

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

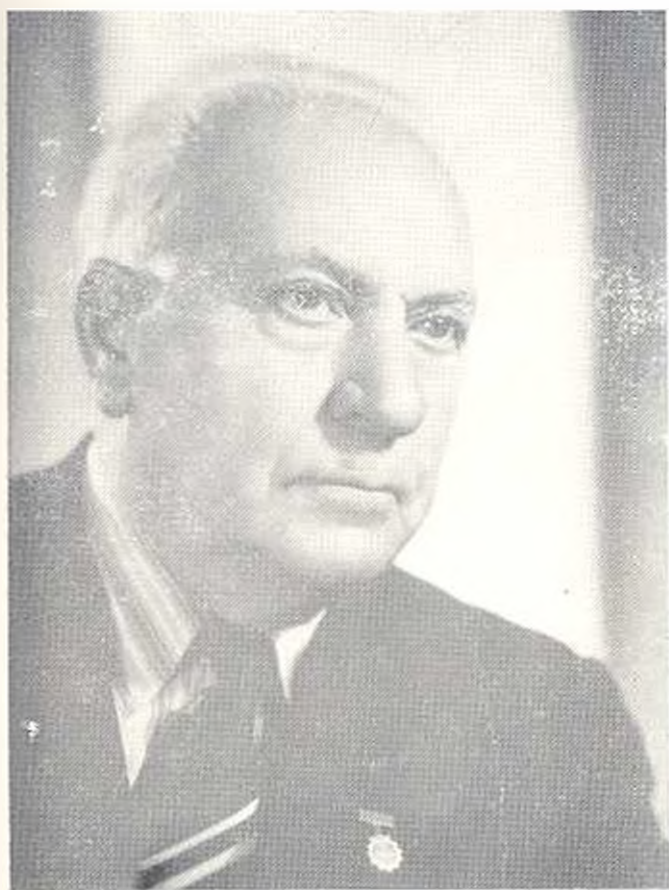
Журнал издается с 1948 г.
Выходит 6 раз в год на русском языке

Կ Ր Ա Կ Դ Ե Ա Կ Ա Ն Կ Ո Լ Ե Գ Ի Ց

Չառյան Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Աղանց Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Ալեքսենսկի Վ. Վ., Չաղոյան Մ. Ա., Հակոբյան Ռ. Ն.,
Աարզումյան Յու. Լ., Ստակյան Մ. Գ., Տեր-Ազարե Ի. Ա.,
Փինաջյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Գառնաթաճումյան Բարսեղյան Ստեփանյան Զ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (ответ. редактор), Адонц Г. Т. (зам. ответ. редактора),
Алексеевский В. В., Акопян Р. Е., Забяян М. А.,
Пинаджян В. В. (зам. ответ. редактора), Саркисян Ю. Л.,
Стакян М. Г., Тер-Азарьев И. А.
Ответственный секретарь Степанян Э. К.



МАРТЫН ВАГАНОВИЧ КАСЬЯН

Ք 80-ԼԵՏԻՈՒ ՏՕ ԴՆԻ ՐՈՋԴԵՆՆԻԱ ՄԱՐՏԻՆԱ ՎԱԳԱՆՈՎԻՇԱ ԿԱՏՅԻՆԱ

Академику АН Армянской ССР, лауреату Государственной премии, заслуженному деятелю науки и техники, доктору технических наук, профессору Мартыну Вагановичу Касьяну 14 сентября 1985 г. исполнилось 80 лет.

Среднее и высшее образование он получил в Грузии. В 1928 году, получив диплом инженера-механика, прошел стажировку на заводах «Красный путиловец» г. Ленинград, «Красный пролетарий» г. Москва. С конца 20-х годов был зачислен преподавателем Грузинского государственного политехнического института им. В. И. Ленина. С того же времени начинает самостоятельную научно-исследовательскую работу.

В 30-х годах он защищает кандидатскую диссертацию и в созданной им при кафедре «Технология машиностроения» ГПИ лаборатории ведет исследование в области технологии машиностроения и станкостроения. Впоследствии, после подготовки им тридцати кандидатов наук, эта лаборатория становится одним из очагов машиностроительной науки в стране.

В грозные годы Великой Отечественной войны вступает в ряды КПСС и одновременно с научно-исследовательской и преподавательской деятельностью ведет активную работу по переключению ряда предприятий Грузии на производство боевой техники и боеприпасов для нужд фронта.

В 1949 г. М. В. Касьян по приглашению Ереванского политехнического института переезжает в Ереван и назначается заместителем директора института по учебной и научной работе и избирается заведующим кафедрой технологии машиностроения.

Одновременно он приглашается на работу в АН Арм.ССР.

На него было возложено решение важной проблемы народнохозяйственного значения по разработке комплексных методов механической обработки природных каменных материалов в Армянской ССР.

В республике располагаются большие естественные запасы камня с различными декоративными и физико-механическими показателями. В связи с этим, в частности, необходимо было создать теоретические основы резания камня.

Исследовательские работы в этом направлении проводились не только в научно-исследовательских институтах, но и в заводских лабораториях, каждая из которых получила свое научное направление для решения конкретных задач. Были налажены творческие связи со мно-

гими ведущими отечественными и зарубежными специалистами. На основе результатов фундаментальных исследований, проведенных под руководством М. В. Касьяна, была создана схема камнережущих станков. На базе этих достижений был построен в г. Ленинакане завод «Строммашина», а в г. Ереване — завод «Алмаз», которые производили и продолжают развиваться по производству камнеобрабатывающих машин, станков и алмазного режущего инструмента.

Для более полного удовлетворения растущей потребности республики в специалистах высокой квалификации и создания возможности повышения научно-технического уровня знаний инженеров-производственников М. В. Касьян в 1962 г. впервые в стране организует общественную аспирантуру при республиканском совете научно-технических обществ. По линии общественной аспирантуры были подготовлены и защищены более ста диссертаций по различным отраслям науки и техники. В дальнейшем опыт подготовки специалистов по линии общественной аспирантуры получил широкое распространение в ряде республик и областей страны.

В 1953 г. М. В. Касьян избирается членом-корреспондентом, а в 1956 г. — академиком АН Арм.ССР по машиностроению. Будучи академиком-секретарем отделения технических наук и Президиума, наряду с научно-исследовательскими работами по машиностроению он ведет настойчивую работу по сохранению озера Севан, по развитию в республике электронной промышленности.

В 1957 г. в связи с организацией Государственного научно-технического комитета Совета Министров Арм.ССР, М. В. Касьян назначается председателем этого комитета и одновременно избирается членом коллегии ГИТК СССР. За период работы в этом комитете им были организованы научно-исследовательские институты — АрмНИГМИ, ИНИКС, АрмНИИМАШ с направлением их деятельности на решение насущных задач республики — разработке комплексных методов использования молибдена, совершенствования технологии машиностроения, развития порошковой металлургии, комплексной механизации трудоемких процессов труда по добыче и обработке природных каменных материалов.

За истекшие 50 лет им подготовлено более 140 кандидатов и докторов наук в области машиностроения и среди них армяне, грузины, азербайджанцы, русские, украинцы, молдаване, болгары. Читал лекции по теории резания материалов в США, ГДР, ВНР, НРБ, ПНР. Является автором 34 изобретений и 175 опубликованных работ, в том числе девяти монографий.

Будучи одним из организаторов журнала «Гитутюн ев техника» является его бессменным общественным редактором. Более 20 лет является ответственным редактором «Известий АН Арм.ССР».

В республиканском обществе «Знание», членом которого М. В. Касьян состоит со дня его организации, он руководит методическим сове-

том по науке и технике и одновременно является членом Президиума Армянского правления этого общества.

В 1955 г. по его инициативе было организовано республиканское правление НТО Машпром. В настоящее время он является членом Президиумов РС НТО и НТО Машпрома.

За заслуги перед Родиной в деле развития машиностроения, подготовки научных кадров академик М. В. Касьян награжден четырьмя орденами, а также медалями и грамотами Президиума Верховного Совета Арм.ССР, ВЦСПС и ВС НТО.

В 1960 г. ему присвоено почетное звание заслуженного деятеля науки и техники Арм.ССР.

На протяжении многих лет он является членом ученых Советов нескольких вузов и НИИ.

Отрадно отметить, что академик М. В. Касьян и сегодня продолжает вести большую и плодотворную творческую работу, принимает активное участие в решении актуальных задач, стоящих перед отечественным машиностроением и высшей школой.

РЕДКОЛЛЕГИЯ

МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. В. КАСЬЯН, Г. Г. ШЕКЯН, В. И. ТЕН

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ
ПРИ ОБРАБОТКЕ БАЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
ИНСТРУМЕНТОМ ИЗ СТМ

Точность радиально-воздушного зазора в асинхронном двигателе малой мощности (АДММ) в большей степени зависит от качества обработки посадочных поверхностей подшипниковых щитов и станины.

Сплав А19, из которого отливаются подшипниковые щиты под давлением, отличается газовой пористостью и склонностью к охрупчиванию, а также обладает способностью к естественному старению, которому он может подвергнуться за короткий промежуток времени между процессами отливки и последующей обработки. Отличительной конструктивной особенностью этих деталей является наличие в них специальной втулки из спеченной металлокерамики с 20%-ной пористостью, служащей в качестве демпфирующего элемента подшипникового гнезда.

Токарной обработке подвергаются как замковые поверхности щита, так и армированная в нем под гнездо втулка, отличающиеся различной обрабатываемостью. Для обеспечения точностных характеристик и заданной чистоты поверхностей обработки при механообработке указанных деталей инструментом из СТМ необходима оптимизация параметров режимов резания.

Анализ методов ускоренных испытаний, рекомендуемых для определения обрабатываемости исследуемых материалов [1], позволил выбрать приемлемый для наших конкретных условий метод, основанный на положении с существованием определенной температуры резания, соответствующей оптимальной скорости резания при различных комбинациях элементов режимного поля.

Оптимизация режимов резания проводится с учетом размерной стойкости режущего инструмента, лимитирующей область режимного поля. Оценка режущих свойств осуществляется по следующим показателям:

величиной стойкости при различных условиях резания:

$$T = f(V; s; x; \gamma), \text{ мин}; \quad (1)$$

длиной пути резания:

$$L = VT, \text{ мм}. \quad (2)$$

За критерий износа принимается износ по задней поверхности $h_{з.п.} = 0,3$ мм, что соответствует условиям размерной обработки.

Оптимизация параметров режимов резания проведена симплексным методом, планирование которого реализовано в соответствии с [2].

Эксперименты по оптимизации проведены на токарно-винторезном станке модели 1К62 с бесступенчатым регулированием чисел оборотов. Режущим инструментом служат расточные резцы, оснащенные зальбром-Р, а также минералокерамикой ВСК-60. Условия проведения экспериментов: скорость резания $V = 20-100$ м/мин, подача $s = 0,15-0,26$ мм/об, глубина резания $t = 0,2-0,4$ мм.

На основе априорных данных выбраны основной уровень и интервалы варьирования параметров оптимизации, а также матрица планирования экспериментов. Преобразование натуральных переменных в безразмерные единицы симплекса осуществляется по формуле

$$X_i = \frac{\tilde{X}_i - \bar{X}_i^0}{\Delta X_i}, \quad (3)$$

где $\tilde{X}_i$ — кодированное значение фактора; $\bar{X}_i^0$ — значение фактора на нулевом уровне в натуральной системе координат; ΔX_i — шаг варьирования.

Координаты новой вершины симплекса вычисляются по формуле

$$\tilde{X}_{ik+1} = \frac{2}{k} \sum_{n=1}^k \tilde{X}_{in} - \tilde{X}_i^*, \quad (4)$$

где k — число исследуемых факторов; $\tilde{X}_{ik+1}$ — координата новой точки в натуральных координатах для фактора с номером i ; $\tilde{X}_i^*$ — координата данного фактора в отвергнутом опыте.

Для выявления оптимальных значений исследуемых параметров потребовалось проведение 12 экспериментов, результаты которых приводятся в таблице.

В каждой точке проводится не менее 2 экспериментов, а измерение термо-э.д.с., осуществляемое естественным методом, — не менее 5 раз. Движение симплекса показывает, что наибольшая размерная стойкость расточных резцов достигнута в точке А.

С целью проверки метода оптимизации проведены идентичные эксперименты на подаче $s = 0,26$ мм/об. В случае соответствия точек минимума размерного износа при разных подачах одной и той же величины термо-э.д.с., положение о существовании оптимальной величины температуры принимается как для случая обработки алюминиевого сплава, так и пористых материалов. В процессе экспериментирования определен диапазон скоростей, равный $V = 20-100$ м/мин, при котором выявился минимум размерного износа (рис. 1).

Таблица

№№ п.п	Симплекс	Вершина, в которой ставится опыт	Передний угол X_1		Задний угол X_2		Длина пути резания, м
			в кодиро- ванном виде	в гра- дусах	в кодиро- ванном виде	в гра- дусах	
1	ABC	A	0	3	0	3	1280
2	ABC	B	0,86	5,58	0,5	4,5	2160
3	ABC	C	0	3	1	6	1690
4	BCA'	A'	0,86	5,58	1,5	7,5	2640
5	BA'C'	C'	1,72	8,16	1	6	2320
6	A'C'B'	B'	1,72	8,16	2	9	3280
7	A'B'C''	C''	0,86	5,58	2,5	10,5	3840
8	B'C'A''	A''	1,72	8,16	3	12	4640
9	A''C''B''	B''	0,86	5,58	3,5	13,5	4240
10	A''B''C'''	C'''	1,72	8,16	4	15	4400
11	A''C'''B'''	B'''	2,58	10,74	3,5	13,5	4180
12	B'A''C'IV	C'IV	2,58	10,74	2,5	10,5	3680

Анализ результатов показывает наличие единой величины термо-э.д.с. (7,3 мВ), соответствующей минимумам размерного износа, тем самым определяя приемлемость метода оптимизации. Минимум износа при подаче $s = 0,15$ мм/об соответствует скорости резания $V = 50$ м/мин, а при подаче $s = 0,26$ мм/об — $V = 35$ м/мин; длина пути резания соответственно $L = 5450$ и $L = 4480$ м. Таким образом определяется зависимость между скоростью резания и подачей при постоянной величине термо-э.д.с. (рис. 2).

