

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 Մ Ր Ա Յ Ր Ա Ն Կ Ո Ւ Ն Յ Ր Ն

Գառնյան Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Արսեն Ն. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Ալեքսանյան Վ. Վ., Զաղարյան Մ. Ա., Հակոբյան Ռ. Ե.,
Սարգսյան Յու. Լ., Ստեփանյան Մ. Գ., Տեր-Ազատի Ի. Ա.,
Փիկաշյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Գառնյանյան ընթերցողական ջոկատի ղեկավար Սեփանյան Զ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (ответ. редактор), Адоми Г. Т. (зам. ответ. редактора),
Алексеевский В. В., Аюбян Р. Е., Задоян М. А.,
Пинашян В. В. (зам. ответ. редактора), Саркисян Ю. Л.,
Сталян М. Г., Тер-Азирьев И. А.
Ответственный секретарь Степанян З. К.

Н. Л. АКОПОВ, М. Г. БАБАЯН

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОРОШКОВОГО СПЛАВА

Требования, предъявляемые к современным износостойким материалам, непрерывно возрастают. Анализ [1, 2] показывает, что повышение несущей способности материалов достигается комплексным легированием хромом, никелем, молибденом, медью и др. [3].

Для защиты трущихся поверхностей от усиленного износа и схватывания материалов в тяжелых условиях работы применяют твердые смазывающие вещества — MoS_2 , $MoSe_2$, WS_2 и т. д. Из них наиболее лучшими технико-экономическими показателями обладает дисульфид молибдена MoS_2 , что обуславливает его широкое применение в узлах трения.

Целью данной работы являлось создание низколегированного износостойкого порошкового сплава с относительно малым коэффициентом трения, предназначенного для работы в условиях граничного и сухого трения, а также в вакууме. Порошковый сплав получали по оксидной технологии [4]. В качестве исходных материалов были использованы закись никеля NiO (ч) ТУ6-09-4125-80, оксид железа Fe_2O_3 (ч.д.а.) ТУ6-09-3600-78, молибденовый ангидрид MoO_3 (ч.д.а.) ТУ6-109-4471-77, оксид хрома Cr_2O_3 (ч.д.а.) ГОСТ 2912-66, хлористый аммоний NH_4Cl (х.ч.) ГОСТ 3773-72. Оксиды металлов брались в количестве 2% (масс.) каждый, а содержание Fe_2O_3 в шихте составляло 94%. С целью интенсификации процесса шихта предварительно брикетировалась и содержала оптимальное количество NH_4Cl — 3%.

Механизм процесса синтеза (ферритизации) характеризуется замкнутым циклом повторяющихся реакций в твердой и газообразной средах, в результате которых происходит взаимодиффузия $Fe_2O_3 \rightleftharpoons MeO$ с последующим восстановлением кислородного потенциала полученного сложного оксида $Ni_x Mo_y Cr_z \cdot Fe_{4-(x+y+z)} O_4$. Рентгеноструктурным и магнитными анализами не выявлены исходные оксиды в свободном состоянии, и подтверждено полное протекание процесса синтеза. Оптимальная температура ферритизации составляла $1100^\circ C$, общее время — 5 ч.

Полученный по оптимальным режимам сложный оксид подвергался комбинированному восстановлению водородом и графитом ($T_r = 1150^\circ C$, $\tau = 2,5$ ч). Исследованы механизм и кинетика восстановления, которые можно представить как комплексные соединения твердых растворов $Me'Fe_2O_4)_x (Me''Fe_2O_4)_{1-x}$. При этом твердый раствор восстанавливает-

ся без превращения, т. е. плавно в одну стадию и процесс является автокаталитическим.

Равномерность распределения элементов *Cr*, *Ni*, *Mo* в железе определяли на микроспектральном анализаторе *IXA-5* (рис. 1). Полученный порошок отличается равномерным распределением структурных составляющих.

