Блок-схема моделирования (13) показана на рис. 5.

Машинные уравнения схемы (рис. 5) можно представить так:

$$\begin{aligned} U_1 &= -K_{21}U_1 - K_{23}U_3 & U_9 &= -K_{10}U_1 \\ U_2 &= -K_{22}U_2 - K_{24}U_4 & U_{10} &= -K_{11}U_1 \\ U_3 &= -K_{31}U_1 - K_{32}U_2 - K_{33}U_3 - K_{34}U_4 & U_5 &= -K_{55}U_5 \\ U_4 &= -K_{41}U_1 - K_{42}U_2 - K_{43}U_3 - K_{44}U_4 & U_6 &= -K_{66}U_6 \\ U_7 &= -K_{71}U_1 - K_{72}U_2 - K_{73}U_3 - K_{74}U_4 & U_8 &= -K_{88}U_8 \\ U_9 &= -K_{91}U_1 - K_{92}U_2 - K_{93}U_3 - K_{94}U_4 & U_{10} &= -K_{10}U_{10} \end{aligned} \quad (14)$$

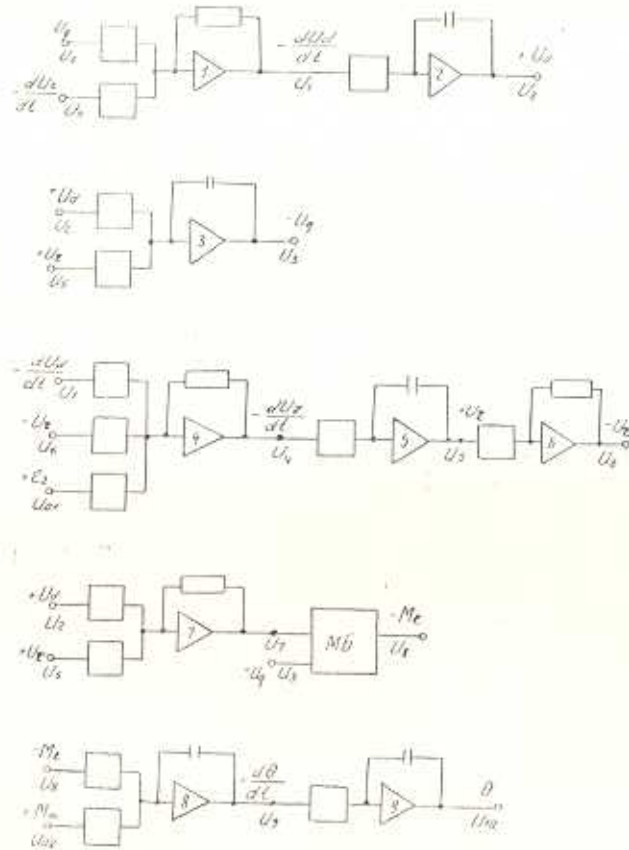


Рис. 5. Схема моделирования уравнений синхронного генератора.

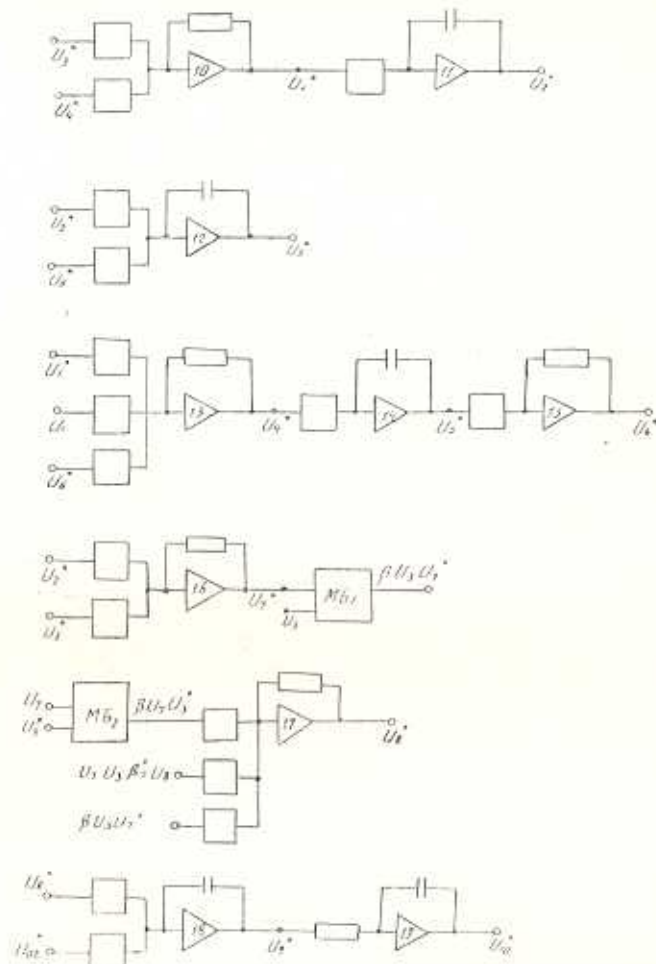


Рис. 6. Схема преобразованной модели синхронного генератора.

При наличии ошибок ΔK_{11} , $\Delta \beta$ и ΔU_{02} согласно уравнениям (3) получим:

$$\begin{aligned}\Delta U_1 &= -K_{11} \cdot \Delta U_2 - K_{12} \Delta U_4 & \Delta U_2 &= -K_{12} \cdot \Delta U_1 \\ \Delta U_3 &= -K_{22} \cdot \Delta U_2 - K_{23} \Delta U_5 & \Delta U_5 &= -K_{23} \cdot \Delta U_3 \\ \Delta U_4 &= -K_{11} \cdot \Delta U_2 - U_1 \cdot \Delta K_{11} - K_{61} \cdot \Delta U_8 & \Delta U_8 &= -K_{61} \Delta U_4 \\ \Delta U_7 &= -K_{22} \cdot \Delta U_2 - K_{37} \Delta U_5 & \Delta U_{10} &= -K_{99} \Delta U_9 \\ \Delta U_9 &= -\Delta \beta \cdot U_1 U_2 - \beta \cdot U_1 \cdot \Delta U_2 - \beta \cdot U_2 \Delta U_1 \\ \Delta U_{10} &= -K_{99} \Delta U_9 - K_{10,8} \cdot \Delta U_{10,2}\end{aligned}$$

Эти уравнения должны быть умножены на постоянный множитель M , причем так, чтобы максимальные значения напряжений не превышали 100 в. Схема „преобразованной“ модели представлена на рис. 6. Для получения решения необходимо подать на входы „преобразованной“ модели (рис. 6) напряжения U_1 , U_2 , U_7 , U_8 с выходов модели (рис. 5).

В заключение автор выражает свою благодарность Г. А. Арешяну за ценные замечания, учтенные при редактировании статьи.

АрмНИИЭ

Поступило 13.VI.1967.

Պ. Ա. ՄԱԹԵՎՈՅԱՆ

ԱՆԱԼՈՒԿԱՅԻՆ ԻՄՔԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՋԸ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Հողվածում արված է անալոգային մաթեմատիկական մոդելների վրա ոչ գծային դիֆերենցիալ համասարումների սխեմաների լուծման ժամանակ ճշտության հաշվարկի մեթոդ՝ օգտագործելով նույն անալոգային մոդելը:

Ճշտության հաշվարկը առաջարկվում է կատարել ոչ թե մասնակի ածանցյալներով, այլ փոփոխականի սխալի և ելքի սխալի ֆունկցիոնալ կախվածության անմիջական իրականացումով մոդելի վրա: Բերված է սինխրոն գեներատորի համար անալոգային մոդելի ճշտության հաշվարկի և մոդելի սխեմայի կառուցվածքի օրինակ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бруевич Н. Г. Точность механизмов. М., 1916.
2. Быховский М. А. Основы динамической точности электрических и механических цепей. Изд. АН СССР, М., 1958.
3. Melsinger H. Parameter Influence Coefficients and weighting Functions Applied to Perturbation Analysis of Dynamic Systems, III ASJCA. Kongress, September 1961, Belgrade.
4. Miller K. S., Murray F. F. Error Analysis for Differential Analyzers. WADC, Technical Report 54-250. September, 1956.
5. Томович Р., Карлаче У. Быстродействующие аналоговые вычислительные машины. М., 1964.
6. Доступов Б. Г. Об одном методе оценки точности сложных интегрирующих устройств. Труды института машиноведения. Семинар по точности в машиностроении и приборостроении. Изд. АН СССР, вып. 9. М., 1957.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

А. Г. АКОНЯН

ФЕРМЫ С УДЛИНЕННЫМИ РАДИАЛЬНЫМИ ВАНТАМИ

В настоящей статье рассматривается предложенная автором однопролетная вантовая ферма с удлиненными радиальными вантами, в которой балка жесткости обжимается усилиями в вантах фермы. Ферма представляет собой обычную радиально-вантовую систему (рис. 1)

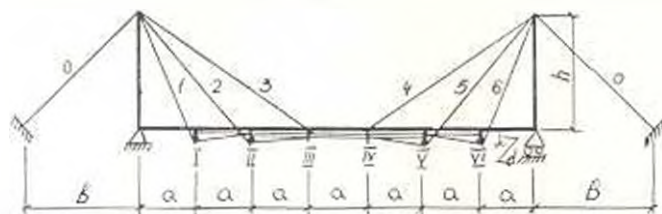


Рис. 1. Схема фермы с удлиненными радиальными вантами.