Аппроксимация кривой методом средних квадратов позволяет представить эту зависимость степенной функцией.

$$V = 14,5s^{-0,67} \quad (5)$$

С целью выявления технологических регламентов, лимитирующих диапазон допускаемых подач, были проведены эксперименты по определению изменения шероховатости обработанной поверхности от исследуемых параметров режимов резания. Анализ показывает, что с изменением скорости резания в диапазоне $V = 20-100$ м/мин шероховатость уменьшается в пределах одного класса, а изменение наблюдается при $V = 20-40$ м/мин. Поэтому с известной степенью приближения можно принять практическую незначимость влияния скорости резания на шероховатость обработанной поверхности в исследуемом режимном поле. Тогда аппроксимация зависимости обработанной поверхности от величины подачи методом средних квадратов позволяет представить ее в виде

$$R_z = 0,125s. \quad (6)$$

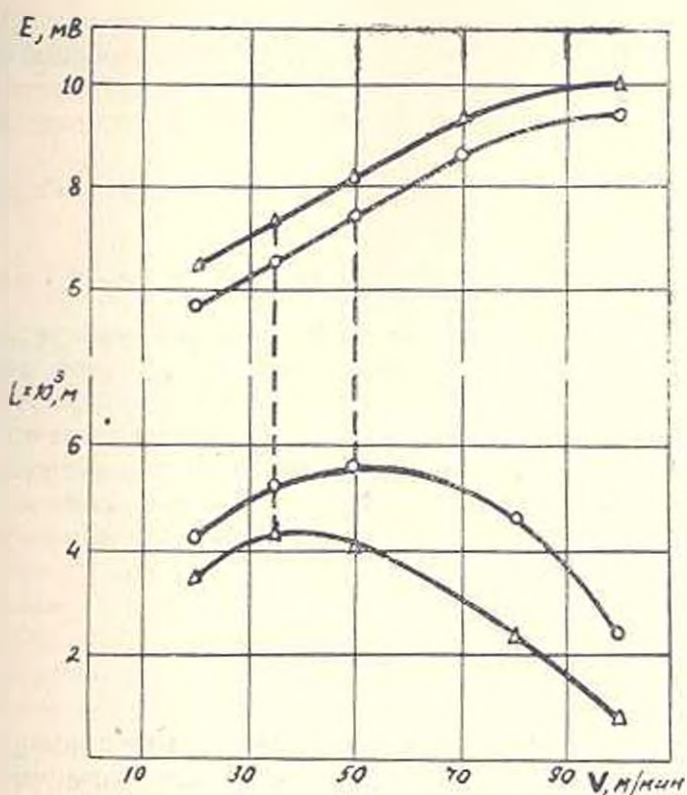


Рис. 1. Зависимости величины термо-э. д. с. E и длины пути резания L от скорости резания v при подаче: $\circ$ — $s = 0,15 \text{ мм/об.}$; $\triangle$ — $s = 0,26 \text{ мм/об.}$

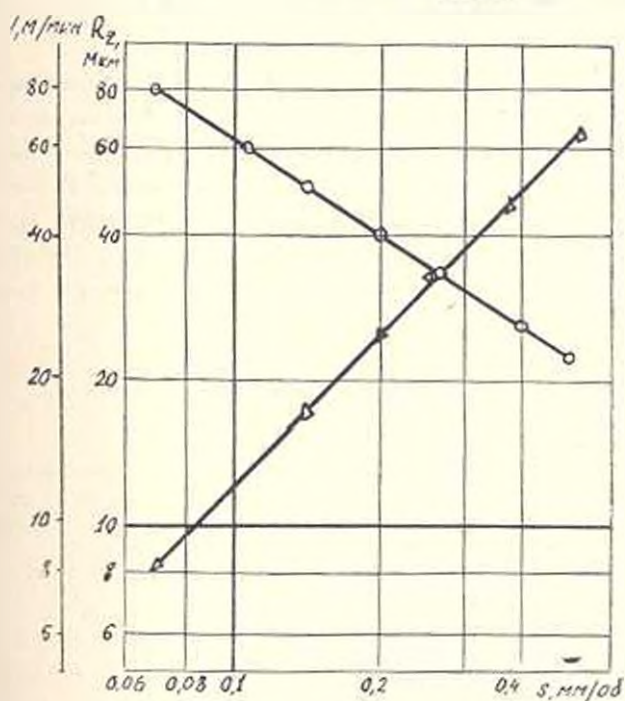


Рис. 2. Зависимость (при постоянной температуре в зоне резания $E_{\text{онт}} = 7,3 \text{ мВ}$): $\circ$ — скорости резания v от подачи s ; $\triangle$ — шероховатости обработанной поверхности R_z от подачи s .

Таким образом, оптимизация параметров режимов резания при растачивании таких базовых деталей АДММ, как алюминиевые подшипниковые шиты с армированной металлокерамической втулкой при обработке режущим инструментом из СТМ, проводится следующим образом.

1. Геометрические параметры резцов, оснащенных эльбором-Р, принимаются равными:

$$\varphi = 60^\circ, \quad \varphi_1 = 12^\circ, \quad \alpha = \alpha_1 = 11^\circ, \quad \lambda = 0^\circ, \quad r = 0,3 \text{ мм.}$$

2. По формуле (5) определяется оптимальная скорость резания.

3. Подставляя соответствующее значение требуемой шероховатости обрабатываемой поверхности в равенство (6), выбирается подача.

Представленный вариант оптимизации процесса растачивания действителен для резцов, оснащенных эльбором-Р и минералокерамикой ВСК-60, при следующих диапазонах изменения режимов резания: $V = 20-100 \text{ м/мин}$, $s = 0,15-0,26 \text{ мм об.}$, $t = 0,1-0,4 \text{ мм}$.

Մ. Վ. ԿԱՍՅԱՆ, Հ. Հ. ՇԵՆՅԱՆ, Բ. Ն. ՏԵՆ

ԿՏՐՄԱՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԻ ՈՊՏԻՄԻԶԱՑԻԱԿ ԷԼԵԿՏՐՈՆԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԻ ԲԱՇԽԱՆՈՒՄԻ ԴԵՐՄԱՆ ԳՈՐԾԻՔԱՆՅՈՒԹՅՈՒՆՈՎ ՄՇԱԿՄԱՆ ԴԵՊՏՈՒՄ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Փորձ հզորության առիւթը շարժիչների տարբեր մշակվողականություն ունեցող նյութերից առանցքակալային վահանակների պատրաստման ժամանակ առաջանում են որոշակի դժվարություններ, որոնք պայմանավորված են կտրման ուժիմների պարամետրների օպտիմալ ընտրության հետ: Այդ ընտրությունը իրադրված է փորձերի պլանավորման սիմպլիկոն եղանակով, որը հնարավորություն է տալի գերկարժր գործիքանյութերով կոմպոզիցիոն նյութերից պատրաստած մասերի մշակման ժամանակ հաշվարկել կտրման օպտիմալ պարամետրերը:

Լ Ի Տ Ե Ր Ա Տ Ր Ա

1. Багдасарян Р. Г. Влияние экспериментальной ошибки на определение оптимальных режимов резания.— Промышленность Армении, 1969, № 2, с. 56—59.
2. Кацей П. Г. Статистические методы исследования режущего инструмента.— М.: Машиностроение, 1971—239 с.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

А. О. СААҚԻՆ, Р. А. КОТИҚԻՆ

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГИБОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЯДЕР ЖЕСТКОСТИ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ ТРЕЩИН В БЕТОНЕ

В современном строительстве здания и сооружения, возводимые методом подъема перекрытий, получили широкое распространение в сейсмических районах страны [1]. Несущая конструкция таких зданий комплектуется из двух систем — каркаса, воспринимающего, в основном, вертикальные нагрузки, и железобетонных ядер жесткости, воспринимающих поперечные нагрузки.

Напряженно-деформативное состояние ядра жесткости оказывает существенное влияние на эксплуатационные характеристики здания в целом, но этот вопрос до настоящего времени остается недостаточно изученным.

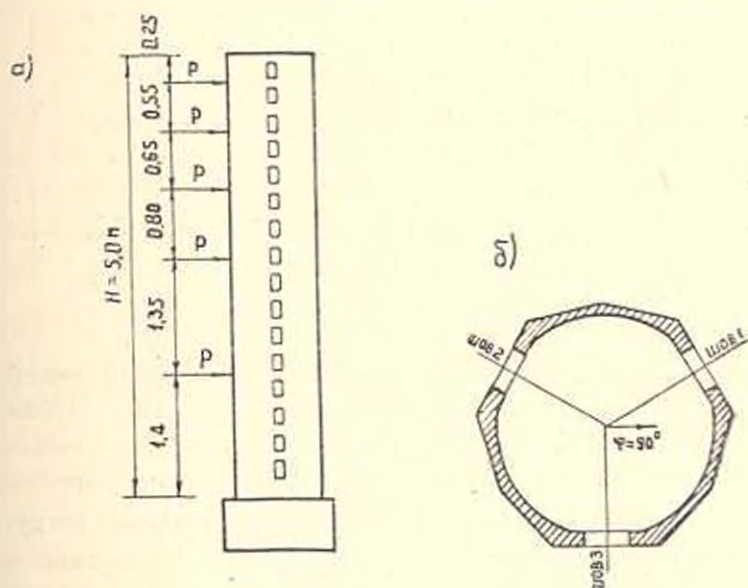


Рис. 1. а) Схема нагружения, б) направления действия внешней поперечной нагрузки.

В статье приводятся результаты исследования прогибов моделей монолитных железобетонных ядер жесткости многоэтажных

зданий по высоте ствола при ступенчато возрастающем их нагружении вплоть до стадии разрушения. Объектом исследований являлось пространственное железобетонное ядро жесткости 16-этажного жилого дома с тремя проемами на каждом этаже. Характерной особенностью проектов таких зданий является форма унифицированного ядра жесткости (рис. 1) с наружным контуром в виде правильного многоугольника. Экспериментальные исследования проводились на 10 крупномасштабных железобетонных моделях ядер жесткости (М 1:10), осуществленных с использованием принципа простого механического подобия [2], позволяющего при статическом нагружении обеспечить совпадение напряжений и деформаций в сходных точках оригинала и модели. При моделировании поперечная нагрузка представлена в виде сосредоточенных сил, приложенных в центрах тяжести равновеликих по площади фигур, на которые была разбита площадь треугольной эюры. В табл. 1 приводятся основные прочностные и деформативные характеристики бетона и арматуры, примененные в моделях.

Таблица 1

Марка модели	Кубиковая прочность бетона R_b , МПа	Начальный модуль упругости бетона E_b , МПа	Процент армирования			
			Простенков		Перекрышек	
			продольной арматурой	поперечной арматурой	продольной арматурой	поперечной арматурой
I—1к	26,5	1,98	1,6	0,28	1,9	0,078
I—2к	23,5	2,28	1,6	9,28	1,9	0,78
I—3к	31,9	2,4	1,6	0,28	1,9	0,78
I—5п	27,3	1,91	1,6	0,28	2	0,7
II—2	33,9	2,26	1,6	—	—	—
III—1п	38,2	3,19	1,6	—	2	0,7
III—2к	37,9	2,86	1,6	0,13	1,9	0,78
IV—2к	49,9	3,33	1,6	0,4	1,9	0,7
V—1п	27,1	2,22	1,6	0,4	2	0,7
V—2к	19,7	1,71	1,6	0,4	1,9	0,78

На рис. 2 представлены экспериментальные величины прогибов моделей ядер жесткости 16-этажного жилого дома на разных уровнях по их высоте, в зависимости от внешней поперечной нагрузки. Анализ экспериментальных данных показывает, что до начала трещинообразования при $q \leq q_{тр} = 0,25 - 0,3$ ($q_{тр}$ — интенсивность треугольной нагрузки, при которой в модели возникают первые трещины) пластические деформации бетона малы, а между силой и деформацией ($q/q_{тр} = Y$) наблюдается зависимость, близкая к линейной. С дальнейшим увеличением горизонтальной нагрузки зона трещинообразования по высоте ствола моделей увеличивается, появляются новые трещины и увеличивается шири-

на раскрытия старых трещин, что приводит к интенсивному росту прогибов.

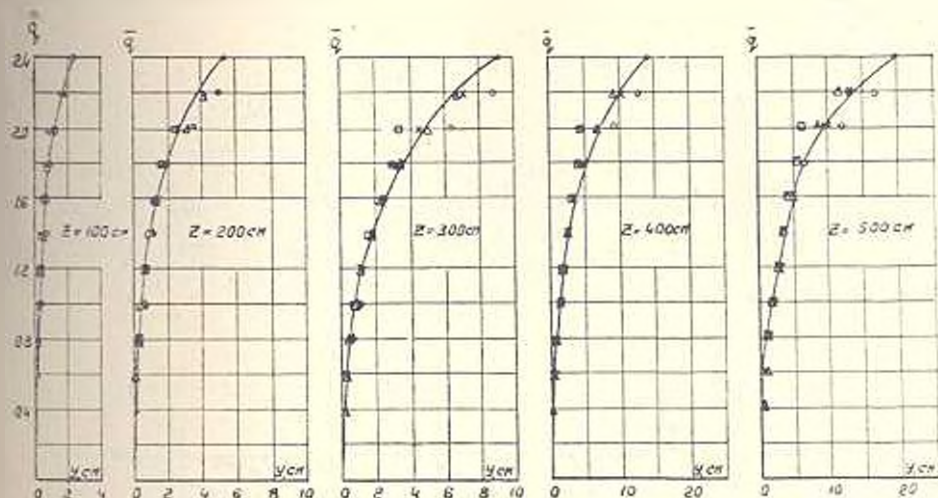


Рис. 2. Прогибы железобетонных моделей, x — модель 1—1к ($\varphi=0^\circ$), $\odot$ — модель 1—2к ($\varphi=180^\circ$), Δ — модель 1—3к ($\varphi=90^\circ$), $\square$ — модель II—2, (кольцевое сечение), — — расчетная кривая согласно (1) и (3).