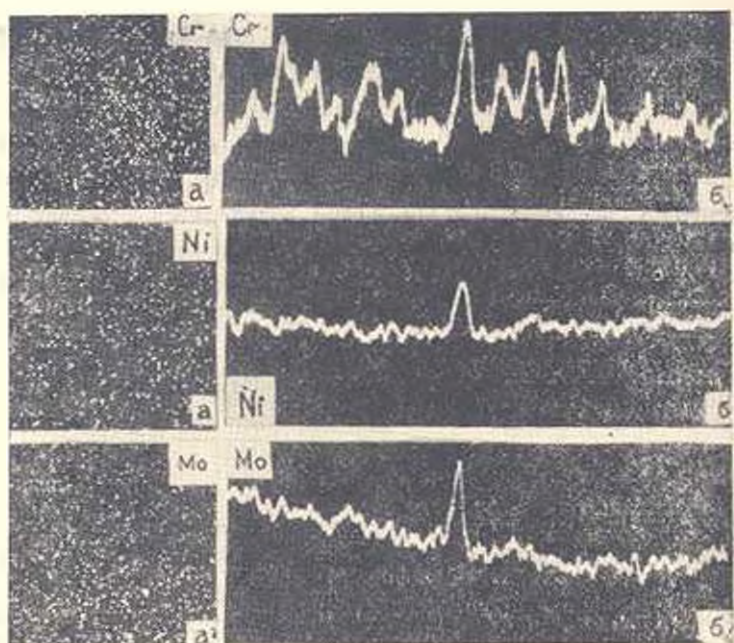


Рис. 1. Распределение легирующих элементов: а) в глубине образца; б) на поверхности (профильные линии)

Технологические свойства нового материала — гранулометрический состав, насыпная плотность ($2,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$), текучесть (32 с/0,05 кг), масса утряски ($2,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$) легированного восстановленного порошка соответствуют требованиям стандарта на железные порошки. Содержание нерастворимого остатка — 0,28%, кислорода — 0,36%. Уплотняемость при $P = 600 - 800 \text{ МПа}$ составляет $(6,65 - 6,83) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, а нижний предел формустойчивости — $(4,7 - 5,55) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Легированный порошок науглероживали по технологии, описанной в [5]. В результате был получен стальной легированный порошок с содержанием углерода (0,48—0,95) %.

Полученные стальные порошки условно обозначены ПС50Х2Н2М2 (ПС1) и ПС80Х2Н2М2 (ПС2) и содержат соответственно 0,5 и 0,8% углерода. Для их компактирования была выбрана технология получения материалов горячим выдавливанием (экструзией), обеспечивающая получение изделий с максимальной плотностью (практически беспористых) и комплексом высоких физико-механических свойств. Экструдирование осуществлялось при следующих оптимальных режимах:

$T = 1050-1100^{\circ}\text{C}$, а степень обжатия $\lambda = 4$. Предел прочности экструдированных материалов составлял 900—1100 МПа при растяжении и (1200—1500) МПа при изгибе, ударная вязкость — (0,27—0,39) МДж/м², твердость — (210—230) НВ, относительные удлинение и сужение соответственно (13,5—15,5) % и (18—20) %.

Для снижения коэффициента трения разработанных износостойких материалов вводилась твердая смазка — дисульфид молибдена. Принятая технология (экструзия) позволяет вводить MoS_2 непосредственно в шихту и минимизировать процесс спекания, при котором происходит термическая диссоциация $\text{MoS}_2 \rightarrow \text{Mo} + \text{S}$.

Лабораторные испытания проводились на испытательных машинах СМЦ-2, УСНН-2 и на установке УИИ-1В. Испытанию подвергались термообработанные образцы твердостью HRC 55—58. Практические значения нормальных давлений при трении материалов определялись после приработки при постоянных значениях скорости скольжения и нагрузках. Математически планированным экспериментом выбран интервал содержания углерода (0,4—0,8) % и твердой смазки (MoS_2) — (3—6) %.

Таблица 1

Влияние углерода и твердой смазки на коэффициент трения и износ при граничном трении ($P=5 \text{ МПа}$, $V=1 \text{ м/с}$) и сухом трении ($P=1,5 \text{ МПа}$, $V=1 \text{ м/с}$)

Содержание C , MoS_2 , % (мас.)	Вид трения			
	граничное		сухое	
	Коэффициент трения	Износ, 10^{-4} м/ч	Коэффициент трения	Износ, 10^{-4} м/ч
0,4	0,0062	0,45	0,44	32
0,5	0,0062	0,44	0,35	30
0,6	0,0068	0,4	0,33	26
0,7	0,008	0,37	0,32	22
0,8	0,0095	0,35	0,34	22
0,5,3	0,0063	0,45		
0,5,4	0,0062	0,45		
0,5,5	0,0062	0,5		
0,5,6	0,0061	0,64		
0,8,3			0,39	25
0,8,4			0,33—0,34	22
0,8,5			0,33—0,34	20
0,8,6			0,36	23