с оттяжками 0. Вантами 3 и 4 закрепляются в точках III и IV как в обычных системах, а вантами 1, 2, 5, 6 пропускаются под балкой жесткости через подвижные опорные части и закрепляются соответственно в точках I, II, V, VI с некоторым эксцентриситетом. Крепление вант 1, 2, 5, 6 такое, что обеспечивается их горизонтальное перемещение в точках II, III, IV, V.

Для выявления влияния изменения основных параметров указанной системы на величину расчетных усилий система решена в общем виде. При этом приняты следующие обозначения:

EJ — жесткость балки; E_1F — жесткость вант; E_1F_1 — жесткость оттяжек; b — горизонтальная проекция оттяжки; h — высота пилона; d — эксцентриситет пропуска вант под балкой жесткости относительно оси балки; a — длина панели фермы; l_0 — длина оттяжки; l_1, l_2, l_3 — длины соответствующих вант; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — углы наклона вант к горизонту; β_1, β_2 — углы наклона частей вант, пропущенных под балкой, к горизонту.

Балку жесткости фермы можно представить в виде балки на двух жестких и шести упруго-проседающих опорах. Реакции опор под действием внешней нагрузки выражаются через усилия в вантах. Например, вертикальная реакция во втором узле фермы

$$R_2 = S_2 (\sin \alpha_2 + \sin \beta_{22}) - S_1 (\sin \beta_{11} + \sin \beta_{12} - 2 \sin \beta_{12}),$$

где S_1 — усилие в ванте.

Кроме того, в узлах 1, 2, 5, 6 вследствие эксцентриситета закрепления вант, возникают пары сил

$$M_1 = S_1 \frac{d}{2} \cdot \cos \beta_{16}; \quad M_2 = S_2 \frac{d}{2} \cos \beta_{12}.$$

Основная расчетная схема получена введением дополнительных шарниров в балку жесткости в узлах фермы. Системы единичных неизвестных (моменты) и единичной внешней нагрузки разбиты на симметричную и кососимметричную. Получены буквенные выражения усилий S в вантах и оттяжке от единичных неизвестных и подвижной единичной внешней нагрузки. Например, при действии единичного неизвестного момента в первом узле фермы, имеем

$$\begin{aligned} S_{11} &= \frac{2}{a \left(\sin \alpha_1 + \sin \beta_{11} - \frac{d}{2a} \right)}; \\ S_{12} &= \frac{S_{11} \left(\sin \beta_{11} - 2 \sin \beta_{12} + \sin \beta_{16} - \frac{d}{2a} \right) - \frac{1}{a}}{\sin \alpha_2 + \sin \beta_{12} - \frac{d}{2a}}; \\ S_{21} &= \frac{2 S_{11} \sin \beta_{12} + S_{21} \left(\sin \beta_{22} + \sin \beta_{11} - \frac{d}{2a} \right)}{\sin \alpha_3}; \\ S_{01} &= \frac{S_{11} \cos \alpha_1 + S_{21} \cos \alpha_2 + S_{31} \cos \alpha_3}{\cos \alpha} \end{aligned}$$

где S_{ik} — усилие в ванте i при действии единичного неизвестного в узле k .

При действии единичной внешней нагрузки в первой панели имеем

$$\begin{aligned} S_1^{(1)} &= \frac{X}{a \left(\sin \alpha_1 + \sin \beta_{11} - \frac{d}{2a} \right)}; \\ S_1^{(1)} &= \frac{S_1^{(1)} \left(\sin \beta_{11} - 2 \sin \beta_{12} + \sin \beta_{16} - \frac{d}{2a} \right)}{\sin \alpha_2 + \sin \beta_{12} - \frac{d}{2a}}; \\ S_2^{(1)} &= \frac{2 S_1^{(1)} \sin \beta_{12} + S_2^{(1)} \left(\sin \beta_{22} + \sin \beta_{11} - \frac{d}{2a} \right)}{\sin \alpha_3}; \\ S_0^{(1)} &= \frac{S_1^{(1)} \cdot \cos \alpha_1 + S_2^{(1)} \cdot \cos \alpha_2 + S_3^{(1)} \cdot \cos \alpha_3}{\cos \alpha} \end{aligned}$$

где $S_i^{(k)}$ — усилие в ванте i при действии единичной внешней нагрузки в панели k ; X — расстояние единичной силы от левого шарнира.

Имея выражения усилий в вантах и оттяжке при действии единичных неизвестных и усилий, можно получить выражения для коэффициентов и свободных членов системы канонических уравнений метода сил. Эти коэффициенты учитывают влияние момента в балке жесткости, усилия в вантах, усилия в оттяжке.

Например,

$$c_{11} = \frac{2}{3EJ} a \left[2 + S_{11}^2 \left(\frac{d}{2} \right)^2 + S_{12}^2 \left(\frac{M}{2} \right)^2 \right];$$

$$f_{11} = \frac{2}{E_1 F_1} (l_{11} S_{11}^2 + l_{12} S_{12}^2 + l_1 S_{13}^2);$$

$$f_{21} = \frac{2}{E_1 F_1} l_0^* S_{11}^2.$$

Соответствующие свободные члены системы канонических уравнений имеют вид

$$\Delta_{1p} = \frac{2a}{3EJ} \left[S_{11} \cdot S_{11}^{(1)} \left(\frac{d}{2} \right)^2 + S_{11}^{(1)} \cdot \frac{d}{2} + S_{11} S_{12}^{(1)} \left(\frac{d}{2} \right)^2 - \right. \\ \left. - \frac{N(a-N)}{2a} \left(1 - \frac{N}{a} \right) \right];$$

$$\Delta_{1p} = \frac{2}{E_1 F_1} (l_{11} \cdot S_{11}^{(1)} \cdot S_{11} + l_{12} \cdot S_{12}^{(1)} \cdot S_{21} + l_1 \cdot S_{11}^{(1)} \cdot S_{11});$$

$$\Delta_{1p} = \frac{2}{E_1 F_1} l_0^* S_{11}^{(1)} \cdot S_{11}.$$

В полученном решении учтено то обстоятельство, что в некоторых случаях может потребоваться создание предварительного выгиба балки жесткости. Поэтому в выражениях длины вант и тригонометрических функций углов α и β фигурирует величина y_1 — перемещения соответствующего узла фермы при предварительном выгибе балки. Например,

$$l_{11} = 1 - 4a^2 - (h + d - y_1)^2 - 3a;$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{h + d - y_1}{1 - a^2 - (h + d - y_1)^2}; \quad \sin \beta_{11} = \frac{\frac{d}{2} - y_1 - y_1}{1 - a^2 - \left[\frac{d}{2} - (y_1 - y_1) \right]^2}.$$

Получены общие выражения для усилий в вантах, перемещений (прогибов) узлов фермы и нормальных усилий в балке жесткости. Например, для перемещений точки I :

при расположении нагрузки в первой панели

$$EJy_1^{(1)} = EJy_0^{(1)} a + R_1^{(1)} \frac{a^2}{6} - \frac{(a - x_0)^2}{6};$$

при расположении нагрузки во всех остальных панелях

$$EJy_1^{(n)} = EJy_1^{(n)} a + R_1^{(n)} \frac{a}{6}.$$

В каждом конкретном случае, подставив в полученные выражения численные значения геометрических характеристик и жесткостей

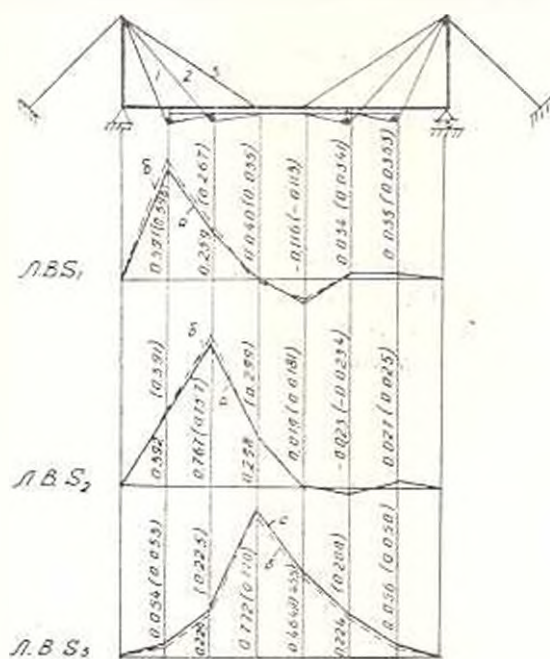


Рис. 2. Линии влияния усилий в вантах предлагаемой системы, полученные: а) экспериментально (сплошная линия), б) расчетом (пунктирная линия).

элементов вантовой фермы и решения их, получим ординаты линий влияния изгибающих моментов и нормальных усилий в балке жесткости, усилий в вантах и перемещений узлов вантовой фермы.

Ввиду трудоемкости вычислительных операций была составлена стандартная программа расчета вантовой фермы на ЦВМ "Напри", при этом в память машины вводились численные значения следующих параметров

$$E, J, E_1, F, F_1, b, h, d, a, y_1.$$

С целью проверки предлагаемого способа расчета была изготовлена и испытана металлическая вантовая ферма пролетом 2,8 м. Ферма нагружалась подвижной нагрузкой и при помощи тензометрического прибора ИСН-20 и измерялись усилия в вантах.