Анализ экспериментальных данных, подвергнутых статистической обработке, показал, что прогибы железобетонного ядра жесткости на разных высотах от места заделки под действием горизонтальной нагрузки можно представить в виде:

$$Y = (\bar{q}, z) = Y_1 + \alpha(\bar{q})z + \beta(\bar{q})z^2, \quad (1)$$

где Y_1 — прогиб ствола ядра жесткости, вычисленный в предположении упругой работы; второе и третье слагаемые в правой части выражения (1) — прогибы ствола ядра жесткости, обусловленные упруго-пластической деформацией конструкции; $\alpha(\bar{q})$ и $\beta(\bar{q})$ — некоторые параметры; $\bar{q} = q/q_p$ — интенсивность горизонтальной нагрузки в долях от расчетной; z — текущая координата, считая от заделки ствола, см. Параметры $\alpha(\bar{q})$ и $\beta(\bar{q})$ зависят от горизонтальной нагрузки и должны обладать таким свойством, чтобы при

$$\bar{q} \leq q_{tp}, \Rightarrow \alpha = \beta = 0. \quad (2)$$

Для моделей ядра жесткости и зависимости от внешней горизонтальной нагрузки и высоты ствола были получены следующие значения параметров:

$$\begin{cases} \alpha(\bar{q}) = (e^{1,0(\bar{q}-q_{tp})} - 1) \cdot 10^{-5}; \\ \beta(\bar{q}) = 3,08(e^{1,1(\bar{q}-q_{tp})} - 1) \cdot 10^{-6}. \end{cases} \quad (3)$$

На рис. 3 штриховыми линиями показаны экспериментальные значения углов поворотов сечений моделей ядра жесткости серии 1—1к (табл. 1) в зависимости от величины внешней горизонтальной нагрузки, а сплошными линиями — кривые по формуле:

$$\theta = \frac{\partial Y(\bar{q}, z)}{\partial z} = \theta_{\text{упр}} + \alpha(\bar{q}) + 2\beta(\bar{q}) \cdot z. \quad (4)$$

Как видно из приведенных графиков, кривая (4) с достаточной точностью описывает экспериментальные значения углов поворота сечений моделей ядра жесткости в зависимости от внешней горизонтальной нагрузки и высоты ствола. Аналогичные данные были получены и для других моделей.

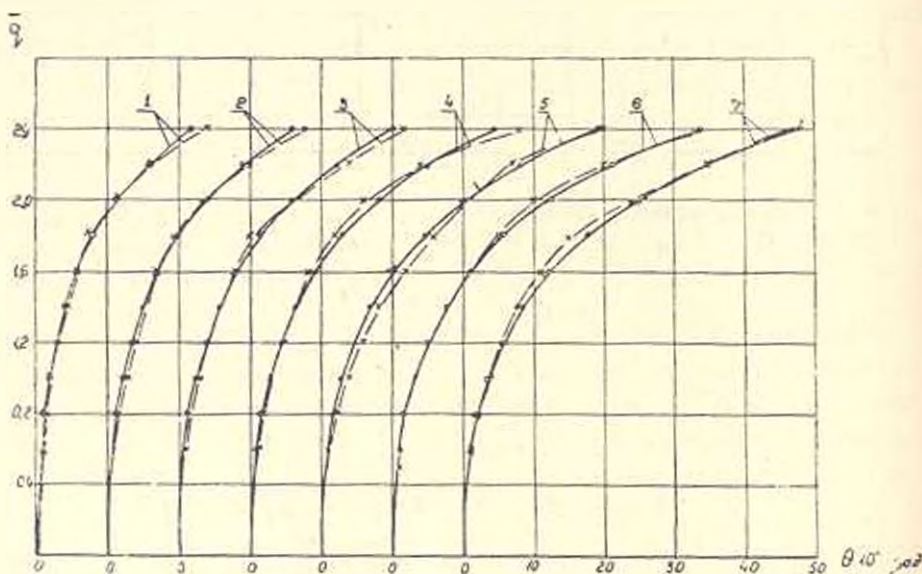


Рис. 3. Углы поворота нормальных сечений модели 1—1к в зависимости от уровня нагружения. 1 — $z=50$ см, 2 — $z=100$ см, 3 — $z=150$ см, 4 — $z=200$ см, 5 — $z=250$ см, 6 — $z=300$ см, 7 — $z=350$ см. х — экспериментальные данные, — расчетная кривая.

На основании результатов испытаний десяти моделей ядра жесткости, у которых соотношение жесткостей перемычек и простенков $\beta_1 \geq 15$ [1], было установлено, что параметры $\alpha(\bar{q})$ и $\beta(\bar{q})$ с достаточной для практических расчетов точностью можно представить в виде

$$\begin{cases} \alpha(\bar{q}) = (e^{\beta_0 (\bar{q} - \bar{q}_{\text{тр}})} - 1) \cdot 10^{-3}; \\ \beta(\bar{q}) = \frac{10^{-3}}{H - Z_{\text{тр}}} \cdot \alpha(\bar{q}), \end{cases} \quad (5)$$

где β_0 — коэффициент продольного армирования простенков ядра жесткости и заделке; H — высота ствола ядра жесткости; $H - Z_{\text{тр}}$ — зона трещин, считая от заделки ствола ядра жесткости в фундамент.

Анализ экспериментальных данных показал [3] (рис. 4), что $\alpha(\bar{q})$ можно представить в виде:

$$\alpha(\bar{q}) = \frac{a_{\text{тр}}(\bar{q})}{l_{\text{тр}}}, \quad (6)$$

где $a_{\text{тр}}(\bar{q})$ — максимальная ширина нормальных к продольной оси ствола трещин при данном уровне нагрузки; $l_{\text{тр}}$ — средний шаг, нормальных к продольной оси ствола трещин.

Установлено также, что при значении $q/q_{\text{тр}} \geq 1,0-1,2$ вплоть до разрушения ядра жесткости $l_{\text{тр}}$ практически не меняется.

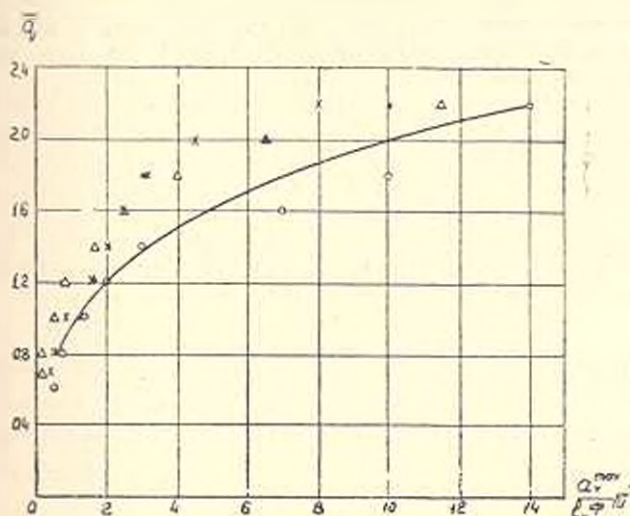


Рис. 4. Коэффициент $\alpha(q)$ в зависимости от уровня нагружения. ● — модель 1—1к, Δ — модель 1—2к, х — модель 1—3к, ○ — модель V—1п, — — расчетная кривая.

По результатам исследования рекомендуется прогибы железобетонных ядер жесткости многоэтажных зданий на сейсмическое воздействие с учетом развития трещин в бетоне определять по формуле (1) с учетом выражения (5).

ВНЭКТИ

8. V11 1284

Ա. Հ. ՄԱՀԱՎԱԾԱՆ, Ռ. Ս. ԿՈՏԻՍՅԱՆ

ԲԱԶՄԱՀԱՐԿ ՇԵՆՔԵՐԻ ԵՐԿԱԹԵՐԵՏՈՆՅԱՆ ԿՈՇՏՈՒԹՅԱՆ ՄԻՋՈՒԿՆԵՐԻ
ՃԿՎԱԹՔՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱ ԲԵՏՈՆՈՒՄ
ՋԱՐԳԱՅՈՎ ՃԱՔԵՐԻ ՀԱՇՎԱՌՄԱՄԲ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Աշխատանքը նվիրված է բաղմահարկ շենքերի երկաթբետոնյա կոշտու-
թյան միջուկների ճկվածքների հետազոտությանը, աստիճանարար աճող բեռ-
նավորման դեպքում: Փորձարկվել են 10 խոշոր մասշտաբային մոդելներ:

Հետազոտման արդյունքների հիման վրա առաջարկվում է բանաձև երկաթ-բետոնյա կոշտության միջուկների սկսմիկ աղդեցություններից առաջացած ճկվածքների որոշման համար, երբ միջուկները աշխատում են ճաքերի առկայության դեպքում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Саакян А. О., Саакян Р. О., Шахназарян С. Х. Возведение зданий и сооружений методом подтема.— М.: Стройиздат, 1982.— 552 с.
2. Назаров А. Г. О механическом подобии твердых деформируемых тел (о теории моделирования).— Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1965.— 348 с.
3. Саакян А. О., Газарян Ю. А., Котикян Р. А. Особенности образования и раскрытия трещин в монолитных железобетонных ядрах жесткости с проемами при действии горизонтальных нагрузок.— Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1983, т. XXXVI, № 4, с. 34—39.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Э. А. ДАСТАКЯН, Р. С. ОВСЕПЯН, А. Г. СИМОНЯН

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЗВУКОВОГО СИГНАЛА В ПОМЕЩЕНИИ НА ПРОЦЕСС ЕГО ЗАТУХАНИЯ

При определении времени реверберации используют короткие импульсные или стационарные сигналы [1, 2]. Разница во времени реверберации при этих сигналах иногда превышает погрешности измерения $\pm 10\%$, которая не носит закономерного характера [1]. Очевидно, это обусловлено нарушением диффузности звукового поля, несоответствием частотного состава излучаемых сигналов и их продолжительностью действия.

В работе рассматривается влияние продолжительности и формы излучаемого источником звукового сигнала на процесс затухания звука.

Пусть источник излучает в открытом пространстве или в заглушенной камере равномерно по всем направлениям энергию E , изменяющуюся во времени t по закону (излучаемый звуковой сигнал — «белый шум») (рис.):

$$\begin{aligned} E &= E(t) \quad \text{при } 0 \leq t \leq \tau; \\ E &= 0 \quad \text{при } \tau \leq t \leq \infty. \end{aligned} \quad (1)$$

Энергия E^* в помещении в какой-либо момент времени t будет равна сумме энергий, излученных ранее в различные моменты времени $t = t_1, t_2, \dots$ ($t < t_0$) с начальными энергиями, соответственно принимающими значения $E = E(t)$ (рис.). Принимая во внимание, что энергия звуковых лучей через время $t - t_0$ с момента излучения, согласно [2], определяется в виде

$$E' = E(t) e^{-\alpha n(t-t_0)},$$

где α — коэффициент поглощения помещения; n — количество отражений в единицу времени; t — момент излучения звукового луча и что в промежутке времени $\Delta t = 1/n$ изменением энергии $E(t)$ излучателя можно пренебречь, то энергия E^* в помещении при больших значениях n в момент времени t будет

$$E^* = n \int_0^{t_0} E(t) e^{-\alpha n(t_0-t)} dt. \quad (2)$$

Следовательно, зная закон изменения энергии (1), излучаемой источником в открытом пространстве или в заглушенной камере, можно найти энергию E^* в помещении в любой момент времени t .

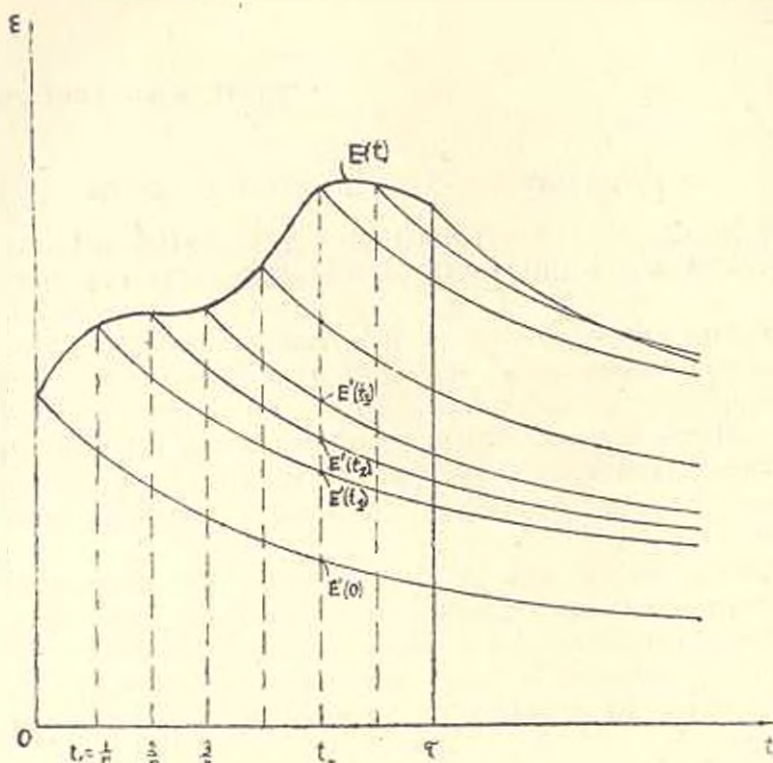


Рис. Кривые затухания звуковой энергии, излучаемой источником в различные моменты времени t .

Если $E(t) = E_0 = \text{const}$ при $0 < t \leq \tau$, то энергия в помещении, согласно (2), изменяется по закону:

$$E^* = \frac{E_0}{\alpha} (1 - e^{-\alpha n t_0}) \quad \text{при } 0 \leq t_0 \leq \tau, \quad (3)$$

$$E^* = \frac{E_0}{\alpha} [e^{\alpha n (\tau - t_0)} - e^{-\alpha n t_0}] \quad \text{при } \tau \leq t_0 \leq \infty. \quad (4)$$

Зная закономерность спада звуковой энергии (4) в зависимости от продолжительности действия звукового сигнала τ , найдем время реверберации $T = t_0 - \tau$:

$$T = \frac{6}{\alpha n \lg e}. \quad (5)$$

Выражение (5) совпадает с общезвестными выражениями [2].

Таким образом, согласно [1], время реверберации (5) и закономерность спада звуковой энергии (4) не зависят от длительности τ излучаемого источником сигнала. Это легко можно показать также для

модели звукового поля Эйринга. Возможно, это вытекает из того, что классическая модель звукового поля отличается от реального, в частности, постоянством количества отражений в единицу времени для испускаемых источником по всевозможным направлениям звуковых лучей.

Допустим, звуковое поле в помещении возбуждается источником, излучающим одинаковый поток звуковой энергии по всевозможным направлениям, который распределяется равномерно по всему объему помещения и непрерывно поглощается его ограничивающими поверхностями. При этом количество отражений в единицу времени $(n + p_i)$, претерпеваемых лучами, испущенными в различных направлениях, распределено в некотором интервале $[n - q_1, n + q_2]$, где среднее значение n указанных $(n + p_i)$ определяется по статистической теории. Такая модель поля, очевидно, более близка к реальному звуковому полю, чем модель звукового поля по классической теории. В этом случае, исходя из выражений (3), (4), изменение во времени звуковой энергии E^* помещения будет:

возрастание энергии E^* при $E(t) = E_0 = \text{const}$ ($0 \leq t \leq \tau$),

$$E^* = \sum_{p_i=-q_1}^{q_2} \left[\frac{E_0}{\alpha} - \frac{E_0}{\alpha} e^{-\alpha(n+p_i)t_0} \right] \quad (0 \leq t_0 \leq \tau); \quad (6)$$

спад звуковой энергии ($\tau \leq t \leq \infty$)

$$E^* = \sum_{p_i=-q_1}^{q_2} \frac{E_0}{\alpha} \left[e^{-\alpha(n+p_i)(\tau-t_0)} - e^{-\alpha(n+p_i)t_0} \right] \quad (\tau \leq t_0 \leq \infty), \quad (7)$$

где $p_i = -q_1, -(q_1 - 1), \dots, -1, 0, 1, \dots, q_2$.