Для нахождения состава материалов, успешно работающих в режимах граничного трения и трения без смазки, исследовалось влияние оптимальных количеств углерода (при усредненном содержании $\text{MoS}_2 = 4\%$) на коэффициент трения и износ. Затем, основываясь на по-

лученных результатах, изучалось влияние MoS_2 на коэффициент трения и износ (табл. 1).

Как видно из табл. 1, оптимальными составами являются: при граничном трении $C = 0,5\%$, $\text{MoS}_2 = 3\%$; при сухом трении $C = 0,8\%$, $\text{MoS}_2 = 5\%$.

Интервалу нормального режима работы при граничном трении материала PCiMoS_2 и скорости скольжения 1 м/с (рис. 2) соответствует диапазон нагрузок $5\text{—}17,5 \text{ МПа}$. В этом интервале наблюдается снижение коэффициента трения и при $P = (12,5\text{—}17,5) \text{ МПа}$ его стабилизация. Интенсификация износа совпадает с повышением коэффициента трения, что можно объяснить ростом температуры в зоне трения при увеличении нагрузки от $17,5$ до $22,5 \text{ МПа}$.

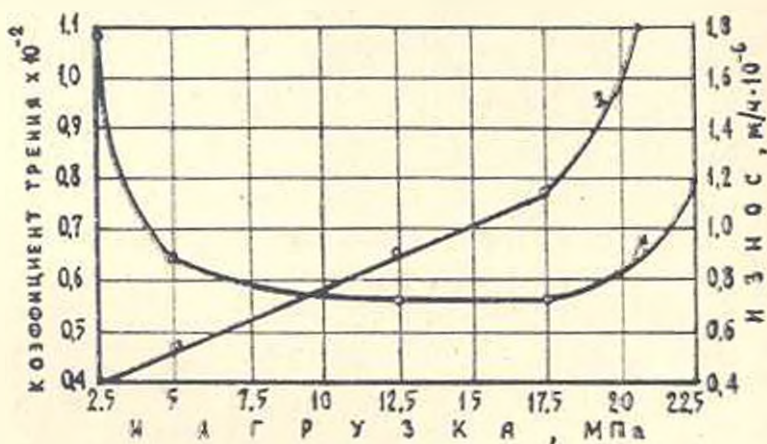


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения и износа в условиях граничного трения от нагрузки.

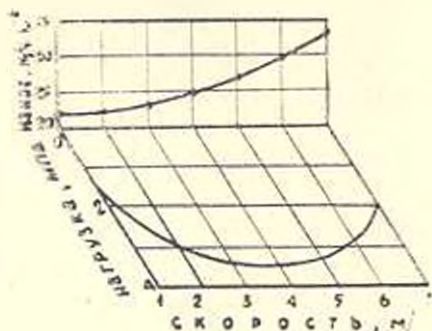


Рис. 3. Значения PV в условиях сухого трения.

Для материала PC2 MoS_2 интервал произведения нагрузки на скорость (PV) составляет $(2\text{—}18) \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$ (рис. 3). Видно, что с увеличением скорости до 6 м/с возрастают и значения PV . При скорости скольжения $2\text{—}5 \text{ м/с}$ — $PV = 6\text{—}15 \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$, что соответствует оптимальным значениям. Коэффициент трения в этом случае составляет $0,23\text{—}0,32$.

Испытания на трение и износ в условиях сухого трения дали возможность определить работоспособность материала PC2 MoS_5 в вакууме: суммарный износ (кольца и индентора) — $(18-20 \cdot 10^{-3} \text{ кг/км})$ пути при нормальной нагрузке 25 Н, а коэффициент трения — 0,2—0,25. Уменьшение коэффициента трения материала в вакууме по сравнению с режимами сухого трения можно объяснить присутствием на трущихся поверхностях вторичных структур, образующихся за счет твердой смазки MoS_2 .