На рис. 2 приведены линии влияния усилий в вантах фермы, полученные экспериментальным путем (сплошные линии) и вычисленные по приведенным выше формулам с помощью ЦВМ. Удовлетворительное совпадение результатов теории с экспериментом говорит о пра-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Л. С. ШАКАРЯН

К ВОПРОСУ СЦЕПЛЕНИЯ СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ И ЛЕГКОГО БЕТОНА НА ЛИТОИДНОЙ ПЕМЗЕ

1. Зависимость между касательными напряжениями сцепления арматуры с бетоном и нормальными напряжениями в арматуре при наличии трещин в растянутой зоне изгибаемых железобетонных элементов может быть определена из условия

$$(\sigma_a - \sigma_a^{\min}) \alpha \cdot l_r = \omega \tau_{ca}^{\max} s l_r / 2, \quad (1)$$

где σ_a — напряжения в арматуре в сечении с трещиной;

$\sigma_a^{\min}$ — напряжения в арматуре в середине блока на участке между двумя смежными трещинами;

l_r — длина блока между двумя смежными трещинами;

F_a и s — площадь сечения и периметр растянутой арматуры;

$\tau_{ca}^{\max}$ — максимальное напряжение сцепления арматуры с бетоном в блоке.

Коэффициент полноты эпюры нормальных напряжений в арматуре, зависящий от величины и характера взаимодействия арматуры с растянутым бетоном

$$\alpha = \frac{\int_0^{l_r/2} (\sigma_a(x) - \sigma_a^{\min}) dx}{(\sigma_a - \sigma_a^{\min}) l_r / 2}. \quad (2)$$

где $\sigma_a(x)$ — нормальное напряжение в арматуре в сечении, находящемся на расстоянии x от середины блока.

Коэффициент полноты эпюры касательных напряжений сцепления арматуры с бетоном

$$\omega = \frac{\int_0^{l_r/2} \tau_{ca}(x) dx}{\tau_{ca}^{\max} l_r / 2}. \quad (3)$$

где $\tau_{ca}(x)$ — касательные напряжения сцепления в сечении, находящемся на расстоянии x от середины блока. Произведение $\omega \tau_{ca}^{\max}$ — пред-

ставляет собой среднее касательное напряжение сцепления по длине блока (рис. 1).

Формулу (2) можно упростить введением средней величины нормального напряжения в арматуре на участке между трещинами

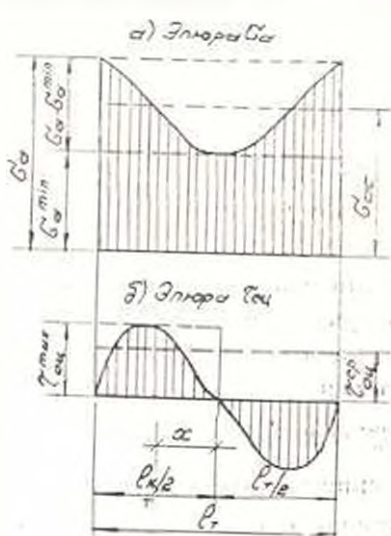


Рис. 1

$$\sigma_a = \frac{\int_0^{l/2} \sigma_a(x) \cdot dx}{l/2} \quad (4)$$

В силу (4), принимая во внимание, что для фиксированной нагрузки $\sigma_a^{\text{max}} = \text{const}$, получим

$$\alpha = \frac{\sigma_{ac} - \sigma_a^{\text{min}}}{\sigma_a - \sigma_a^{\text{min}}} \quad (5)$$

Откуда

$$\sigma_a^{\text{min}} = \frac{\sigma_{ac} - \alpha \sigma_a}{1 - \alpha} \quad (6)$$

На основании (1) и (6) и равенства $\sigma_{cu}^p = \sigma_{cu}^{\text{max}}$ получим следующее выражение, характеризующее средние касательные напряжения

сцепления в блоке на участке между трещинами

$$\tau_{cs}^{\text{cp}} = \frac{2(\sigma_a - \sigma_a^{\text{min}}) \mu}{(1 - \alpha) l} \quad (7)$$

где $\mu = \frac{F_r}{s}$.

Средние нормальные напряжения в арматуре на участке между трещинами согласно [1] могут быть выражены через σ_a введением коэффициента ψ_a , учитывающего работу растянутого бетона на участке между трещинами $\sigma_{ac} = \psi_a \sigma_a$. Подставляя значения σ_{ac} в формулу (7), получим следующее выражение, характеризующее зависимость между средними величинами касательных напряжений сцепления и нормальными напряжениями в арматуре на участке между трещинами

$$\tau_{cs}^{\text{cp}} = \frac{2\sigma_a (1 - \psi_a) \alpha \mu}{(1 - \alpha) l} \quad (8)$$

Предлагаемая формула в отличие от [1] позволяет более точно определить величину касательного напряжения сцепления арматуры с бетоном в зоне чистого изгиба балок при различных стадиях загрузки.

2. Закономерность изменения эпюры сжатой зоны бетона от треугольной к прямоугольной при разных стадиях нагружения изгибаемых железобетонных элементов изучена недостаточно. Знание этой закономерности, в частности, необходимо при изучении жесткости

железобетонных элементов при наличии трещин в растянутой зоне бетона и при оценке фибровых сжимающих напряжений в бетоне. Для изгибаемых железобетонных элементов могут быть записаны следующие два условия равновесия:

момент относительно центра тяжести сжатой зоны бетона

$$M = \sigma_a F_a (h_0 - kx_r) + \sigma_a' F_a' (kx_r - a'); \quad (9)$$

момент относительно центра тяжести растянутой арматуры

$$M = \omega' \sigma_b b x_r (h_0 - kx_r) + \sigma_a' F_a' (h_0 - a'). \quad (10)$$

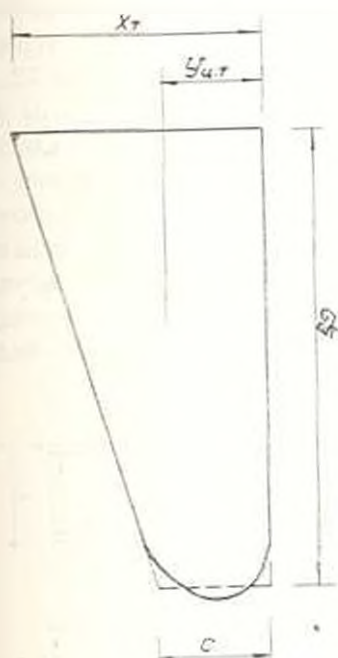


Рис. 2.

Величины x_r , σ_a и σ_a' определяются из опыта непосредственным замером деформации бетона и арматуры, в сечениях с главными трещинами. Величина $k = y_{a.r.}/x_r$ определяется из уравнения (9). Напряжения в сжатой зоне бетона $\omega' \sigma_b$ при известной величине k находятся из уравнения (10). Коэффициент полноты эпюры сжимающих напряжений в бетоне ω' может быть определен заменой действительной эпюры напряжений сжатой зоны бетона, эквивалентной с линеаризованным очертанием (рис. 2). Площадь эквивалентной эпюры равна

$$F_3 = \frac{\sigma_b}{2} \cdot (x_r + c).$$

Статический момент эквивалентной эпюры относительно крайней сжатой фибры бетона равен

$$S_3 = \frac{\sigma_b}{6} (x_r^2 + x_r \cdot c + c^2).$$

Расстояние от центра тяжести эквивалентного сечения до крайней сжатой грани сечения равно

$$y_{a.r.} = \frac{S_3}{F_3} = \frac{x_r^2 + x_r \cdot c + c^2}{3(x_r + c)}. \quad (11)$$

Откуда

$$c = \frac{3 \cdot y_{a.r.} - x_r}{2} + \sqrt{\frac{(3 \cdot y_{a.r.} - x_r)^2}{4} + x_r (3 y_{a.r.} - x_r)}. \quad (12)$$

Перед радикалом удерживается знак плюс, так как всегда $c \geq 0$. Из равенства площадей действительной и эквивалентной эпюр имеем

$$x_r \cdot \omega' \sigma_b = \frac{\sigma_b}{2} (x_r + c),$$

откуда

$$\omega' = \frac{x_r + c}{2x_r}. \quad (13)$$

На основании уравнений (9) — (13) нетрудно определить величину фибрового напряжения сжатой зоны бетона и геометрические характеристики, необходимые для оценки жесткости и трещиностойкости изгибаемых железобетонных элементов.