Исходя из (6), (7), время реверберации $T = (t_0 - \tau)$ определится:

$$\frac{\sum_{p_i=-q_1}^{q_2} \left| \frac{E_0}{\alpha} - \frac{E_0}{\alpha} e^{-\alpha(n+p_i)\tau} \right|}{\sum_{p_i=-q_1}^{q_2} \frac{E_0}{\alpha} \left| e^{-\alpha(n+p_i)\tau} - e^{-\alpha(n+p_i)(\tau+T)} \right|} = 10^6. \quad (8)$$

Из равенств (7), (8) вытекает, что время реверберации, а также вид кривой спада звуковой энергии после обрыва сигнала зависят от продолжительности его действия τ при распределении количества отражений в интервале $(n - q_1, n + q_2)$.

Если же рассмотреть поглощение как процесс, происходящий через определенные промежутки времени (время свободного пробега луча), при этом опять предположив, что количество отражений лучей в единицу времени распределено в некотором интервале, то энергия E^* в помещении в любой момент времени t_0 определяется следующими выражениями:

при $E(t) = E_0 = \text{const}$ ($0 \leq t \leq \tau$) —

$$E^* = \sum_{p_i=-q_1}^{q_2} \left[\frac{E_0}{2} - \frac{E_0}{2} (1-\alpha)^{(n+p_i)t_0+1} \right] \quad (0 \leq t_0 \leq \tau); \quad (9)$$

при $E(t) = E_0 = \text{const}$ ($\tau \leq t \leq \infty$) —

$$E^* = \sum_{p_i=-q_1}^{q_2} \frac{E_0}{2} \left[(1-\alpha)^{(n+p_i)t_0-1} - (1-\alpha)^{(n+p_i)t_0+1} \right] \quad (\tau \leq t_0 \leq \infty), \quad (10)$$

где $p_i = -q_1, -(q_1-1), \dots, -1, 0, +1, \dots, q_2$.

Время реверберации, исходя из выражений (9), (10), определяется из соотношения:

$$\frac{\sum_{p_i=-q_1}^{q_2} [1 - (1-\alpha)^{(n+p_i)\tau+1}]}{\sum_{p_i=-q_1}^{q_2} [(1-\alpha)^{(n+p_i)\tau} - (1-\alpha)^{(n+p_i)\tau+1}]} = 10^6. \quad (11)$$

Анализируя выражения (10), (11), можно прийти к выводу, что при скачкообразном поглощении энергии звукового поля ограничивающими поверхностями вид кривой спада и время реверберации также зависят от длительности действия сигнала. Необходимо отметить, что время реверберации, согласно равенствам (8) и (9), при $\tau = 0$ и $\tau = \infty$ одинаковы, но при малых $\left(\tau < \frac{1}{n+q_1}, \text{ если } q_1 > q_2\right)$ и больших $\left(\tau > \frac{1}{n+q_1}\right)$ значениях τ это время не зависит от длительности сигнала.

Следовательно, для сравнения акустических условий помещений по времени реверберации необходимо его определять при этих значениях τ . При остальных значениях τ время реверберации и процесс затухания звуковых сигналов (7), (10) зависят от длительности действия сигнала в помещении.

Далее рассмотрим влияние формы сигнала на время реверберации и на спад звуковой энергии в помещении. Допустим источник излучает в помещении импульсный сигнал треугольного вида:

$$\begin{aligned} E(t) &= A - qt \quad \text{при } 0 \leq t \leq \tau, \\ E(t) &= 0 \quad \text{при } \tau \leq t \leq \infty, \end{aligned} \quad (12)$$

где A, q — постоянные величины; $\tau = A/q$ — длительность импульса.

Принимаем, что частотный состав сигнала (12) не меняется при изменении длительности τ . Отметим, что при рассмотренном выше случае импульсного сигнала прямоугольной формы ($E(t) = E_0 = \text{const}$) в выражении (1) также принимается это условие. Иначе, затухание

сигнала при различных его длительностях τ будет другим, т. к. коэффициент звукопоглощения α на различных частотах не одинаковый.

Энергия в помещении E^* , исходя из выражения (2), будет меняться по закону:

$$E^* = \frac{A}{\alpha} + e^{-\alpha n t_0} \left(A - \frac{A}{\alpha} - \frac{q}{\alpha^2 n} \right) - \frac{q}{\alpha^2 n} (\alpha n t_0 - 1) \quad (13)$$

при $0 \leq t_0 \leq \tau$;

$$E_* = \frac{A}{\alpha} e^{-\alpha n (\tau - t_0)} + e^{-\alpha n t_0} \left(A - \frac{A}{\alpha} - \frac{q}{\alpha^2 n} \right) - \frac{q}{\alpha^2 n} e^{-\alpha n (\tau - t_0)} (\alpha n \tau - 1) \quad (14)$$

при $\tau \leq t_0 \leq \infty$.

Из выражения (14) можно определить время реверберации, которое приводится к виду (5).

К такому же результату можно прийти при

$$E(t) = qt \quad (0 \leq t \leq \tau) \quad \text{и} \quad E(t) = 0 \quad (\tau \leq t \leq \infty),$$

при $q = \text{const}$.

Следовательно, при импульсных сигналах треугольного вида по классической теории время реверберации не зависит от длительности сигнала. По вышеприведенной же модели звукового поля, где количество отражений лучей распределено равномерно в некотором диапазоне, можно легко показать, исходя из формул (2), (3), что и при излучаемых треугольных импульсах вид кривой спада и время реверберации зависят от длительности сигнала.

Влияние длительности сигнала можно установить из вышеприведенных формул, если допустить, что коэффициент поглощения α помещения для различных лучей также распределен в некотором интервале $[\alpha - \alpha_1, \alpha + \alpha_1]$. При этом опять допускается неизменность частотного состава сигнала при изменении его длительности. Распределение α в некотором диапазоне наблюдается, когда звукопоглощающие материалы распределены неравномерно по всей поверхности помещения, т. е. поле в помещении не диффузно.

Непостоянство же частотного состава сигнала при изменении длительности τ приводит к различным α , что, как вытекает из формул (3), (4), является причиной зависимости времени реверберации от τ .

Следовательно, зависимость кривой спада и времени реверберации от длительности и формы сигнала наблюдается: 1) при нарушении диффузности звукового поля (α распределено в некотором интервале); 2) при изменении частотного состава излучаемого сигнала; 3) при распределении количества отражений луча в единицу времени в некотором интервале.

При $\tau \rightarrow 0$ или ∞ даже при нарушении диффузности время реверберации одно и то же.

Проведенное исследование позволяет при измерении времени реверберации (что является одним из основных параметров акустического качества помещений) определить оптимальную длительность действия излучаемого сигнала.

НПО «Аппа»

21. XI. 1984

Է. Ա. ԴՈՍՏԱՎԵՍՆ, Ռ. Ս. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ, Ա. Դ. ՍԻՄՈՆԻԱՆ

**ՉԱՅՆԱԶԳԻԱՆՇԱՆԻ ՏԵՎՈՂՈՒԹՅԱՆ ԱԶԳԵՅՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ՆՐԱ
ՄԱՐՄԱՆ ՊՐԱՑԵՍԻ ՎՐԱ ՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆՈՒՄ**

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Դիտարկվում է ձայնազդանշանի տևողության և ձևի ազդեցության խորն-
դիրքը նրա մարման պրոցեսի վրա շինություններում վիճակագրական ունե-
րացիուն թևորիայի տեսանկյունից: Բացաճայտվել է, որ ունեբրացիայի ժամա-
նակը կախված է ձայնազդանշանի ներգործության տևողությունից և նրա ձև-
վից, բայց փոքր և մեծ տևողությունների դեպքում ունեբրացիայի ժամանակը
միևնույնն է:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Макриненко Л. И., Ширжецкий Х. А., Хартофилак А. С. О выборе звукового сигнала при измерениях времени реверберации в помещениях — В кн.: Труды НИИСФ. Строительная акустика, 1971, вып. 3, с. 98—102.
2. Качеролич А. И. Акустическое оборудование киностудий и театров. — М.: Искусство, 1980. — 239 с.

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

Д. С. МЕЛКОНЯН, Т. Г. АРЕШЯН

ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЙ РЕГРЕССИОННЫЙ МЕТОД
 СОКРАЩЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОСТИ ДАННЫХ

Для сжатия данных в системах передачи и обработки информации широко применяются методы экстраполяции и интерполяции первого порядка, реализующие аппроксимацию сигнала сопрягающимися отрезками прямых [1]. Эффективность этих методов, однако, невелика, если обрабатываемый сигнал содержит шумовую составляющую. В настоящей работе предлагается помехоустойчивый метод сжатия, использующий регрессионный анализ для реализации кусочнолинейной аппроксимации и производится его сравнение с существующими методами.

Рассмотрим общий принцип сжатия данных, представляющих дискретные отсчеты аналогового сигнала, на основе его кусочно-линейного представления. Пусть $F = \{f_0, \dots, f_N\}$ — множество дискретных отсчетов функции $f(x)$, заданных на множестве точек $X = \{x_0, \dots, x_N\}$. В результате сокращения избыточности данных формируется некоторое новое множество отсчетов $H = \{h_0, \dots, h_M\}$ ($M < N$), заданных на множестве точек $Z = \{z_0, \dots, z_M\}$. В качестве приближенного описания исходной функции $f(x)$ при этом служит кусочно-линейная аппроксимирующая функция $h(x)$, составленная из отрезков прямых, соединяющих значения $h_k = h(x_k)$ ($k = 0, \dots, M$):

$$h(x) = \sum_{m=0}^{M-1} \theta_m(x - z_m), \quad (1)$$

$$\text{где} \quad \theta_m(x) = \begin{cases} 0, & x \in (0; \Delta z_m), \\ A_m + B_m x, & x \in (\Delta z_m; \Delta z_{m+1}); \end{cases}$$

$$\Delta z_m = z_{m+1} - z_m; \quad A_m = h_m; \quad B_m = \frac{h_{m+1} - h_m}{z_{m+1} - z_m}.$$

Отметим следующие особенности методов экстраполяции и интерполяции первого порядка.

1. Уравнения прямых (1) проводятся через исходные отсчеты, т. е. коэффициенты A_m и B_m имеют следующий вид:

$$A_m = f_1; \quad (2)$$

$$B_m = \frac{f_p - f_s}{z_p - z_s} \quad (3)$$

где $p > s$, $f_p, f_s \in F$, $z_p, z_s \in X$.

2. В соответствии с отмеченным принципом построения аппроксимирующих отрезков процедуры сокращения избыточности сводятся к сортировке исходного массива данных на избыточные и неизбыточные отсчеты: $H \subset F$ и $Z \subset X$. Неизбыточный отсчет

$$h_m = f_{\alpha_m} \quad (m = 0, \dots, M),$$

где α_m — номер неизбыточного отсчета.

3. Требования к точности аппроксимации считаются удовлетворенными при выполнении условия

$$|h(x_n) - f(x_n)| \leq \Delta, \quad (4)$$

для $n = 0, \dots, N$, где Δ — апертура.

Разработанный регрессионный метод адаптивной дискретизации характеризуется следующими особенностями.

1. Подмножество абсцисс, соответствующих неизбыточным отсчетам: $Z \subset X$. Абсцисса, соответствующая неизбыточному отсчету: $z_m = x_{\alpha_m}$ ($m = 0, \dots, M \leq N$; $\alpha_0 = 0$; $\alpha_M = N$).

2. Аппроксимирующий отрезок на интервале $[z_m, z_{m+1}]$ закрепляется в точке $x = z_m$ ($m = 0, \dots, M$) в соответствии со следующими условиями:

$$A_0 = f_0, \quad A_{m+1} = b_m(z_{m+1}) \quad (m = 0, \dots, M-1). \quad (5)$$

3. Угловой коэффициент аппроксимирующего отрезка B_m выбирается по методу наименьших квадратов, т. е. минимизируется сумма

$$S_m = \sqrt{\frac{1}{\mu_m} \sum_{i=1}^{\mu_m} [f(x_{z_m+i}) - h(x_{z_m+i})]^2}, \quad (6)$$

где

$$\mu_m = \alpha_{m+1} - \alpha_m.$$

Этому условию отвечают значения коэффициента, определяемого по следующей формуле:

$$B_m = \frac{\sum_{i=1}^{\mu_m} (x_{z_m+i} - x_{z_m}) [f(x_{z_m+i}) - f(x_{z_m})]}{\sum_{i=1}^{\mu_m} (x_{z_m+i} - x_{z_m})^2} \quad (7)$$

4. Требования к точности аппроксимации считаются удовлетворенными, если на любом из интервалов $[z_m, z_{m+1}]$ ($m = 0, \dots, M-1$) зна-

чение среднего квадратичного отклонения, вычисляемого по формуле (6), отвечает условию

$$S_m < S, \quad (8)$$

где S — порог для среднего квадратичного отклонения.

Для машинной реализации регрессионного метода сокращения избыточности данных разработан алгоритм, построенный на основе следующих расчетных выражений:

$$a_{m,\lambda} = \sum_{i=1}^{\lambda} (x_{z_{m+i}} - x_{z_m}) [f(x_{z_{m+i}}) - f(x_{z_m})]; \quad (9)$$

$$b_{m,\lambda} = \sum_{i=1}^{\lambda} (x_{z_{m+i}} - x_{z_m})^2; \quad (10)$$

$$c_{m,\lambda} = \sum_{i=1}^{\lambda} [f(x_{z_{m+i}}) - f(x_{z_m})]^2; \quad (11)$$

$$B_{m,\lambda} = \frac{a_{m,\lambda}}{b_{m,\lambda}}; \quad S_{m,\lambda} = \sqrt{\frac{1}{\lambda} \left(c_{m,\lambda} - \frac{a_{m,\lambda}^2}{b_{m,\lambda}} \right)}, \quad (12)$$

где целочисленная переменная $\lambda \geq 3$.

Алгоритм расчета кусочно-линейной аппроксимирующей функции построен следующим образом.

Пусть x_{z_m} ($m = 0, \dots, M$; $x_0 = 6$) — избыточный отсчет.

1. По формуле (5), соответствующей заданному значению $\sigma_{\text{нп}}$, рассчитывается значение A_m .