По результатам исследования разработан порошковый железо-хромнижельмолибденовый сплав, полученный методом синтеза и восстановления оксидов, на основе которого разработаны материалы PC1 MoS_3 и PC2 MoS_5 , обладающие повышенной износостойкостью и относительно низким коэффициентом трения. Разработанные сплавы могут быть использованы в узлах трения механизмов в вакууме, а также в трущихся узлах деталей широкого профиля.

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛОВ

17. VI 1985

Ե. Լ. ԱՎԳՈՎ, Մ. Գ. ԲԱԲԱՅԱՆ

ՄԱՇԻՆԱՅԻՆ ՓՈՇԵՆԱՄԱՁՈՒՂԱՊԵՐԻ ԽՏԱՅՄԱՆ ՏԵԿՆՈԼՈԳԻԱՆ ԵՎ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Համաստեղային արդյունքների մշակվել է Երկաթաքրոմնիկելմոլիբդենային ֆոսֆահամաձուլվածք. որը ստացվել է օքսիդների սինթեզից և վերականգնման մեթոդով: Պրա հիման վրա մշակվել են PC1 MoS_3 և PC2 MoS_5 նյութերը, որանք օժտված են ավելի բարձր մաշակայունությամբ և համեմատաբար ցածր շփման գործակցով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Федорченко Н. М., Пузина Л. И. Комозиционные спеченные антифрикционные материалы. — Киев: Наукова думка, 1980 — 404 с.
2. Радомирский Н. Д., Холодный И. П. Спеченные легированные конструкционные стали. — Порошковая металлургия, 1975, № 6, с. 59—71.
3. Кемиди Тэруро. Износостойкие стали. — Токусико Spec. Steel, 1964, 33, № 6, с. 16—19.
4. Исследования процессов синтеза сложных оксидов / Н. В. Манукян, Л. Е. Саркисян, С. А. Мнацаканян и др. — Тр. Восточный научный конф. по металл. мат. и изд., Ереван, 1973, с. 206—210.
5. Исследования и разработка биметаллического материала экструзией / Н. Д. Радомирский, А. Л. Кемурджян, Н. Б. Манукян и др. — Порошковая металлургия, 1983, № 7, с. 47—50.

Ю. Г. ШНЕЙДЕР, Р. Х. АМБАРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОЙ ЖЕСТКОСТИ
ПОВЕРХНОСТЕЙ С РЕГУЛЯРНЫМ МИКРОРЕЛЬЕФОМ

Все более широкое применение регулярных микро рельефов на поверхностях деталей машин и, в частности, на направляющих металло-режущих станках требует подробного изучения их контактной жесткости. В настоящей работе регуляризация микро рельефов поверхностей осуществлена методом вибронакатывания [1], позволяющем весьма тонко и в больших пределах управлять и регулировать геометрические параметры качества поверхности.

На первом этапе проведены исследования по изучению контактной жесткости плоских стыков деталей из чугуна СЧ 21, обработанных различными методами финишной обработки, в том числе и вибронакатыванием. Вибронакатыванием создавался частично регулярный микро рельеф (ЧМР, ГОСТ 24773-81) с площадью канавок, равной 36—40%, который является наиболее близким к оптимальному в отношении обеспечения наилучших условий трения и уменьшения износа направляющих поверхностей стоек [2].

Исследование контактных деформаций проводилось на специальной установке, конструкция которой позволила исключить погрешности, вызываемые собственными деформациями образцов [3]. Контактные перемещения измерялись с помощью оптиката с ценой деления 0,2 мкм. Номинальная площадь стыка $F = 13,2 \text{ см}^2$. Такой размер стыка позволяет учесть влияние волнистости и одновременно с этим практически исключить влияние от непрямолинейности и неплоскостности. Величина давления q на образцы изменялась от 0 до 2,5 МПа.

На рис. 1 и 2 приведены кривые зависимости сближений образцов δ от давления q . Поскольку основная часть пластической деформации происходит при первом нагружении, то при повторных нагружениях контакт имеет упругий характер.

Из кривых упругих перемещений видно, что у вибронакатанных поверхностей они располагались ниже, чем у поверхностей, обработанных всеми исследованными способами резания. Вибронакатывание увеличивает контактную жесткость поверхностей, обработанных шлифованием на 34%, строганием на 12%, фрезерованием на 10% (данные приведены для давления $q = 0,5 \text{ МПа}$). Контактная жесткость шабренных и вибронакатанных (после тонкого фрезерования) поверхностей примерно одинакова.