3. Автором экспериментально определялись коэффициенты α и β , входящие в (8). Эксперименты проводились на железобетонных балках прямоугольного сечения размером 15×24 см, длиной 200 см с расчетным пролетом 180 см. В качестве заполнителя использовалась литонная немзга Мусаванского месторождения, а вяжущего — портландцемент Араратского цементного завода активностью 630 кг/см^2 . В качестве рабочей арматуры использовались горячекатаные стержни периодического профиля класса А — III марки 35ГС диаметром 32, 25 и 20 мм. В этих стержнях устраивались цилиндрические пазы для приклейки групповых тензодатчиков. Размеры пазов подбирались с расчетом сохранения примерно одинакового процента ослабления сечений. Балки армировались вязаными каркасами с одним рабочим стержнем, уложенным в растянутой зоне бетона и двумя монтажными стержнями в сжатой зоне. Поперечная армировка балок осуществлялась хомутами треугольной формы диаметром, соответствующим диаметру монтажной арматуры (рис. 3). Процент армирования балок

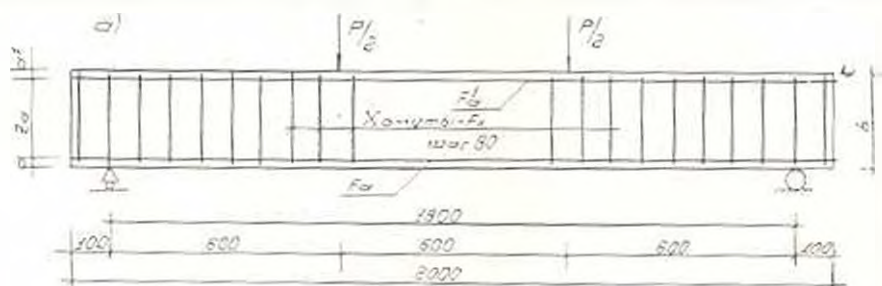


Рис. 3.

принимался равным: для образцов серии ЛП-400-32п $\mu = 2,5\%$, для образцов серии ЛП-400-25п $\mu = 1,5\%$, для образцов серий ЛП-400-20п и ЛП-200-20п $\mu = 0,8\%$. С целью определения прочностных и деформативных характеристик исследуемых бетонов одновременно с балками изготавливались бетонные кубы размером $15 \times 15 \times 15$ см, призмы размером $15 \times 15 \times 60$ см и балки размером $15 \times 15 \times 120$ см. Все образцы изготавливались в металлических разборных формах. Уплотнение бетонной смеси осуществлялось с помощью глубинных и поверхностных вибраторов. Формирование образцов было произведено весной при средней температуре воздуха 18°C . Распалубка образцов производилась спустя двое суток после бетонирования. Твердение бетона осуществлялось хранением образцов в течение 28 суток во влажных опилках, после чего образцы были перенесены в помещение с относительной влажностью $50-60\%$, где хранились в течение 2—3 месяцев до начала испытания. Составы бетонов, расчетные характеристики арматуры и бетона и геометрические характеристики сечений балок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Серия образцов	Номера балок	Марка бетона	Диаметр рабочей арматуры мм	Характеристика рабочей арматуры кг/см ²			Геометрические характеристики поперечных сечений балок								Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси в кг				Прочностные и деформационные характеристики бетона кг/см ²			
				σ_s	R_s	$E_s \cdot 10^{-6}$	b см	b см	Z_s см	a' см	a см	F_{s2} см ²	F_s см ²	F_{s3} см ²	цемент	песка	щебня	воды	R_b	R_{np}	R_p	$\epsilon_{0.2} \cdot 10^{-3}$
П11—400—32п	1	400	32	4240	7480	2,03	23,9	14,8	15,5	3,6	4,8	7,09	1,57	1,57					421	380	17,4	1,86
	2						24,0	14,7	15,4	3,7	4,9											
П11—400—25п	3	400	25	4150	8120		23,8	14,6	16,2	3,4	4,2	4,92	1,57	1,57	570	610	450	270	412	364	16,8	1,78
	4						23,9	14,7	16,1	3,5	4,3											
П11—400—20п	5	400	20	1880	8470		24,0	15,7	17,6	3,1	3,3								417	367	17,2	1,82
	6						23,8	14,9	17,8	3,0	3,0											
П11—200—20п	7	200	20				23,6	15,3	18,3	2,5	2,8	2,52	1,04	1,01	300	700	520	210	246	214	14,8	1,54
	8						23,8	15,1	18,4	2,7	2,8											

Экспериментальные образцы испытывались на изгиб на стотонном гидравлическом прессе ГРМ-2, как свободно опертые балки, нагружаемые в третях пролета двумя сосредоточенными силами (рис. 4). Нагрузка на балку передавалась ступенями, составляющими примерно 0,1 от ожидаемой разрушающей нагрузки с выдержкой на каждой ступени 15 минут. Экспериментально изучался участок балки длиной 40 см в зоне действия постоянного изгибающего момента. Деформации растянутой арматуры измерялись с помощью групповых тензодатчиков базой 20 мм. Тензодатчики располагались непрерывно цепочкой симметрично с двух сторон пазов. Приклейка тензодатчиков осуществлялась клеем БФ-2 с помощью специального пуансона [2]. Положение тензодатчиков в арматурном пазе строго фиксировалось.

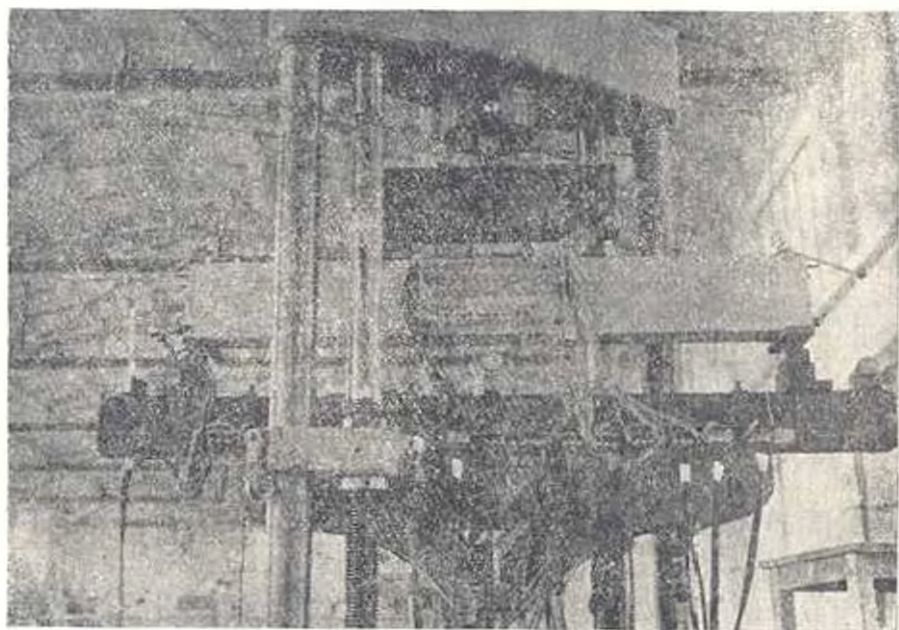


Рис. 4.

Для замера локальных деформаций бетона по высоте сечения и по длине балки был принят электротензометрический метод с приклейкой на бетонную поверхность балки проволочных тензодатчиков с базой 20 мм. Контрольные измерения средних деформаций растянутой арматуры и сжатого бетона на уровне сжатой арматуры производились на базе 400 мм мессурами с ценой деления 2 микрона. По средним показаниям двух симметрично расположенных датчиков строились экспериментальные кривые, по ним подбирались теоретические кривые распределения деформаций растянутой арматуры, которые с удовлетворительной точностью могут быть описаны тригонометрической функцией вида

$$\varepsilon_a(x) = \varepsilon_n \left[1 - 2(1 - \varepsilon_n) \left(1 - \sin^2 \frac{\pi x}{l_n} \right) \right], \text{ при } 0 \leq x \leq l_n/2,$$

где ε_n — деформация растянутой арматуры в сечении с трещиной.

$\varepsilon_a(x)$ — деформация той же арматуры в сечении, находящемся на расстоянии x от середины блока между двумя трещинами.

Экспериментальная зависимость коэффициента α от стадии загрузки образцов показана на рис. 5. На рис. 6 представлена зависимость коэффициента α_0 от величины M_{67}/M , где M_{67} — момент, воспринимаемый бетонным сечением балки, без учета растянутой арматуры непосредственно перед появлением трещин. Как видно из рис. 6, экс-

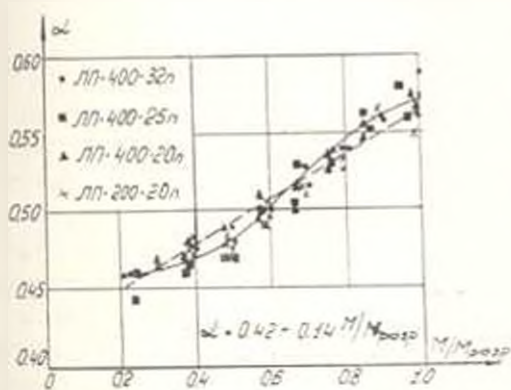


Рис. 5.



Рис. 6.

периментальные значения $\alpha_0 = \varepsilon_{ac}/\varepsilon_n$, полученные прямыми измерениями деформаций растянутой арматуры в сечениях с трещиной и на участке между трещинами, ниже значений, подсчитанных по формулам СНиП, и в первом приближении с некоторым запасом, для бетонов марки 400 могут быть определены по формуле

$$\alpha_0 = 1 - M_{67}/M. \quad (14)$$

АИСМ

Поступило 25.XII.1967.