2. Для $\lambda = 2$ выполняются расчеты по формулам (9) — (12).

3. Принимается $S_m = S_{m,2}$, для которого проверяется условие (8).

4. Если условие (8) не выполнено, принимается:

$$z_{m+1} = x_{z_m} + 1, \quad h_{m+1} = f_{z_m} + 1.$$

Процедура аппроксимации возобновляется с пункта 1.

3. В случае выполнения условия (8) вычисляются значения $a_{m,\lambda+1}$, $b_{m,\lambda+1}$, $c_{m,\lambda+1}$ согласно следующим рекуррентным формулам:

$$a_{m,\lambda+1} = a_{m,\lambda} + (x_{z_{m+\lambda+1}} - x_{z_m}) [f(x_{z_{m+\lambda+1}}) - f(x_{z_m})]; \quad (13)$$

$$b_{m,\lambda+1} = b_{m,\lambda} + (x_{z_{m+\lambda+1}} - x_{z_m})^2; \quad (14)$$

$$c_{m,\lambda+1} = c_{m,\lambda} + [f(x_{z_{m+\lambda+1}}) - f(x_{z_m})]^2. \quad (15)$$

По формуле (12) вычисляется значение $S_{m,\lambda+1}$.

7. Для $S_m = S_{m,\lambda+1}$ проверяется выполнение условия (8).

8. Если условие (8) не выполнено, принимается

$$p_m = \lambda, \quad \alpha_{m+1} = \alpha_m + 1, \quad z_{m+1} = x_{z_m + \lambda}, \quad B_m = B_{m,\lambda},$$

$$h_{m+1} = h_m(x_{z_m + \lambda}).$$

Процедуры аппроксимации продолжаются с найденного избыточного отсчета, начиная с пункта 1.

9. В случае выполнения условия (8) значение λ увеличивается на 1. Процедура аппроксимации возобновляется с п. 5.

Рассмотрим результаты исследования метода, выполненного методами численного моделирования на ЭВМ СМ-1. Программы написаны на языке ФОРТРАН-4.

В качестве исходной функции использовалась переходная функция колебательного звена

$$h(t) = 1 - 1,02e^{-3,0\pi t} \sin(15,68t + 1,37). \quad (16)$$

Для этого примера в [2] представлены характеристики методов экстраполяции и интерполяции.

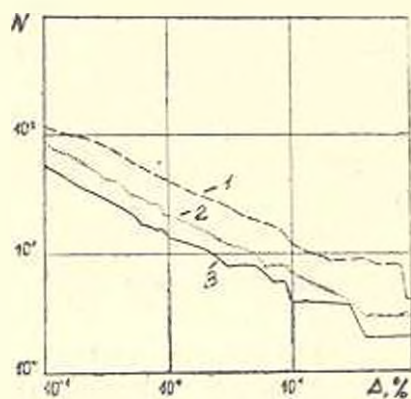


Рис. 1. Кривые, характеризующие степени сокращения избыточности данных разными методами. 1, 2, 3 — иллюстрируют методы экстраполяции, интерполяции и линейной регрессии соответственно.

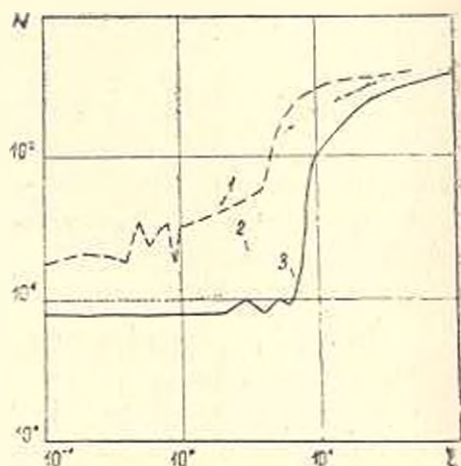


Рис. 2. График зависимости количества избыточных отсчетов от величины шума ($\Delta = S = 5\%$, обозначения аналогичны рис. 1).

Характер изменения числа избыточных отсчетов, получаемых разными методами, в зависимости от величины апертury иллюстрируется на рис. 1. Как видно, метод линейной регрессии наиболее эффективен в смысле сокращения числа избыточных отсчетов. На рис. 2 иллюстрируется зависимость числа избыточных отсчетов от величины шума при фиксированной апертуре. Методом линейной регрессии число избыточных отсчетов поддерживается на уровне, меньшем 10 отсчетов, при увеличении шума до 7%. Для этого уровня методы экстраполяции и интерполяции практически не дают ощутимого эффекта — число избыточных отсчетов более 100.

Как следует из представленных данных, метод линейной регрессии значительно превосходит по эффективности сокращения избыточности

данных методы экстраполяции и интерполяции. Это достигается без существенного увеличения затрат времени на цифровую обработку.

Если исходная функция представляет сумму полезного сигнала $\varphi(x)$ и помехи $\xi(x)$: $f(x) = \varphi(x) + \xi(x)$, то, рассматривая представленный алгоритм как некоторую алгоритмическую процедуру построения фильтра для выделения полезного сигнала, введем среднеквадратичную ошибку отклонения $h_s(x)$ от $\varphi(x)$:

$$q_s = \frac{1}{\Delta X} \sqrt{\int_{x_0}^{x_N} [h_s(x) - \varphi(x)]^2 dx},$$

где $\Delta X = x_N - x_0$, $h_s(x)$ — аппроксимирующая функция, вычисленная при значении порога S .

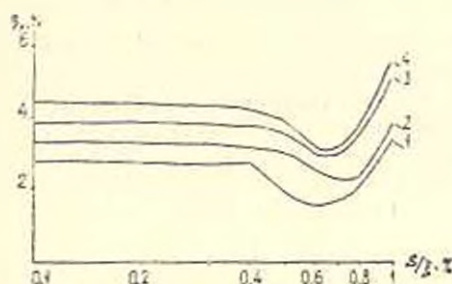


Рис. 3. Фильтрующий эффект метода линейной регрессии. Кривые 1, 2, 3 и 4 соответствуют значениям $\Delta\xi$, равным 5%, 6%, 7% и 8%, наложенным на функцию (16).

На рис. 3 построены кривые изменения q_s в зависимости от нормированной величины порога

$$S/\Delta\xi,$$

где $\Delta\xi = \xi_{\max} - \xi_{\min}$; $\xi_{\max}$ и $\xi_{\min}$ — максимальное и минимальное значения функции $\xi(x)$, представленной в виде реализации белого шума на отрезке $[x_0, x_N]$.

Как видно из рис. 3, при некотором соотношении $S/\Delta\xi$, близком к 0,7, обеспечивается минимум среднеквадратичного отклонения q_s , т. е. при этих условиях реализуется оптимальный фильтр по критерию минимума среднеквадратичного отклонения.

Предложенный метод может широко применяться для предварительной обработки данных как в измерительно-вычислительных системах для биологических и медицинских исследований, так и в технических системах передачи и обработки данных.

ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ԱՎԵԼՑՈՒԿՈՒԹՅԱՆ ԿՐՃԱՏՄԱՆ՝ ԱՂԱՎԱՂՈՒՄՆԵՐԻ ՆԿԱՏՄԱՆՈՐԻ ԿԱՅՈՒՆ ՌԵԳՆԵՐՍԻՈՆ ՄԵԹՈԴ

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Առաջարկված է տվյալների ավելցուկության կրճատման գծային ռեգրեսիայի սկզբունքի վրա հիմնված նոր մեթոդ: Բերված է ն հիմնական հաշվարկային բանաձևերը և մշակված մեթոդի արդյունավետության հետազոտման արդյունքները առաջին կարգի արտա— և ներմիջարկման մեթոդների համեմատությամբ: Յուրյ է տրված ռեգրեսիայի մեթոդի բարձր արդյունավետությունը աղափարողումների առկայությամբ և նրա ֆիլտրալման էֆեկտը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ольховский Ю. Б., Новоселов О. Н., Миноацев А. П., Сжатие данных при телеизмерениях.— М.: Советское радио, 1971.— 526 с.
2. Cardenhire Lawrence W. Data redundancy reduction for biomedical telemetry.— In: Biomedical telemetry, ed. by Caceres C. A.— New York—London.: Acad. Press, 1965, p. 255—298.

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

О. П. ГАСПАРЯН

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ЧАСТОТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ
 КАЧЕСТВА НЕЛИНЕЙНЫХ МНОГОСВЯЗНЫХ СИСТЕМ
 РЕГУЛИРОВАНИЯ

1. *Введение.* В [1] на базе метода характеристических передаточных функций (ХПФ) рассмотрена задача исследования автоколебаний в нелинейных многосвязных системах автоматического регулирования (МСАР). Настоящая статья посвящена дальнейшему развитию инженерной теории нелинейных МСАР. Основное внимание в ней уделено проблеме исследования вынужденных одночастотных колебаний при условии захватывания, а также вопросам оценки запасов устойчивости и качества колебательных переходных процессов.

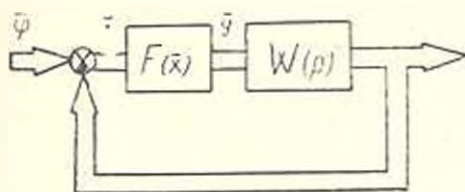


Рис. 1.

2. *Вынужденные одночастотные колебания в МСАР общего вида.* Пусть в нелинейной n -мерной МСАР общего вида (рис. 1) при подаче входных гармонических воздействий $\tilde{e}(t)$ с частотой Ω_n и компонентами $\varphi_i(t) = B_i \sin(\Omega_n t + \psi_i)$ устанавливается режим вынужденных колебаний той же частоты Ω_n и выполняется свойство фильтра линейной части [1]. Тогда, осуществляя гармоническую линеаризацию нелинейностей, получим следующее приближенное уравнение динамики МСАР:

$$x_0 = \Phi_0(j\Omega_n, \bar{A}) \bar{\varphi}_0 = [I + W(j\Omega_n) G(\bar{A})]^{-1} \bar{\varphi}_0, \quad (1)$$

где $G(\bar{A})$ — матрица коэффициентов гармонической линеаризации нелинейностей, а $\bar{\varphi}_0$ и $\bar{x}_0$ — векторы комплексных амплитуд входа и первых гармоник переменных x_i .

Неизвестными в задаче являются амплитуды A_i колебаний на входах нелинейностей, а частота Ω_n задается внешним воздействием $\tilde{\varphi}(t)$.

Сдвиги по фазе колебаний переменных x_i однозначно определяются при найденных A_i как аргументы компонент в правой части (1). Если воспользоваться диадным представлением передаточной матрицы $Q(j\Omega_n, \bar{A}) = W(j\Omega_n)G(\bar{A})$ разомкнутой гармонически линеаризованной МСАР [1], то выражение (1) можно переписать в эквивалентной форме

$$x_0 = \sum_{i=1}^n \bar{c}_i(j\Omega_n, \bar{A}) [\langle \bar{c}_i^+(j\Omega_n, \bar{A}), \bar{\varphi}_0 \rangle / [1 + q_i(j\Omega_n, \bar{A})]], \quad (2)$$

где $\bar{c}_i(j\Omega_n, \bar{A})$ и $\bar{c}_i^+(j\Omega_n, \bar{A})$ — оси канонического и двойственного базисов; $q_i(j\Omega_n, \bar{A})$ — ХПФ разомкнутой МСАР [1].

Из (2) вытекает, что если в МСАР устанавливается режим вынужденных колебаний частоты Ω_n , то это обязательно сопровождается колебаниями на той же частоте во всех n одномерных характеристических системах. Далее, диадная форма записи (2) показывает, что вектор комплексных амплитуд $\bar{x}_0$ представляется в виде линейной комбинации «реакций» МСАР вдоль осей канонического базиса. Рассматривая последовательно скалярные произведения обеих частей в (2) с векторами $\bar{c}_i^+(j\Omega_n, \bar{A})$ и учитывая свойства двойственного базиса, получаем следующую систему n нелинейных комплексных уравнений

$$\langle \bar{c}_i^+(j\Omega_n, \bar{A}), \bar{x}_0 \rangle = \langle \bar{c}_i^+(j\Omega_n, \bar{A}), \bar{\varphi}_0 \rangle / [1 + q_i(j\Omega_n, \bar{A})], \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, n.$$

Отсюда приходим к выводу, что проекция вектора $\bar{x}_0$ на i -ую ось канонического базиса равна соответствующей проекции входного вектора $\bar{\varphi}_0$, умноженной на комплексную передаточную функцию i -ой замкнутой характеристической системы. Отметим, что в силу нелинейных свойств МСАР как канонический базис, так и множество ХПФ зависят от неизвестного вектора амплитуд $\bar{A}$ или, в конечном счете, от вектора входа $\bar{\varphi}_0$. Переходя в (3) к модулям, приходим к требуемой системе n нелинейных алгебраических уравнений относительно вектора $\bar{A}$:

$$|1 + q_i(j\Omega_n, \bar{A})| = r_i(j\Omega_n, \bar{A});$$

$$r_i(j\Omega_n, \bar{A}) = \frac{|\langle \bar{c}_i^+(j\Omega_n, \bar{A}), \bar{\varphi}_0 \rangle|}{|\langle \bar{c}_i^+(j\Omega_n, \bar{A}), \bar{x}_0 \rangle|},$$

$$i = 1, 2, \dots, n.$$

Система (4) может быть решена на ЦВМ обычными методами [2], причем решение задачи имеет простую и наглядную геометрическую интерпретацию. Допустим, вектор $\bar{A}_+$ удовлетворяет системе (4). Подставив его в передаточную матрицу разомкнутой МСАР $Q(j\Omega_n, \bar{A})$, построим на комплексной плоскости семейство n характеристических годографов $q_i(j\Omega_n, \bar{A}_+)$ при изменении частоты Ω . Отметим на каждом из

них точку $\Omega = \Omega_0$, проведем из этих точек, как из центра, окружности радиусов $r_i(j\Omega, \bar{A})$ (4), равных для каждого i отношению модулей проекций векторов $\bar{\varphi}_i$ и $\bar{x}_0$ на i -ую ось канонического базиса. Тогда из (4) имеем, что все эти окружности должны проходить через точку $-1, j0$ (рис. 2). Если система (4) не имеет решения, то это означает, что при заданных внешних воздействиях захватывание не происходит и движение нелинейной МСАР носит более сложный характер. Обычно подобные случаи встречаются при исследовании автоколебательных МСАР.

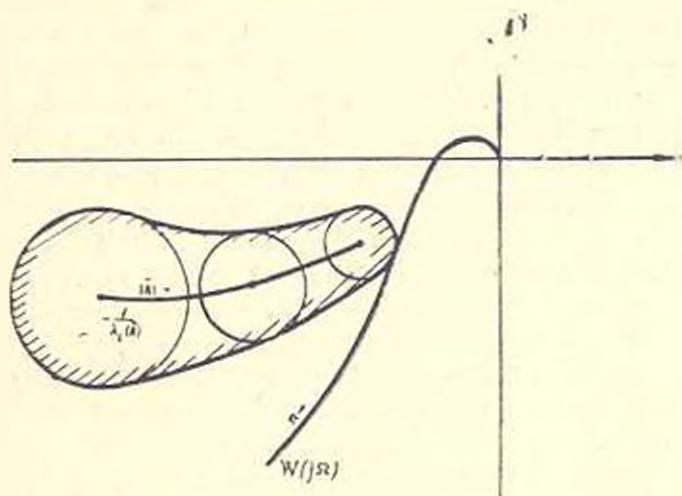


Рис. 2.

3. Вынужденные колебания вдоль осей канонического базиса МСАР.

При произвольном направлении вектора $\bar{\varphi}_0$ в пространстве входных гармонических воздействий в реакции нелинейной МСАР могут участвовать, согласно (2), все n характеристических систем. В то же время, из (2) следует, что если $\bar{\varphi}_0$ направлен по какой-либо одной, например r -ой, оси канонического базиса:

$$\bar{\varphi}_0 = |\varphi_0| \bar{c}_r(j\Omega_0, \bar{A}), \quad (5)$$

то

$$\bar{x}_0 = |\bar{\varphi}_0| \bar{c}_r(j\Omega_0, \bar{A}) / [1 + q_r(j\Omega_0, \bar{A})], \quad (6)$$

т. е. в МСАР «возбуждается» только r -ая характеристическая система, вектор $\bar{x}_0$ направлен по той же оси $\bar{c}_r(j\Omega_0, \bar{A})$, а его модуль равен

$$|\bar{x}_0| = |\bar{A}| = |\bar{\varphi}_0| / |1 + q_r(j\Omega_0, \bar{A})|. \quad (7)$$

Колебания каждой переменной x_i при этом сдвинуты по фазе относительно φ_i на одну и ту же величину

$$\Delta\tau = \arg \{1 / [1 + q_r(j\Omega_0, \bar{A})]\}. \quad (8)$$

Кроме того, из условия коллинеарности векторов $\bar{x}_0$ и $\bar{c}_i(j\Omega, \bar{A})$ вытекает уже известное по задаче исследования автоколебаний в МСАР условие коллинеарности вектора амплитуд $\bar{A}$ и действительного вектора $\bar{m}_i(\Omega, \bar{A})$, составленного из модулей компонент вектора $\bar{c}_i(j\Omega, \bar{A})$ [1], т. е.

$$\bar{A} = |\alpha| \bar{m}_i(\Omega, \bar{A}), \quad |\alpha| = |\bar{A}|. \quad (9)$$

4. *Показатель колебательности устойчивых нелинейных МСАР.* В нелинейных МСАР, как и в системах с одним входом и выходом [3], за область устойчивости положения равновесия в большинстве случаев лежит область автоколебаний, причем, в режиме установившихся автоколебаний в МСАР возбуждается только одна из характеристических систем, а вектор комплексных амплитуд $\bar{x}_0$ направлен по соответствующей оси канонического базиса [1]. Это означает, что нелинейная МСАР может перейти из области равновесно сходящихся процессов в область автоколебаний только вдоль одной из осей канонического базиса. Следовательно, чем дальше будут находиться от автоколебательной границы устойчивости одномерные характеристические системы, тем большими запасами устойчивости и лучшим качеством переходных процессов будет обладать нелинейная МСАР. Частотной оценкой запаса устойчивости характеристической системы может служить ее показатель колебательности M_i , определяемый как наибольшая относительная величина резонансного пика амплитудно-частотной характеристики в направлении i -ой оси канонического базиса. Математически это описывается следующим образом:

$$M_i = \sup_{\Omega} \frac{|\bar{x}_0|}{|\varphi_0|} = \sup_{\Omega} \frac{|\bar{A}|}{|\varphi_0|} = \frac{1}{|1 + q_i(j\Omega, \bar{A})|} \quad (10)$$

для всех $\bar{A}$, удовлетворяющих условию коллинеарности (9).

Для графического определения M_i отобразим уравнение (10) на комплексную плоскость семейства годографов $q_i(j\Omega, \bar{A})$, построенных при „коллинеарных“ $\bar{A}$. Возводя левую и правую части в (10) в квадрат, после несложных преобразований получаем

$$[\operatorname{Re}\{q_i(j\Omega, \bar{A})\} + 1]^2 + [\operatorname{Im}\{q_i(j\Omega, \bar{A})\}]^2 = 1/M_i^2. \quad (11)$$

Геометрически это есть уравнение окружности с центром в точке $-1, j0$ и радиусом $r = 1/M_i$, т. е. постоянным значениям $M_i = \text{const}$ соответствует на плоскости $q_i(j\Omega, \bar{A})$ семейство концентрических окружностей с центром в $-1, j0$. Отсюда приходим к выводу, что показатель колебательности M_i равен обратной величине радиуса той окружности, которая касается огибающей семейства годографов $q_i(j\Omega, \bar{A})$, используемым при исследовании автоколебаний [1] (рис. 3).

Отличительной чертой автоколебательных циркулянтных и антициркулянтных МСАР (ЦМСАР и АМСАР) является равенство амплитуд колебаний в отдельных каналах ($A_i = A$), при которых условие нелинейности (9) выполняется заведомо [1]. Соответственно, выражение (10) при этом зависит от одной амплитуды A , что существенно упрощает расчеты. Графическая методика определения M_i в рассматриваемых

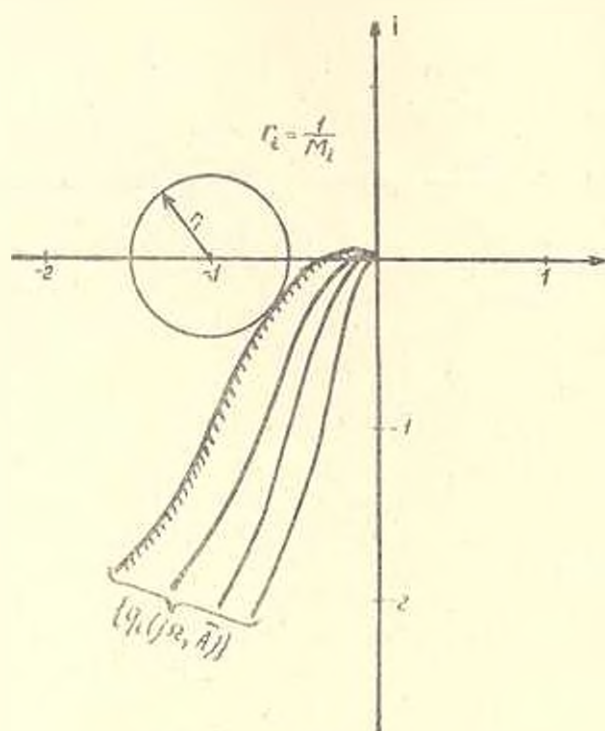


Рис. 4.

МСАР по существу иллюстрируется на рис. 3 и, при одностипных ЦМСАР и АМСАР — на рис. 4, где обозначение $\bar{A}$ следует заменить на A . В заключение отметим, что в случае ЦМСАР и АМСАР с диагональной матрицей нелинейностей, запретные зоны $M_i = \text{const}$ строятся на плоскости характеристических годографов линейной части $q_i(j\Omega)$ и совпадают с обычными запретными зонами, применяемыми при исследовании одномерных систем [3].

10 VI. 1983

ՈՒՆ ԴԱՍԳԱՐՅԱՆ

ԱՁ ԴԵՍՏԻՆ ԲԱԶՄԱԿԱՊ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԿԵՐԻ ՀԱՐԱՊԴՐԱԿԱՆ ՏՈՒՑԱՆՈՒԴՆԵՐԻ ԵՎ ՈՐԱԿԻ ՀԱՃԱՆՍԱԿԱՆԱՅԻՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԸ

ՈՒՄՓԻՈՓՈՒՄ

Տրված է բևեռագրող փոխանցման ֆունկցիաների մեթոդի տարածումը ոչ կծալին բազմակապ ավտոմատ կարգավորման համակարգերում (ԲԱԿՀ)

համաժամացման պայմանի դեպքում միահամախոսական հարկադրական տատանումների հետազոտման և տատանողական անցողիկ պրոցեսների որակի և կայունության պաշարների գնահատման խնդիրների վրա: Տրված է ոչ դժային հարմոնիկ գծայնացված $R\ddot{x} + U\dot{x}$ -ում համաժամացմուն կրելու լերկրաչափական մեկնարանում: Մտցվում է միաչափ բնութագրող համակարգերի տատանողականության ցուցանիշի պաղափարը: Նշված էն ոչ գծային $R\ddot{x} + U\dot{x}$ -ի հատուկ դասերի որակի վերլուծության առանձնահատկությունները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гаепалян О. Н. Исследование автоколебаний в нелинейных многосвязных системах регулирования методом характеристических передаточных функций. — Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1984, т. XXXVII, № 5, с. 34—39.
2. Демидович Б. П., Мирон И. А. Основы вычислительной математики. — М., Наука, 1970. — 664 с.
3. Попов Е. П. Прикладная теория процессов управления в нелинейных системах. — М.: Наука, 1973. — 584 с.

ГИДРАВЛИКА

Д. С. ТОРОСЯН

МАСШТАБНЫЙ ФАКТОР ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ
ТОНКОСЛОЙНОГО СЕПАРИРОВАНИЯ

Для воспроизведения результатов тонкослойного сепарирования жидких гетерогенных систем, полученных в лабораторных или пилотных установках, в промышленных процессах необходимо осуществлять масштабный переход от модельного сепаратора к натурному. В настоящее время моделирование центробежных тарельчатых сепараторов осуществляется: по разделяемости жидкости и разделяющему фактору сепаратора; числу осветления и по эквивалентной поверхности осаждения (по индексу производительности) [1—5]. При этом в расчетах по моделированию принимается вся усеченная коническая поверхность осаждения тарелок пакета во вставке ротора. Однако экспериментальные и теоретические исследования свидетельствуют о том, что отдельное межтарелочное пространство работает неравномерно [4—6]. Это не учитывается при моделировании процесса тонкослойного сепарирования и обуславливает ввод в расчеты коэффициента, учитывающего масштабный фактор.

Определим величину площади, образованной между двумя цепными линиями на поверхности прямого круглого усеченного конуса

$$\Delta S_1 = \iint_D \rho d\rho d\alpha / \sin \gamma, \quad (1)$$

где ΔS_1 — площадь на конической поверхности; α , ρ — полярный угол и радиус рассматриваемой точки; γ — угол наклона образующей тарелки к оси вращения ротора; D — область интегрирования.

Согласно [7] величину полярного радиуса ρ запишем в виде

$$\rho = r_1 \operatorname{ch}(\alpha - \alpha_1), \quad (2)$$

где r_1 — наименьший радиус тарелки; α — текущее значение полярного угла; α_1 — угол, определяющий положение кривой на тарелке.

Согласно рис. 1 имеем:

$$\Delta S_1 = \sin \gamma^{-1} \left(\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} d\alpha \int_{r_1}^{r_1 \operatorname{ch}(\alpha - \alpha_1)} \rho d\rho + \int_{\alpha_2}^{\alpha_3} d\alpha \int_{r_1 \operatorname{ch}(\alpha - \alpha_2)}^{r_1 \operatorname{ch}(\alpha - \alpha_1)} \rho d\rho + \int_{\alpha_3}^{\alpha_4} d\alpha \int_{r_1 \operatorname{ch}(\alpha - \alpha_3)}^{r_2} \rho d\rho \right), \quad (3)$$

следовательно,

$$\Delta S_1 = 0,5 \sin \gamma [(r_2^2/4) (\operatorname{sh} 2(\alpha_3 - \alpha_1) - \operatorname{sh} 2(\alpha_4 - \alpha_2) - (r_1^2/2) (\alpha_2 + \alpha_4 - \alpha_1 - \alpha_3) + r_2^2 (\alpha_4 - \alpha_2))]. \quad (4)$$

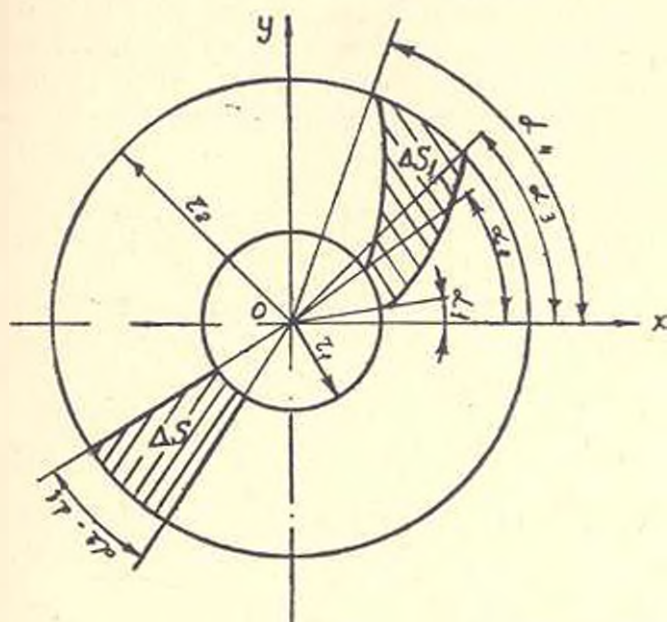


Рис. 1. Расчетная схема поверхностей на конической гарелке.