Л. В. ГАБАЗАД

ԶՈՂԱՅԻՆ ԱՄՐԱՆԻ ԵՎ ՎԻՇՈՒՄԱՆԻ ՊԵՐՋԱՅՈՎ ԹԵԹԻՎ ԲԵՏՈՆԻ
ՇՈՂԱՊՐԱՆ ՉԱՐՑԻ ՇՈՒՐՋԸ

Ա. Վ. Փ. Ո. Փ. Ն. Փ.

Հաղածում բերված են լիթոդային պեմդայով երկաթբետոնե ծովող
կլեմենտների լարվածային-ղեժորմացիոն վիճակին վերաբերող հետազոտու-
թյունների արդյունքները: Տրված են ամրանի ու բետոնի շաղկապման միջին
չափող լարումները և ամրանի նորմալ լարումները բնորոշող կոտի արտո-
հայտությունը միջնաբաշին տեղամասերում: Հաստատուն ժողով մոմենտի աղ-

դեղուխան դոտում: Առաջարկվում են արտահայտություններ, որոնք թույլ են տալիս պնդառելու բնույթի սկզբնական գոտու ֆիզրալիկ լարումները և երկրաչափական բնութագրերը, որոնք անհրաժեշտ են երկաթբետոնե ծովաղ էլեմենտների կոշտությունը և ճաքակալունությունը որոշելու համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мурашев В. И. Трещиностойчивость, жесткость и прочность железобетона. Машин-
стройиздат, М., 1950.
2. Гусаков В. Н., Каримян К. О. Измерение деформации внутренних поверхностей
полых деталей большой длины, „Измерительная техника“, № 2, 1986.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Т. Г. МАРКАРЯН, Л. В. ШАХСУВАРЯН

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ВНЕЦЕНТРЕННО
СЖАТЫХ ФРАГМЕНТОВ СТЕН ИЗ ТУФОВЫХ КАМНЕЙ
ПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ

В статье приводятся результаты экспериментального исследования прочности и деформативности фрагментов стен, возведенных из туфовых камней правильной формы, при внецентренном сжатии, проведенного авторами в АН СМ [1, 2].

Образцы кладки, подвергаемые испытанию, возводились из туфовых камней правильной формы ереванского типа, взятых из двух месторождений — Маяковского и Крдигюхского. Предел их прочности на сжатие составлял соответственно 150 и 170 кг/см^2 . В растворах использовались: португальцемент Аракатского цементно-шиферного комбината активностью 532 кг/см^2 (образцы серии Б) и 394 кг/см^2 (образцы серии И); известь — пушонка того же комбината; песок — дробленый из туфа Ахтанакского карьера с модулем крупности 2,1—2,2. При изготовлении образцов кладки были применены следующие две технологии. Образцы серии И возводились по технологии, предписанной ВТУ 3—61 Армянской ССР, предусматривающей применение в горизонтальных швах раствора пластичной консистенции (погружение конуса $sl=7-8$ см), а в вертикальных — литой консистенции. Образцы серии Б изготовлялись по более перспективной технологии — все швы заполнялись раствором литой консистенции ($sl=12-13$ см). Для определения прочностных показателей растворов изготовлялись восьмерки и кубики с ребром, равным 7 см, на туфовом основании.

Испытание образцов кладки проводилось на стенде с помощью 200-т тарированных гидравлических домкратов. Нагрузка на образец передавалась ступенями, не превышающими 0,1 N_p (N_p — разрушающая нагрузка). Характеристики и результаты испытания образцов кладки приведены в табл. 1.

В образцах кладки, испытанных при малых эксцентриситетах нагрузки ($e_0 = h/12 - h/6$), первые трещины появлялись в вертикальных растворных швах, со стороны наиболее сжатой части образца, которые с увеличением нагрузки возникали и в камнях. В дальнейшем трещины распространялись по всему образцу и разрушение происходило вследствие потери несущей способности образца кладки в целом. Характер деформации и разрушения образцов, испытанных с

4. ТН, № 1

Таблица 1

Номера образцов	Возраст образцов в днях	Месторождение туфа	Состояние раствора по объему (мл:г)	Прочность при сжатии в кг/см^2		Размеры образцов кладки в см. ($h \cdot b \cdot H$)	v_0/h	Нагрузка в T при		Напряжение в кг/см^2 при		$\frac{\sigma_{\text{тр}}}{\sigma^0}$
				камня	раствора			первой трещине $N_{\text{тр}}$	разрушении N_p	первой трещине $\sigma_{\text{тр}}$	разрушении σ^0	
Б-18	53	Маяковское	1:0,8:8	150	28,6	17,5×121×181	0	93	118	44	56	0,79
Б-19	59					18,5×121×180	0	98	120	44	54	0,82
Б-15	62				21,2	19,0×121×181	1/12	93	108	40	47	0,86
Б-16	51				31,0	17,5×120×180	1/6	76	83	36	40	0,91
Б-17	52					18,5×121×181	1/3	39	51	18	23	0,76
В-2	37	Кривинское	1:0,6:6,5	170	75,8	40,0×78,0×234	0	105	143	34	46	0,73
В-6	40				68,2	40,0×78,0×235	0	133	152	43	49	0,87
В-5	37					40,0×79,0×232	1/12	91	129	29	41	0,71
В-3	38				80,7	40,0×80,0×232	1/6	77	119	24	37	0,65
В-4	40					40,0×80,0×232	1/6	77	114	24	36	0,67
В-7	37				74,2	40,0×78,0×230	1/3	—	48	—	16	—
В-8	45					40,0×79,0×234	1/3	—	63	—	20	—

эксцентриситетом $e_0 = h/3$, несколько отличался от предыдущих. Здесь при сравнительно небольших внешних нагрузках, не превышающих $0,2-0,3 N_p$, в горизонтальных швах со стороны растянутой части сечения появлялись трещины, которые при дальнейшем увеличении нагрузки интенсивно развивались, в результате чего сжатая зона сечения значительно уменьшалась и образцы разрушались в основном от потери устойчивости.

По данным [2] и из опытов при внецентренном сжатии в случае одинаковых эксцентриситетов приложения продольной нагрузки относительная несущая способность кладки из туфовых камней правильной формы ереванского и арктического типа меняется в небольших пределах при изменении прочности камня и раствора (табл. 2). Эти же данные показывают и другую характерную особенность, а именно

Таблица 2

$\frac{e_0}{h}$	Относительная несущая способность кладки по						
	по опытным данным при				формы сжатия и материалы	СНиП II-1-62	ПУ Арктического СЗР 767-65
	$\varphi = 1, \varphi_n = 1$		$\varphi = \varphi_n = 1$				
	размерах образцов в см						
	20×120×180	40×80×240	20×120×240	40×80×240			
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1/12	0,86	0,86	0,83	0,82	0,67	0,83	0,86
1/6	0,73	0,77	0,72	0,73	0,50	0,67	0,75
1/3	0,42	0,38	0,51	0,48	0,25	0,33	0,48

Примечание к табл. 2. Коэффициенты продольного изгиба были определены по формулам $\varphi = \frac{\varphi_0}{1 + \varphi_0}$ (при $e_0 = h/6$) и $\varphi_n = \frac{\varphi + \varphi_0}{2}$ (при $e_0 = h/3$).

технология возведения, а также размеры кладки, а в основном высота поперечного сечения образцов незначительно влияют на изменения относительной несущей способности кладки при малых эксцентриситетах (до $h/6$).

При эксцентриситете же, равном $h/3$, образцы кладки с относительно небольшой высотой поперечного сечения и при наличии раствора литой консистенции в горизонтальных швах показали сравнительно высокую относительную прочность, что, по-видимому, является следствием повышенной прочности нормального сцепления в горизонтальных швах кладки.

Сопоставление опытных данных с расчетными (табл. 2) показывает, что между ними имеется расхождение, которое становится существенным с увеличением эксцентриситета. Например, при $e_0 = h/3$

расхождение достигает 46–55%. Учитывая это и основываясь на [2], рекомендуется несущую способность кладки прямоугольного поперечного сечения из туфтовых камней правильной формы при висцентренном сжатии определять по формулам:

а) в случае малых эксцентриситетов приложения внешней нагрузки

$$N_p < \frac{\pi RF}{1 - 2e_0/h}; \quad (1)$$

б) в случае больших эксцентриситетов приложения внешней нагрузки

$$N_p < \pi RF \sqrt{(1 - 2e_0/h)^2}. \quad (2)$$

При этом границей применения двух формул принимается $e_0 = 0,195h$ взамен принятой ранее величины $0,225h$ [3].

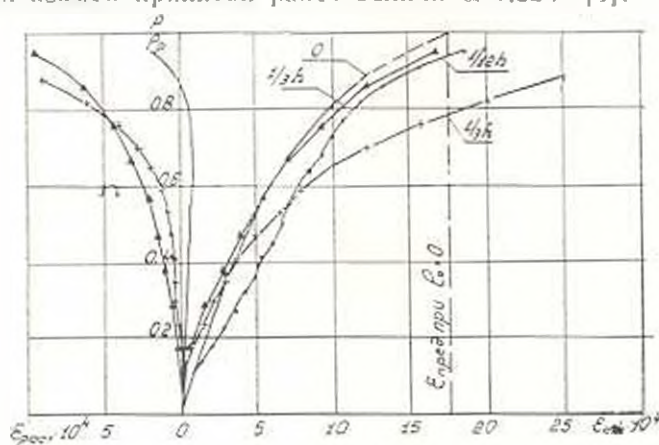


Рис. 1.