Как следует из рис. 1, с одной стороны $r_2 = r_1 \operatorname{ch} (\alpha_3 - \alpha_1)$, а с другой — $r_2 = r_1 \operatorname{ch} (\alpha_4 - \alpha_2)$ и поэтому $\alpha_4 - \alpha_2 = \alpha_3 - \alpha_1 = \operatorname{arccch} r_2/r_1$. Следовательно, $\alpha_4 = \alpha_3 + \alpha_2 - \alpha_1$ и $\operatorname{sh} 2(\alpha_3 - \alpha_1) = \operatorname{sh} 2(\alpha_4 - \alpha_2)$. Тогда уравнение (4) можно записать в виде

$$\Delta S_1 = 0,5 \sin \gamma^{-1} (r_2^2 - r_1^2) (\alpha_2 - \alpha_1). \quad (5)$$

Так как $\rho = r_1 \operatorname{ch} (\alpha - \alpha_1)$ и если принять, что $\alpha = \alpha_2$ и $\alpha_1 = 0$, то получим:

$$r_2 = r_1 \operatorname{ch} \alpha_2; \quad \alpha_2 = \operatorname{arccch} r_2/r_1. \quad (6)$$

В этом случае из уравнения (5) получим:

$$\Delta S_1 = 0,5 \sin \gamma^{-1} (r_2^2 - r_1^2) \operatorname{arccch} r_2/r_1. \quad (7)$$

Площадь, образованную между двумя планками, определим из уравнения (1):

$$\Delta S = \sin \gamma^{-1} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} d\alpha \int_{r_1}^{r_2} \rho d\rho, \quad (8)$$

откуда имеем:

$$\Delta S = 0,5 \sin \gamma^{-1} (r_2^2 - r_1^2) (\alpha_2 - \alpha_1). \quad (9)$$

Общая поверхность тарелки будет выражаться равенством

$$S = \pi(r_2^2 - r_1^2)/\sin \gamma. \quad (10)$$

Анализ уравнений (9) и (10) показывает, что связь между поверхностью, образованной между двумя планками и общей поверхностью тарелки, носит линейный характер. Связь между площадью, образованной между двумя цепными линиями, выражающаяся уравнением (7), и общей поверхностью тарелки, носит нелинейный характер.

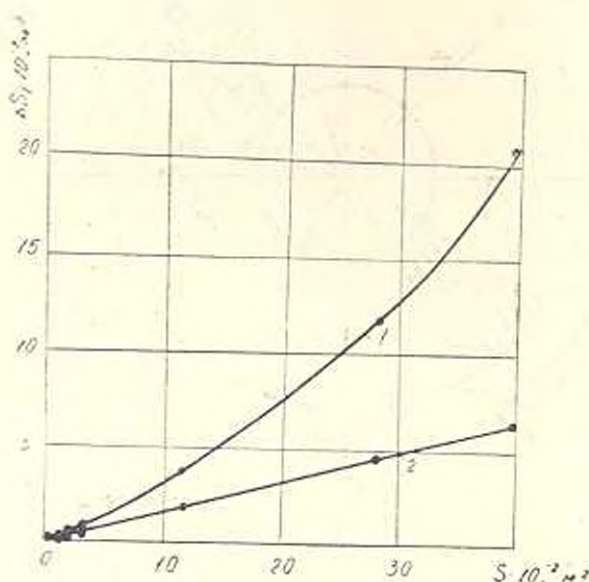


Рис. 2. Зависимость площадей выделенных с помощью двух цепных линий (1) и под центральным углом в один радиан (2) от общей поверхности тарелки.

На рис. 2 приведены зависимости $\Delta S_1 = f_1(s)$ и $\Delta S_2 = f_2(s)$, полученные на основании технических характеристик существующих сепараторов для разделения молока на фракции. График $\Delta S = f_1(s)$ построен при значении разности углов $\alpha_2 - \alpha_1$, равной одному радиану. Анализ приведенных на рис. 2 зависимостей указывает на то, что при моделировании процесса толкослойного сепарирования в расчеты необходимо ввести масштабный фактор.

Если в качестве модульного сепаратора принять сепаратор с параметрами тарелок $\gamma = 40^\circ$, $r_2 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $r_1 = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, то отношение площади, образованной под разностью центральных углов, примерно, в один радиан и поверхностью, образованной между цепными линиями, будет представлять масштабный фактор Θ . Для тарелок с параметрами $\gamma = 40^\circ$, $r_2 = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, $r_1 = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ и $\gamma = 40^\circ$, $r_2 = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, $r_1 = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ связь между масштабным фактором Θ и отношения общих поверхностей натурального и модельного сепараторов s_n/s_m приведена на рис. 3.

Численные значения масштабного фактора Θ , приведенные на рис. 3, могут несколько отличаться от опытных данных, т. к. при расчетах не могут быть учтены все факторы, влияющие на масштабный переход процесса тонкослойного сепарирования. Это связано с тем, что процесс тонкослойного сепарирования протекает при сложной гидродинамической обстановке и учесть истинные величины части поверхности конической тарелки, которые необходимы для масштабного перехода.

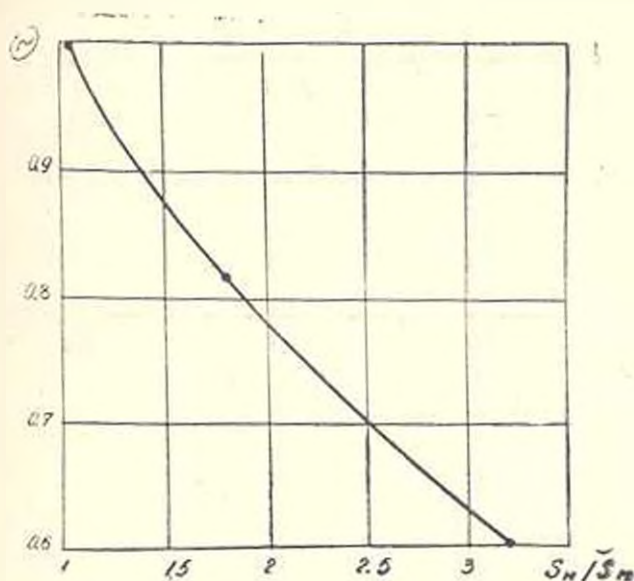


Рис. 3. Зависимость масштабного фактора и отношения общей поверхности тарелки натурного и модельного сепаратора.

оказывается затрудненным. Однако физический смысл требования ввода масштабного фактора и характер зависимости, полученный аналитическим путем, приведенный на рис. 3, дает возможность моделирование процесса тонкослойного сепарирования проводить на обоснованном плане экспериментов, учитывающем конкретные факторы.

Ленинградский гос. педагог. ин-т
им. М. Горького

20. I 1985

Ջ. Ս. ԽՈՐՈՍՅԱՆ

ՄԱՍՇՏԱԲԱՆՈՒԹՅԱՆ ԴՈՐՄՈՆԸ ՆՈՒՐԻ ՀԵՐՏԱՅԻՆ ԶԱՏՄԱՆ ՄԱՍՏԱԲԱՆՈՒԹՅԱՆ ԿԵՊԵՐՈՒՄ

Ա. Մ. Փ. Ո. Փ. Ո. Վ. Մ.

ՆՈՐԻ ՀԵՐՏԱՅԻՆ ՍՐՈՇԵՍԻ ՄՈԴԵԼԻՆԳՄԱՆ ԳԵԿՐՈՒՄ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄ Է ՀԱՇՎԱՐԿՆԵՐԻ ՄԵԶ ՄԱՍՇՏԱԲԱՆՈՒԹՅԱՆ ԳՐԹՈՆԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄ:

ՈՒՍՈՒՆԱՍԻՐՈՒՄ Է ՄԱՍՇՏԱԲԱՆՈՒԹՅԱՆ ԳՐԹՈՆԻ ՊՈՏՁԱԳՄԱՆ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆԱԽՈՒՄ ՎԵՐԱԿԱՎՈՐ ԿԱՄԻՉ ՄԵԶԵՆԱՆԵՐԻ ՄՈԴԵԼԻՆԳՄԱՆ ԳԵԿՐՈՒՄ:

Յուլյո է տրված, որ արդյունաբերական դատիչ մեքենայի երկրաչափական լափերի մեծացման դեպքում մասշտաբային գործոնի արժեքը փոքրանում է:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Соколов В. И. Центрифугирование.— М.: Химия, 1975.— 408 с.
2. Ромашков П. Г., Паюшкин С. А. Жидкостные сепараторы.— Л.: Машиностроение, 1976.— 256 с.
3. Бремер Г. Н. Жидкостные сепараторы — М.: Машиз, 1957 — 244 с.
4. Сурков В. Д., Липитов Н. Н., Золотин Ю. П. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности.— М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.— 432 с.
5. Липитов Н. Н. Сепарирование в молочной промышленности.— М.: Пищевая промышленность, 1971.— 400 с.
6. Карпычев В. А., Семенов М. В. Гидромеханические процессы технологической обработки молочных продуктов.— М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.— 240 с.
7. Торосян Д. С. Исследование движения отделяемой частицы в межтарелочном пространстве сепаратора.— Изв. АН АрмССР (серия ТН), 1984, т. XXXVII, № 3, с. 39—41.

ЭНЕРГЕТИКА

С. Г. АКОПЯН

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИАКОПТИКИ К РАСЧЕТУ
 ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ БОЛЬШИХ СИСТЕМ
 ТРАНСПОРТА ГАЗА

В работах [1, 2] рассматривается метод расчета потокораспределения стационарного режима сложной газотранспортной системы (ГТС) для различных ситуаций: когда в каждом узле заданы либо узловые отборы (притоки) газа, либо узловые давления. Определению подлежат неизвестные узловые параметры и потоки по дугам (участкам) ГТС.

Одним из методов, позволяющих получить решение задачи потокораспределения большой системы транспорта газа, является эффективный аппарат теории диакоптики — метод расчленения сети [2, 3]. Сущность этого метода заключается в разделении большой системы на ряд подсистем (частей) малой размерности, с учетом размещения задачи большой размерности на ЦВМ, увеличения быстродействия алгоритма, уменьшения оперативной памяти ЦВМ, а также представления информации к удобному и компактному виду.

В настоящее время известно много методов и алгоритмов, касающихся решения систем линейных алгебраических уравнений большой размерности [4], но их вряд ли можно эффективно использовать при решении задач потокораспределения большой системы транспорта газа, описываемых уравнениями узловых давлений с переменными элементами матрицы проводимостей и правой части [1, 2].

В настоящей работе рассматривается применение метода расчленения сети к расчету потокораспределения больших систем транспорта газа с учетом особенности решения задачи с помощью уравнений узловых давлений. Чтобы применить метод расчленения сети к системе уравнений узловых давлений [1, 2]

$$\sum_{k=1}^n g_{jk} \cdot P_k = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

необходимо матрицу проводимостей $G = [g_{jk}]$ привести к блочно-диагональному виду, что может быть выполнено с помощью матрицы перестановок T :

$$G' = TGT', \quad (2)$$

где G' — матрица, приведенная к блочно-диагональному виду; T^t — транспонированная матрица по отношению к T .

Метод расщепления сети формулируется следующим образом: первоначальная нерасщепленная ГТС имеет s узлов, из которых m — независимые, где заданы узловые расходы (отборы или притоки) q_j ($j = 1, 2, \dots, m$), и требуется определить узловые давления P_k ($k = 1, 2, \dots, m$), $s - m$ балансирующих узлов, где заданы давления P_r ($r = m + 1, m + 2, \dots, s$), но требуется определить узловые расходы q_r . Система разделяется на h подсистем так, чтобы в каждой подсистеме было не меньше одного балансирующего узла. Пусть количество внешних связывающих газопроводов в системе будет γ .

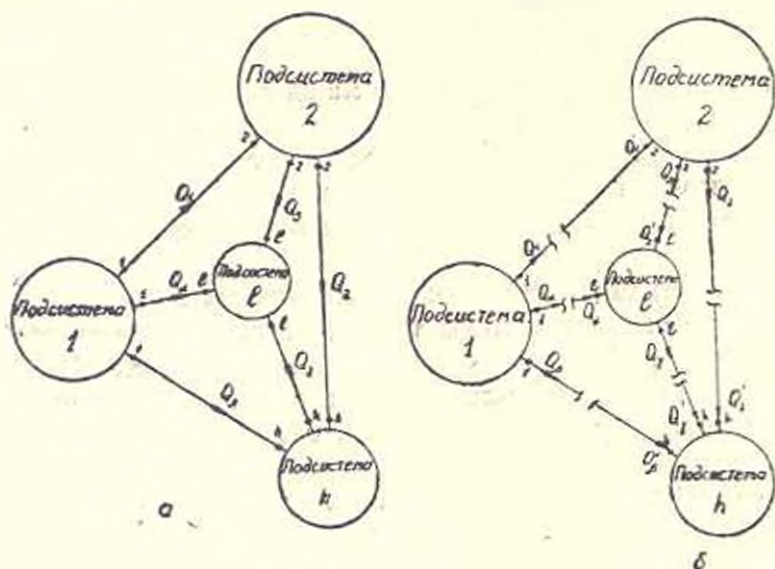


Рис. 1.

Если разорвать схему рис. 1а в точках 1, 2, ..., l, ..., h, то необходимыми и достаточными условиями сохранения равновесия в схеме рис. 1б по сравнению со схемой рис. 1а будут условия равенства входных и выходных потоков каждой подсистемы:

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q'_1; & Q_2 &= Q'_2; & Q_3 &= Q'_3; \\ Q_4 &= Q'_4; & Q_5 &= Q'_5; & Q_6 &= Q'_6. \end{aligned} \quad (3)$$

Условия (3) осуществляются в уравнениях связи потоков от начального и конечного давлений соответствующих узлов, связывающих газопроводы между подсистемами, т. е.:

$$\begin{aligned} P_1 - P_2 &= C_1 Q_1; & P_2 - P_h &= C_2 Q_2; & P_2 - P_l &= C_3 Q_3; \\ P_1 - P_l &= C_4 Q_4; & P_1 - P_h &= C_5 Q_5; & P_l - P_h &= C_7 Q_7, \end{aligned} \quad (4)$$

где P_{ω} — давление в узловых точках $\omega = 1, 2, \dots, l, \dots, h$; $C_1, C_2, \dots, C_l, \dots, C_h$ — параметры, зависящие от давления узлов и определяемые согласно [1, 2].

При фиксации значений потоков $Q_1, Q_2, \dots, Q_l$ оставшиеся переменные, находящиеся внутри каждой подсистемы n , можно определять независимо друг от друга. Тогда обобщенная модель n подсистем может быть получена путем составления для каждой из изолированных подсистем систем уравнений узловых давлений, которые по принятым в [1, 2] обозначениям имеют вид:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{m_1} g_{jk}^{(1)} P_k &= b_j, \quad j = 1, 2, \dots, m_1; \\ \sum_{k=m_1+1}^{m_1+m_2-1} g_{jk}^{(2)} P_k &= b_j, \quad j = m_1 + 1, m_1 + 2, \dots, m_2; \\ &\vdots \\ \sum_{k=m_1+m_2+1}^{m_1+m_2+m_3-1} g_{jk}^{(3)} P_k &= b_j, \quad j = m_2 + 1, m_2 + 2, \dots, m_3; \\ &\vdots \\ \sum_{k=m_1+m_2+\dots+m_{l-1}+1}^{m_1+m_2+\dots+m_l-1} g_{jk}^{(l)} P_k &= b_j, \quad j = m_{l-1} + 1, m_{l-1} + 2, \dots, m_l. \end{aligned} \tag{5}$$

В уравнениях (5) значения потоков $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ внешних связей, входящих газопроводов входят как правые части и их можно выразить через давления узлов согласно уравнениям (4) и подставить в (5). При этом матрица системы (5) имеет блочно-диагональную структуру, решением которой на ЦВМ осуществляется с применением метода итерации следующим образом.