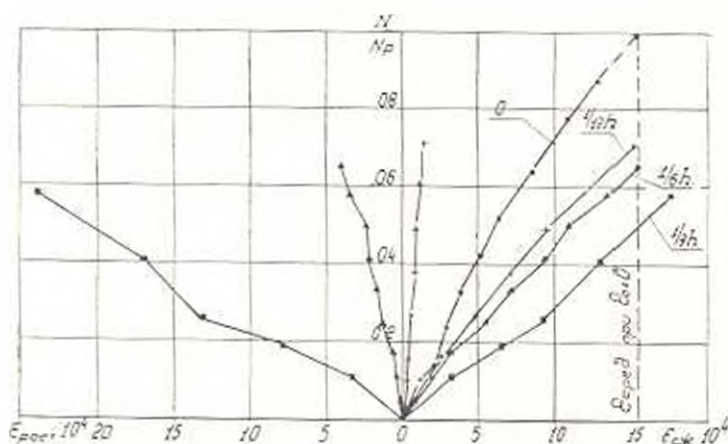


Рис. 2.

Переходя к анализу деформаций висцентренно сжатых образцов, прежде всего необходимо отметить, что фибровые продольные деформации наиболее напряженной части сечения превышают дефор-

мации центрально сжатой кладки при тех же относительных усилиях (рис. 1 и 2). При этом с увеличением усилия расхождение между этими деформациями возрастает.

Приведенные на рис. 3 эпюры продольных деформаций внецентренно сжатых образцов кладки показывают, что высота сжатой зоны сечения не только при $e_0 = h/3$, но даже при $h/6$ меньше высоты сечения образца кладки. Последнее находится в противоречии с формулой сопротивления материалов, где при $e_0 = h/6$ высота сжатой зоны равна высоте сечения. С увеличением нагрузки при фиксирован-

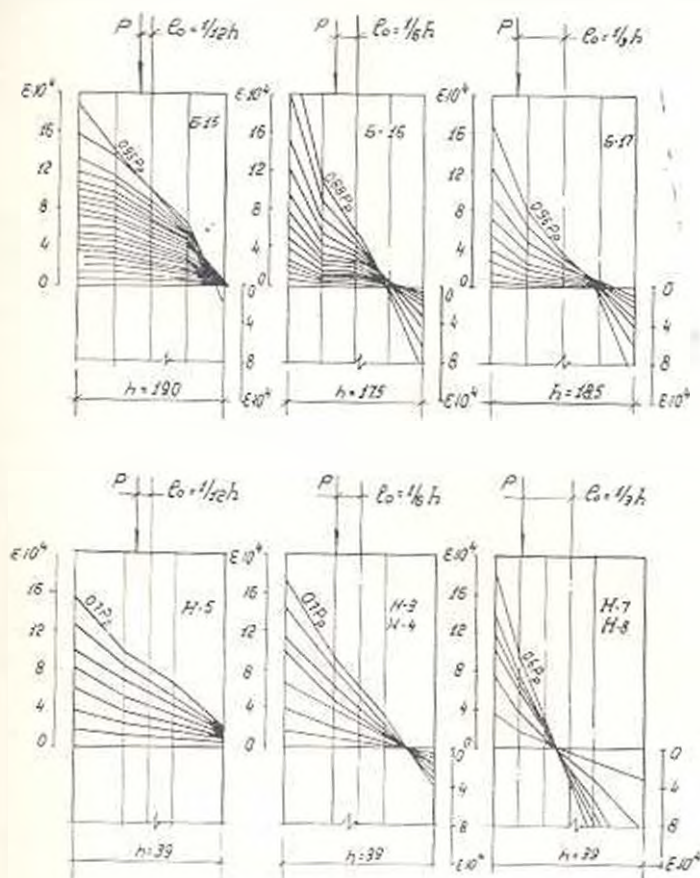


Рис. 3.

ной величине эксцентриситета наблюдалось уменьшение высоты сжатой зоны. Это явление было выявлено ранее на малых образцах кладки [2] и было установлено, что, несмотря на уменьшение базы эпюр нормальных напряжений, площади эпюр получаются всегда больше эпюр, вычисленных по формулам сопротивления упругих материалов. При нагрузках, приближающихся к разрушающим, имело место несоответствие между внутренним усилием, определяемым по эпюрам напряжений, основанных на диаграмме $\sigma-\varepsilon$ для центрального сжатия и внешней силой. Это несоответствие увеличивается с ростом нагрузки и эксцентриситета ее приложения. В частности, расхождение для

кладки, подвергнутой сжатию с эксцентриситетом $e_0 = 0.3$, в среднем составляет $20-23^\circ$ [2]. Для получения полного соответствия между внешними и внутренними силами в стадии разрушения внецентренно сжатой кладки следует принимать повышенный предел прочности кладки при внецентренном сжатии.

В заключение следует отметить, что обобщение и анализ сравнительно большого объема экспериментального материала, имеющегося в АИССМ, позволил при составлении РТУ Армянской ССР 776-66 внести изменения и дополнения в ранее действовавшие БТУ 3-61 по части уточнения формул для расчета кладки из туфовых камней произвольной формы при внецентренном сжатии [4].

АИССМ

Поступило 20.IV.1967.

Պ. Դ. ՄԱՐԿՐԻԱՆ, Լ. Վ. ՇԱԽՍՎԱՐԻԱՆ

ԿԼԵՆՈՒԱԿԱՆ ՉԵՎԻ ՏՈՒՖԱՐԵՐԵՐԻՑ ԱՐՏԱԿԵՆՏՐՈՆ ՆԵՂՄԸԱՆ ՊԱՏԻՐ ՖՐԱՔՄԵՆՏԵՐԻ ԱՄՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՉԵՂՄԸՈՒՆԵՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա. մ. փ. ս. փ. ո. մ.

Հոգսածուր քննարկում է արտակենտրոն սեղմված կանոնավոր ձևի տուֆարերից իրականացված պատափն խոշոր ֆրաքմենտների ամրության և զեֆորմացիաների ենթարկվելու հարցերը: Փորձարկումները կատարվել են երկու լանջավայրերի կանոնավոր ձևի տուֆաքարերից պատրաստված սրմածքների փորձանմուշների վրա: Փորձարկվել են երկու տարբեր տեխնոլոգիաներով իրականացված 12 նմուշ, որոնցից 4 հատը առի կենտրոնական սեղմման, իսկ 5-ը՝ 1/3, 1/6 և 1/12 շափի խորաբերական արտակենտրոնությամբ զեղմում: Նկարագրված է արտակենտրոն սեղմման փորձարկման ինչպես և զեֆորմացիաների շափման եղանակը: Փորձարկված ֆրաքմենտների ափերը, նրանցում օգտագործված բարերի ամրությանը և շաղախների կազմաբյուրեղն ու ամրությանը վերաբերվող տվյալները բերված են աղյուսակ 1-ում: Այստեղ բերված են նաև նմուշների ամրությանը վերաբերվող փորձերից ստացված արդյունքները՝ տեսանկյունային քառերի առաջացման պահին: Առաջված տվյալները համեմատված են սեռական եղանակով խաչվածի (հտ. 2): Փորձնական աղյուսակների վերլուծությունը ցույց է տվել, որ ուժի ազդման դերը արտակենտրոնության գեղմում շարվածքի խորաբերական կրողունակությունը պետք է հաշվել (1), իսկ մեծ արտակենտրոնությունների դեպքում՝ (2) բանաձևով: Վերջիններս քննարկված են կանոնավոր ձևի տուֆարերից նախադժվող և իրականացվող պատերի հանրապետական տեխնիկական պայմանների մեջ:

Անդրադառնալով ֆրաքմենտների զեֆորմացիոն հատկություններին՝ կատարվել է նշել, որ միևնույն խորաբերական ֆրաքերի դեպքում արտակենտրոն սեղմված նմուշների մոտ կարվածքի առավել լարված մասում կողային երկայնական զեֆորմացիաները զերպանցում են կենտրոնական սեղմված նմուշների զեֆորմացիաներին (նկ. 1 և 2): Արտակենտրոն սեղմման դեպքում ստացված երկայնական զեֆորմացիաների էությունները (նկ. 3) ցույց են տա-

լիս, որ ոչ միայն 1/3 այլև արգեն 1/6 արտակենսորոնությունների դեպքում սեղմված զոտու բարձրությունը փոքր է մնում կտրվածքի բարձրությունից. ինչը որ հաշվի չի առնվում նյութերի դիմադրության բանաձևերում: Յույց է տրված նաև, որ այդ բանաձևերի հիման վրա կառուցած էպյուրի ձևը նույնպես տարբերվում է փորձնական սովյալների հիման վրա կառուցածից: Եվ, վերջապես, արտաքին ուժերի մեծացման դեպքում, երբ այն հասնում է նմուշի փայրայող մեծությանը, վերջինիս և նորմալ լարումների էպյուրի մակերեսի միջև հավասարակշռությունը կորչում է:

Եզրակացության մեջ նշվում է, որ ԱՌՍՄ-ում եղած հարուստ փորձնական սովյալները թույլ են տվել ճշտելու կանոնավոր ձևի առփառարիւից պատերի ապակենտրոն սեղմման հաշվարկային բանաձևերը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Шихсуварян Л. В. Разработка рациональных стеновых конструкций из стандартных камней правильной формы в условиях сейсмичности. Научн. техн. отчет. АН СМ, 1960.
2. Маркрян Т. Г. Исследование прочности и деформационных свойств кладки из туфовых камней правильной формы при сжатии. АН СМ, 1963.
3. СНиП П-В. 2-62. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования. М., 1962.
4. РТУ АрмССР 776-66. Проектирование и возведение стен зданий из туфовых камней правильной формы. Ереван, 1966.