Задаются на данном ν -ом шаге фиксированные значения узловых давлений $P_i^{(\nu)}$ и $P_k^{(\nu)}$ в нелинейных матрицах $[g_{ik}^{(\nu)}]$, $\omega = 1, 2, \dots, l, \dots, h$ и правых частях $b_i^{(\nu)}$ уравнений (5). Они превращаются соответственно в матрицы и вектора с постоянными коэффициентами, а уравнения (5) — в линейные алгебраические уравнения с блочно-диагональной матрицей коэффициентов. В каждом шаге итерации блоки представляют собой независимые системы линейных алгебраических уравнений, которые одновременно решаются на ЦВМ известными прямыми или итерационными методами. При этом каждый блок $[g_{ik}^{(\nu)}]$ симметричен, их диагональные коэффициенты больше или равны сумме модулей коэффициентов соответствующей строки; все недиагональные коэффициенты отрицательны, следовательно, матрицы $[g_{ik}^{(\nu)}]$ и блочно-диагональная матрица системы (5) являются положительно определенными [1, 2].

Для нахождения вектора неизвестных узловых давлений P_k на $v+1$ -ом шаге итерации решается одновременно h независимых на каждом шаге систем линейных уравнений (5) с постоянными правыми частями. Полученные давления $P_k^{(v+1)}$ подставляются в $[d_{jk}^{(v+1)}(p_j^{(v+1)}; p_k^{(v+1)})]$, $\omega = 1, 2, 1, \dots, h$ и в правую часть (5) и вновь решается система (5) и т. д. Итерационный процесс заканчивается и решение будет найдено, когда имеет место условие

$$|P_k^{(v+1)} - P_k^{(v)}| \leq \epsilon, \quad k = 1, 2, \dots, m, \quad (6)$$

где ϵ — заданная точность расчета.

После нахождения узловых давлений P_k потоки на участках и узловые расходы отдельных h подсистем определяются аналогично [1, 2].

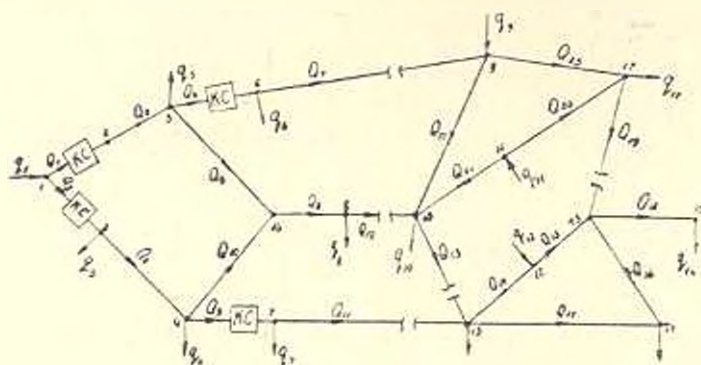


Рис. 2.

Пример. Рассмотрим расчетную схему, которая приведена на рис. 2. Она состоит из $S = 18$ узлов (из них P_r , $r = 16, 17, 18$ — балансирующие узлы, где задаются узловые давления, поэтому $m = 15$) и $n = 23$ участков. На четырех участках имеются компрессорные станции (КС). Рассматриваемая на рис. 2 схема ГТС на участках между узлами 6—9, 8—10, 7—18, 10—18, 13—17 разрезается, при этом получаются три изолированные подсистемы малой размерности. Уравнения узловых давлений для рассматриваемой схемы ГТС имеют блочно-диагональную форму:

$$\begin{vmatrix} g_{jk}^{(1)} & 0 & 0 \\ 0 & g_{jk}^{(2)} & 0 \\ 0 & 0 & g_{jk}^{(3)} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} p_k^{(1)} \\ p_k^{(2)} \\ p_k^{(3)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} b_j^{(1)} \\ b_j^{(2)} \\ b_j^{(3)} \end{vmatrix}, \quad (7)$$

где

$$b_j^{(1)} = \begin{vmatrix} q_1 - \frac{z_1}{C_1} - \frac{z_3}{C_5} \\ \frac{z_1}{C_1} \\ -q_2 + \frac{p_{12}}{C_1} - \frac{z_6}{C_8} \\ -q_4 + \frac{p_{18}}{C_{10}} - \frac{z_9}{C_9} \\ -q_5 + \frac{z_5}{C_5} \\ -q_8 + \frac{z_6}{C_8} - Q_7 \\ -q_7 + \frac{z_9}{C_9} - Q_{11} \\ -q_9 + \frac{p_{18}}{C_8} - Q_2 \end{vmatrix};$$

$$b_j^{(2)} = \begin{vmatrix} q_9 + \frac{p_{17}}{C_{23}} + Q_7 \\ -q_{10} + Q_{12} + Q_{13} \\ q_{11} + \frac{p_{17}}{C_{20}} \end{vmatrix};$$

$$b_j^{(3)} = \begin{vmatrix} q_{12} + \frac{p_{18}}{C_{14}} \\ Q_{19} \\ q_{14} + \frac{p_{28}}{C_{17}} \\ -q_{15} \end{vmatrix};$$

$$p_k^{(1)} = \begin{vmatrix} p_1 \\ p_1 \\ p_2 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \\ p_7 \\ p_8 \end{vmatrix};$$

$$p_k^{(2)} = \begin{vmatrix} p_9 \\ p_{10} \\ p_{11} \end{vmatrix};$$

$$p_k^{(3)} = \begin{vmatrix} p_{12} \\ p_{13} \\ p_{14} \\ p_{15} \end{vmatrix};$$

$$g_{jk}^{(1)} = \begin{vmatrix} q_{11} - \frac{1}{C_1} & 0 & 0 & -\frac{1}{C_5} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{C_1} & g_{22} - \frac{1}{C_2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C_2} & g_{33} & 0 & 0 & -\frac{1}{C_4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & g_{44} - \frac{1}{C_4} & 0 & -\frac{1}{C_4} & 0 \\ -\frac{1}{C_5} & 0 & 0 & -\frac{1}{C_4} & g_{55} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{C_8} & 0 & 0 & g_{62} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{C_8} & 0 & 0 & g_{77} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & g_{88} \end{vmatrix};$$

$$g_{jk}^{(2)} = \begin{vmatrix} g_{22} & -\frac{1}{C_{22}} & 0 \\ -\frac{1}{C_{22}} & g_{1010} & -\frac{1}{C_{21}} \\ 0 & -\frac{1}{C_{21}} & g_{1111} \end{vmatrix}; \quad (10)$$

$$g_{jk}^{(3)} = \begin{vmatrix} g_{1212} & -\frac{1}{C_{15}} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{C_{15}} & g_{1313} & -\frac{1}{C_{16}} & -\frac{1}{C_{18}} \\ 0 & -\frac{1}{C_{16}} & g_{1414} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C_{18}} & 0 & g_{1515} \end{vmatrix};$$

$$\begin{aligned} g_{11} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_5}; & g_{22} &= \frac{1}{C_{22}} + \frac{1}{C_{23}}; \\ g_{22} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}; & g_{1010} &= \frac{1}{C_{21}} + \frac{1}{C_{22}}; \\ g_{23} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_6}; & g_{1111} &= \frac{1}{C_{20}} + \frac{1}{C_{21}}; \\ g_{44} &= \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_6} + \frac{1}{C_{10}}; & g_{1212} &= \frac{1}{C_{14}} + \frac{1}{C_{15}}; \\ g_{55} &= \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5}; & g_{1313} &= \frac{1}{C_{15}} + \frac{1}{C_{16}} + \frac{1}{C_{18}}; \\ g_{66} &= \frac{1}{C_6}; & g_{1414} &= \frac{1}{C_{16}} + \frac{1}{C_{17}}; \\ g_{77} &= \frac{1}{C_7}; & g_{1515} &= \frac{1}{C_{18}}; \\ g_{88} &= \frac{1}{C_8}; \end{aligned} \quad (11)$$

Уравнения связи между подсистемами газопроводов 6—9, 8—10, 7—18, 10—18, 13—17 имеют вид:

$$\begin{aligned} P_6 - P_9 &= C_7 Q_7; & P_6 - P_{16} &= C_{12} Q_{12}; \\ P_7 - P_{16} &= C_{11} Q_{11}; & P_{10} - P_{18} &= C_{13} Q_{13}; \\ & & P_{17} - P_{18} &= C_{10} Q_{10}. \end{aligned} \quad (12)$$

При решении на ЭВМ системы (7) целесообразно из (12) значения потоков подставлять в правую часть (7), т. е. в (8), затем построить итерационную процедуру расчета. В (7) величины P_i , q_i и k_i заданы, а $F_i^{(v)}$ задаются индуктивно по v , при этом элементы матрицы $[g_{ik}^{(v)}]$ — постоянные величины на v -ом шаге итерации, которые определяются по формуле, приведенной в [1, 2]. Тогда (7) представляет три независимые системы линейных алгебраических уравнений. Для нахождения P_i на $(v+1)$ -ом шаге необходимо решить систему (7), для чего можно использовать как прямые, так и итерационные методы.

На следующем шаге найденное значение $P_i^{(v+1)}$ входит в (7) как $P_i^{(v)}$. Процесс прекращается, как только выполняется условие (6).

Ер. компл. огд.
ВНИИЭЛГАЗПРОМ

15. VI 1983

II. ՀԱՊԱՐՅԱՆ

ԴԻՖԿՈՊՏԻԱՅԻ ՄԵԽՈԳԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԳԱԶԱՏՐԱՆՍՊՐՏԱՅԻՆ ՄԵՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀՈՈՔԱՐԱՇԽՄԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿՈՒՄ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Դիտարկվում է ցանցի մասնատման մեթոդի կիրառումը գազատրանսպորտային մեծ համակարգերում հոսքաբաշխման խնդրի հաշվարկում: Մեթոդը կիրառելիս հաշվի է առնվում խնդրի լուծման տոանձնահատկությունը հանգուցային ճնշումների հավասարումների միջոցով:

Ներկայացվող մեթոդը բերում է մեծ չափողականությամբ հիդրավիկական հաշվարկը արտահայտող հավասարումների լուծման համարժեք փոխարինմանը մի շարք փոքր չափողականության ենթախնդիրների լուծման, որոնք ավելի հեշտ են իրականացվում թվային հաշվիչ մեքենայի (ԹՀՄ) վրա:

Տվյալ մեթոդը հնարավորություն է տալիս մեծ չափողականության խնդիրը սեղավորել տրամադրության տակ գտնվող ԹՀՄ-ի վրա և բարձրացնում է հաշվարկի արդյունավետությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Акопян С. Г. Расчет потоковраспределения стационарного режима газотранспортной системы.— В сб.: Проблемы совершенствования и развития прогрессивных технико-экономических норм и нормативов в газовой промышленности.— М.: ВНИИЭГазпром, 1982. с. 84—91.
2. Акопян С. Г. Декомпозиционный метод расчета потоковраспределения стационарного режима больших систем транспорта газа.— Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1982, т. XXXV, № 1, с. 16—21.
3. Крон Г. Исследования сложных систем на частях — дискретика.— М.: Мир, 1972 — 542 с.
4. Леонас В. А. Использование продеревьев и разделения сети в задачах потоковраспределения на сети транспортного типа.— В кн.: Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики.— Иркутск: 1978, вып. 13, с. 106—113.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

էջ

Հայկ. ՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս Մ. Վ. Կասյանի ծննդյան ՏԾ-ամսակի թոթիվ 3

ՄԵՔԵՆԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ

Մ. Վ. Կասյան, Շ. Գ. Շեկյան, Ռ. Ն. ՏԼԵ: Կտրման ուժի մեծերի պարամետրերի օպտի-
միզացումը. էլեկտրոնային ռադիոյի ղեկավարի՝ ղերկարժր զործիքանյու-
թով մշակման ղեկարգում 6

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՏԻՆԵՐ

Ա. Հ. Սահակյան, Ռ. Ա. Կոստիկյան: Բաղմահարկ շենքերի երկաթբետոնյա կաշտության
միջուկների ճկվածքների որոշման մեթոդիկա բետոնում զարգացող ճաքերի
հաշվառումը 11

Է. Ա. Դաստակյան, Ռ. Ս. Հովսեփյան, Ա. Գ. Սիմոնյան: Չալնազդանշանի տեղագրության
ազդեցությունը երա մարման պրոցեսի վրա շինությունում 17

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԿՈՆՏՐԵՆՏԻՎԱԿԱՆ

Գ. Մ. ՄԼԻՔՈՅԱՆ, Տ. Գ. Արեշյան: Տվյալներ ամփոփության կրճատման՝ ազալագում-
ների նկատմամբ կայուն ուղղորդումն մեթոդ 23

Ո. Ն. Դաստակյան: Ոչ ղծային բաղմակալ կարգավորման համակարգերի հարկադրական
տատանումների և որակի հաճախականային ցուցանիշները 29

ՀԻՊՐՈՒՎԼԻԿԱ

Ջ. Ա. Խոբոյան: Մասշտաբային ղործոնը նուրբ շերտային ղատման մոզելաքման ղեկարգում 36

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ

Ա. Հ. Հակոբյան: Դիսկոպտիկայի կիրառումը ղաղաստանապարտային մեծ համակարգերի
հաստատարման հաշվարկումը 41

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
К 80-летию со дня рождения академика АН АрмССР М. В. Касьяна	3

МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. В. Касьян, Г. Г. Шемян, Б. Н. Тен. Оптимизация параметров режимов резания при обработке базовых деталей электродвигателей инструментом из СТМ	6
--	---

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

А. О. Саакян, Р. А. Котикян. Методика определения прогибов железобетонных ядер жесткости многоэтажных зданий с учетом развития трещин в бетоне	11
Э. А. Дастакян, Р. С. Овсепян, А. Г. Симосян. Влияние продолжительности действия звукового сигнала в помещении на процесс его затухания	17

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

Д. С. Мелконян, Т. Г. Арешян. Помехоустойчивый регрессионный метод сокращения избыточности данных	23
О. Н. Гаспарян. Вынужденные колебания и частотные показатели качества нелинейных многосвязных систем регулирования	29

ГИДРАВЛИКА

Д. С. Торосян. Масштабный фактор при моделировании тонкослойного сепарирования	36
--	----

ЭНЕРГЕТИКА

С. Г. Акопян. Применение метода дискретности к расчету потокораспределения больших систем транспорта газа	41
---	----