О. М. АЙВАЗЯН

ЗАМЕЧАНИЯ О ФОРМУЛАХ ПО РАСЧЕТУ КОЭФФИЦИЕНТА ШЕЗИ

Анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что совершенствование расчета гидравлического сопротивления открытых русел сводилось в основном к выбору той или иной эмпирической формулы для коэффициента C или к дополнению таблиц коэффициентов шероховатости применительно к формулам Гангиле-Куттера или Маннинга. Например, в [1] и [2] утверждается, что наиболее удачной из существующих является эмпирическая формула Н. Н. Павловского

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (1)$$

где n — коэффициент шероховатости по шкале Гангиле-Куттера;

R — гидравлический радиус;

y — переменный показатель степени, определяемый по эмпирической формуле

$$y = 2.5 \sqrt[3]{n - 0.13 - 0.75 \sqrt[3]{R}} (\sqrt[3]{n} - 0.10). \quad (2)$$

Еще в 1869 г. была предложена так называемая полная эмпирическая формула Гангиле-Куттера

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{J} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{J}\right) \frac{n}{R}}, \quad (3)$$

где J — гидравлический уклон.

Маннинг в 1890 г. предложил формулу [3]

$$C = C_0 R^{\frac{1}{n}}. \quad (4)$$

Нам была сделана попытка установить связь между характеристикой русла C_0 и коэффициентом шероховатости n по шкале Гангиле-Куттера. В рамках опытных данных, которыми располагал Маннинг, оказалось, что

$$C_0 = \frac{1}{n}. \quad (5)$$

В 1923 г. Форхгеймер [4] пришел к выводу, что формула Маннинга для открытых русел должна иметь вид

$$C = \frac{1}{n} R^{0.2}. \quad (6)$$

Формулы (4) и (6) имеют вполне ясный математический смысл, сводящийся к тому, что функция $C = f(n, R)$ для всех русел представляет собою параболу с одинаковыми коэффициентами шероховатости. Вскоре, однако, Н. Н. Павловский установил [5], что показательная зависимость типа (4), (6) не удовлетворяет опытным данным, и что даже для одного и того же русла показатель при R является величиной переменной, зависящей от коэффициента шероховатости и гидравлического радиуса. В связи с этим Н. Н. Павловский предложил формулу (1).

Петрудно усмотреть, что (1) для одного и того же русла представляет собою кривую, пересекающую семейство парабол, отличающихся показателями при R .

При опытной проверке формулы (1), предпринятой А. И. Шварцем, под руководством Н. Н. Павловского [6] коэффициенты шероховатости n определялись с помощью формулы Гагиллье-Куттера. Неудивительно, что в результате этой проверки формула Гагиллье-Куттера показала лучшее соответствие натурным данным, чем формула (1). Из сказанного следует, что (1) в известной мере дублирует (3) между (2) и (3) расхождение, но априори это никак не может быть расценено в пользу (1), как это делается в [7]. Говоря о недостатках (1), мы полностью разделяем критику структуры формулы (3), высказанную впервые Базеном и поддержанную Бахметьевым [8], однако при этом, имея в виду именно структуру выражения (3), а не тот факт, что (3) требует учета влияния уклона, в то время как ни одна из современных общих формул по расчету руслового сопротивления такого требования не содержит. На наш взгляд, как и в гидравлике искусственных открытых русел [9], так и в речной гидравлике [10], [11] есть достаточно фактов, говорящих о том, что гидравлический уклон действительно, влияет на русловое сопротивление. Что касается сокращенной формулы Гагиллье-Куттера

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n}}{1 + \frac{23n}{VR}}, \quad (7)$$

то ее структура, на наш взгляд, является наиболее обоснованной из числа эмпирических формул, не учитывающих влияния уклона. Дело в том, что известная формула Базена

$$C = \frac{87}{1 + \frac{1}{VR}}, \quad (8)$$

Из полуэмпирических формул наибольшее признание получила формула И. И. Агроскина [14], [15]

$$C = \frac{1}{n} + 17.72 \lg R, \quad (9)$$

которой на западе соответствует формула Козени, предложенная позже [16]. Формула (9), являющаяся результатом полуэмпирической теории турбулентности, позволяет определить характеристику ложа, пользуясь известной шкалой коэффициентов шероховатости. Отметим, что в (9) коэффициент n используется только лишь для вычисления C_{R-1} . При этом нужно учесть, что значение гидравлического радиуса $R = 1$ м относится к области значений R , для которых современная шкала коэффициентов n является существенно более достоверной, чем для значений R , значительно отличающихся от одного метра. Отсюда нетрудно прийти к выводу, что каковы бы не были значения гидравлического радиуса, использование шкалы значений n в формуле (9) не сопряжено с экстраполяцией этих значений на область малознученных гидравлических радиусов, как это имеет место для формул (1), (3), (6), (7) при гидравлических радиусах значительно больших или значительно меньших одного метра. Это является важной особенностью (9). Нужно также иметь в виду, что (9), вероятно, можно использовать в более широком диапазоне, чем эмпирические формулы. Это положение следует проверить на опытном материале. Проверка формулы (9) до сих пор проводилась не с целью обнаружения ее преимуществ перед эмпирическими формулами, а в основном с целью показать, что в соответствующем диапазоне значений n и R выражение (9) дает результаты, близкие к (1), рассматриваемой как эталон [7], [17], [18].

Из приведенного краткого критического обзора вытекают следующие основные выводы.

1. Отнесение формулы И. И. Павловского (1) к группе показательных формул является формальным. Закономерность, выражаемая ею, отлична от показательной.

2. Из эмпирических формул для коэффициента C , используемых в настоящее время в СССР и за рубежом, при расчетах открытых русел, по-видимому, наиболее рациональной по своей структуре является формула (7) Гангилье-Куттера.

3. Полуэмпирическая формула (9) И. И. Агроскина представляет принципиально новую ступень в развитии методов определения C . Однако, если известно, что по точности она не уступает эмпирическим формулам (1) и (7), то еще мало что сделано по выявлению возможных ее преимуществ, которые вытекают из ее структуры.

2. Ե. ԱՅԿԱՋՅԱՆ

ԿԻՏՈՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ՇԵՋԻՐ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՀԱՇՎՄԱՆ ՈՐՈՇ
ԲԱՆԱԶԵՎՆԵՐԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Ա Մ Փ ա փ ո ս լ

Տրված է Շեկիի դործակցի հաշվման ներկայումս առավել տարածված բանաձևերի բնադատական վերլուծությունը: Ցույց է տրվում, որ Ն. Ն. Պավլովսկու բանաձևին (1) ներկայումս հատկացվող առավել զերբ հիմնավորված չէ:

Բերվում են մի շարք նկատառումներ Գանդիլշ-Կուտերի կրճատ բանաձևի (8) և Բ. Բ. Ազրոսկիի բանաձևի (14) ոչարին: Շտրագրված են նաև որոշ նկատառումներ հսկերի փորագլխիկական զիմադրության վերաբերյալ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Круковский М. Я. О применении формулы Н. Н. Павловского для расчета каналов. Известия ВНИИП, т. 44, Л., 1951.
2. Поляков В. Ф. О трех формулах коэффициента С. Журн. «Гидротехническое строительство», № 1, 1952.
3. Manning G. On the flow in open channels and pipes, Transactions of the Institut. of Civ. Eng. of Ireland. 12, Dublin. 1890.
4. Forchheimer Ph. Der Durchfluss des Wassers durch Röhren und Geröben. Berlin. 1923.
5. Павловский Н. Н. О новых показательных формулах при равномерном движении воды. См. приложение 2-в книге Б. А. Бахметева «О равномерном движении жидкости в каналах и трубах». КУБУЧ. Л., 1929.
6. Шаарц А. И. Опытная проверка формул для коэффициента Шези на осушительной системе запяссского болотного района. Изв. научно-мелиоративного института. Вып. XIX, Л., 1929.
7. Дидковский М. М., Родников Н. А. Сопротивление движению воды в больших земляных каналах. Изв. АН СССР, Киев, 1936.
8. Бахметев Б. А. О равномерном движении жидкости в каналах и трубах. КУБУЧ. Л., 1929.
9. Айвазян О. М. Современная теория гидравлического сопротивления русел и опытные данные. Изв. АН СССР (Механика и машиностроение), № 4, 1964.
10. Трубинов А. А. О коэффициенте Шези для равнинных рек. Журн. «Гидротехническое строительство», № 2, 1950.
11. Скородумов Д. Е. Гидравлические основы экстраполяции расходов до вышних уровней. Тр. Г.Г.И., вып. 77, Л., 1960.
12. Фордгеймер. Гидравлика. М., Л., 1935.
13. Bazin H., Darcy H. Recherches hydrauliques. Paris, 1865.
14. Азроский Н. Н. Расчетная формула для коэффициента Шези С. Журн. «Гидротехническое строительство», № 2, 1949.
15. Азроский Н. Н., Пикалов Ф. И., Дмитриев Г. Т. Гидравлика. М., «Энергия», М., Л., 1964.
16. Kozony J. Hydraulik ihre Grundlagen und praktische Anwendung. Wien, 1953.
17. Азроский Н. Н. К расчету скоростного множителя С. Журн. «Гидротехническое строительство», № 10, 1953.
18. Азроский Н. Н., Штернлихт Д. В. Уточненная формула для коэффициента Шези. Гидротехника и мелиорация, № 9, 1963.

УДК 624.042

Методика автоматизации записи уравнений узловых напряжений.

Адоны Г. Г., Амирян Р. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 1, 1968, 3—15.

Предлагается методика автоматической записи уравнений узловых напряжений электрических систем любой сложности по заданной информации о системе в виде таблиц перечня ее присоединений (генераторов, трансформаторов, линий электропередач, нагрузок и т. п.) и их параметров. Для этой цели не требуется ни схема замещения, ни граф этой системы. Автоматизация записи матрицы проводимостей (Y) уравнений узловых напряжений осуществляется при помощи трех подпрограмм, реализуемых на ЭЦВМ. Программы для машин «Урал-3» и «Раздан-2» составлены по предлагаемому алгоритму, реализованы на ряде примеров энергосистем в Армянском НИИ энергетики. Таблиц 6, Библиографий 8, Иллюстраций 1.

УДК 621.311.22

К методике расчета многолетнего регулирования газопотребления тепловых электростанций. Погосбеков Э. С. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 1, 1968, 16—21.

Излагается способ моделирования многолетнего ряда регулирующей энергии с учетом внутригодовой неравномерности, вырабатываемой ТЭС, работающей в смешанной энергосистеме. Способ расчета опирается на метод статистических испытаний с использованием готовых графиков энергии характерных лет (фрагментов) [2]. Применительно к моделируемым искусственным энергетическим рядам предлагается методика расчета многолетнего регулирования газопотребления ТЭС в комбинации с двойным топливоснабжением. Определяемые посредством указанной методики вероятностные характеристики регулирования позволяют осуществлять технико-экономическое сравнение схем комбинированного топливо-газоснабжения объекта (ТЭС) с различными объемами аккумулирующей емкости. Приведены расчеты по одному объекту, результаты которых приведены в статье в виде графиков. Библиографий 4, Иллюстраций 1.

УДК 621.389.3

Расчет передаточных функций контактного аппарата синтеза аммиака. Арешян Г. Л., Захарьян С. С. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 1, 1968, 22—27.

Излагается аналитический метод учета передаточных функций контактного аппарата, являющегося объектом с распределенными по длине индуктора параметрами. Передаточные функции определяются из системы дифференциальных уравнений и частных производных, описывающих динамику контактного аппарата. Расчет передаточных функций рассматривается на примере промывленного фактора парифазного синтеза аммиака в стационарном слое катализатора. Библиографий 2, Иллюстраций 5.

К вопросу о расчете точности аналоговых математических моделей.

Матевосян П. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)».

т. XXI, № 1, 1968, 26—35.

Рассматривается методика расчета точности аналоговых математических моделей, описываемых системами нелинейных дифференциальных уравнений, основанная на выполнении расчетов точности с применением аналоговых моделей. Расчет точности предлагается проводить не по частным производным, а путем непосредственной реализации на модели функциональной зависимости между первичной ошибкой и ошибкой на выходе. Приводится пример построения схемы модели для расчета точности аналоговой математической модели синхронного генератора. Библиографий 5. Иллюстраций 6.

УДК 681.14

Фермы с удлиненными радиальными вантами. Ахоян А. Г.

«Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 1, 1968, 36—40.

Описана конструкция новой фермы с удлиненными радиальными вантами. Приведено общее решение системы, полученное в форме удобной для применения вычислительной техники. Результаты расчета сопоставлены с экспериментальными данными и показана их удовлетворительная сходимость. Иллюстраций 2.

УДК 691.87

К вопросу сцепления стержневой арматуры и легкого бетона на литондной

пемле. Шакарян Л. С. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)».

т. XXI, № 1, 1968, 41—48.

В статье приводятся результаты экспериментального исследования автора по напряженно-деформированному состояниюгибаемых железобетонных элементов на литондной пемле. Дается аналитическая связь между средними величинами касательных напряжений сцепления арматуры с бетоном и нормальными напряжениями в арматуре на участках между трещинами в зоне действия постоянногогибающего момента. Предлагаются зависимости, позволяющие определять величину фибрового напряжения сжатой зоны бетона и геометрические характеристики, необходимые для определения жесткости и трещиностойкостигибаемых железобетонных элементов. Таблица 1. Библиографий 3. Иллюстраций 6.

УДК 691.3

Прочность и деформативность внецентренно сжатых фрагментов стен

из туфовых камней правильной формы. Маркарян Т. Г., Шахсунярян

Л. В. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 1, 1968, 49—55.

Приведены результаты экспериментального исследования прочности и деформативности фрагментов стен толщиной 20 и 40 см из туфовых камней правильной формы Мяковского и Крдигухского месторождений с пределами прочности на сжатие соответственно 150 и 170 кг/см² на растворе марки 25 и 50, подверженных испытанию на внецентренное сжатие. Установлены характерные особенности прочностного и деформированного состояния внецентренно сжатой кладки из стандартных туфовых камней под нагрузкой.

В результате сопоставления экспериментальных данных по прочностным показателям кладки с расчетными даны рекомендации для определения несущей способности кладки при внецентренном сжатии. Таблица 2. Библиографий 5. Иллюстраций 5.

Замечания к формулам по расчету коэффициента Шези. Айязян О. М.
«Известия АН АрмССР (серия Т. II.)», т. XXI, № 1, 1968, 56—60.

Анализируются эмпирические формулы коэффициентов шероховатости. Отмечается, что некоторые из них имеют общий недостаток, заключающийся в том, что они находятся в зависимости от размера русла. По мнению автора по своей структуре наиболее разнородной из известных эмпирических формул при расчете открытых русел является формула Гангилы—Кутнера. Переплетившей признается полумэмпирическая формула И. Агроскина [14, 15], основанная на теории турбулентности потока.



Բ ՈՒՎ Ա Ն Գ Ա Կ ՈՒԹ Յ ՈՒՆ

ԷՆՈՐԳԵՏԻԿԱ

Հ. Տ. Ակոնց, Ի. Հ. Ամբրիկյան, Սանդուղաչիև Սարգիսների համատարումների զբանջման ավտոմատացման մեթոդիկա	1
Է. Ի. Պոդոբերևկով, Ջերմաէլեկտրական զազանությունների բաղաձայն կարգավորման հաշվարկի մեթոդիկայի շուրջը	16

ՄԵՔՆԱՃՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ

Գ. Լ. Աբելյան, Ի. Ի. Չախարյան, Վերնյուգե-Պատի սինթեզի կոնսակտացիան աղաթաթի փոխանցման ֆունկցիաների հաշվարկումը	22
---	----

ՀԱՇՎՈՒՄԿԱՆ ՏՈՒՆԻՅԱԿԱ

Պ. Ա. Մարեոսյան, Անալոգային մաթեմատիկական մոդելների հետալիսան հաշվարկի հարցի շուրջը	28
---	----

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՏԻՎԻՄ

Ա. Գ. Հակոբյան, Երկարացված շառավիղային վաներով ֆերմաներ	36
Լ. Ի. Նախարյան, Ձողային ամրանի և լիթոդային պեմդայով թեթև ընտանե շաղկապման հարցի շուրջը	41
Ք. Գ. Մարգարյան, Լ. Վ. Շանոսովյան, Դանոնավոր ձեռք աուֆաքարների սերտանկետություն սեղմված պատերի ֆրամպենտների ամրությունը և ձևափոխիչությունը	44

ՀԻԳՐՈՏԵԿՆԵԿԱ

Հ. Մ. Ալվազյան, Դիտողություններ Շեպիի դոբազից հաշվման քոչ բանաձևերի վերաբերյալ	56
--	----

СОДЕРЖАНИЕ

Энергетика

Г. Т. Авоиц, Р. А. Амирян. Методика автоматизации решения уравнений узловых напряжений	31
Э. С. Подосвиева. К методике расчета многолетнего регулирования электропотребления теплоэлектростанции	16

Машиностроение

Г. Л. Аренин, С. С. Захаркин. Расчет передаточных функций контактного аппарата синтезатора вибриоциклатора	22
--	----

Вычислительная техника

Н. А. Матвеевич. К вопросу о расчете точности аналоговых математических моделей	29
---	----

Строительные конструкции

А. Г. Аюбян. Фермы с удлиненными развальными вантами	38
Л. С. Шакарян. К вопросу сцепления стержневой арматуры и легкого бетона на антоднотной мембране	41
Т. Г. Маркарян, Л. В. Шихсуварян. Прочность и деформативность внецентренно сжатых фрагментов стен из туфовых камней правильной формы	49

Гидротехника

О. М. Авакян. Замечания о формулах по расчету коэффициента Шести	56
--	----