Образование системы канавок на гладкообкатанных поверхностях уменьшило их контактную жесткость на 36%. При примерно одинаковых геометрических и физических характеристиках качества гладко-

обкатанных поверхностей наплывы, образованные с двух сторон канавок, не способствуют повышению контактной жесткости, а образование системы канавок значительно уменьшает фактическую площадь контакта.

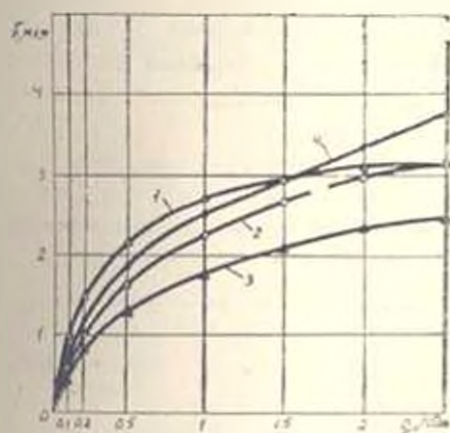


Рис. 1. Зависимость сближения δ от давления q : 1—шлифование; 2—вибронакатывание после шлифования; 3—гладкое обкатывание; 4—вибронакатывание после гладкого обкатывания.

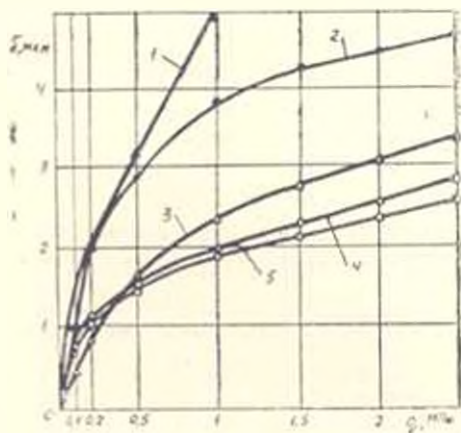


Рис. 2. Зависимость сближения δ от давления q : 1—строгание; 2—вибронакатывание после строгания; 3—фрезерование; 4—вибронакатывание после фрезерования; 5—шлифовка.

На основании полученных данных были найдены значения коэффициентов контактной жесткости плоских стыков j в зависимости от величины давления q и способа обработки поверхностей, приведенные в табл. 1. Этими значениями можно пользоваться при практических расчетах жесткости стыков. В табл. 1 приведены также эмпирические формулы, определяющие зависимость между δ и q (при $q = 0,1 - 1$ МПа), выведенные на основе обработки методом наименьших квадратов кривых упругих деформаций.

Статистическая проверка по критерию t -Стьюдента [4] показала, что с доверительной вероятностью 95% образование системы канавок способом вибронакатывания существенно влияет на контактную жесткость плоских стыков. Обработка всех экспериментальных данных осуществлялась на ЭВМ «Наир».

Таким образом, благоприятная форма микронеровностей (большой радиус r и малая величина угла наклона β выступов) при высокой однородности их размеров, а также значительное упрочнение поверхностного слоя [1] способствовали повышению контактной жесткости вибронакатываемых поверхностей.

Исследование влияния параметров режима вибронакатывания на контактную жесткость плоских поверхностей с полностью регулярным микрорельефом (ПРМР, ГОСТ 24773-81) и их оптимизация производилась на стальных (сталь 45) образцах с применением дробного факторного эксперимента типа 2^{k-1} и крутого восхождения. Параметр оптимизации — среднее значение коэффициента контактной жесткости

j_{cp} ($q = 0,1 - 1 \text{ МПа}$) при повторном нагружении. В качестве независимых переменных были приняты усилия вибронакатывания P , диаметр шара $d_{ш}$, частота вращения заготовки n , поперечная подача $S_{поп}$ и амплитуда осцилляции деформирующего элемента e . Основные уровни факторов выбирались близкими к применяемым в практике, а интервал варьирования — исходя из реальных пределов колебаний значений факторов. Число двойных ходов деформирующего элемента оставалось постоянным ($n_{д.х} = 1400 \text{ дв. х/мин}$).

Таблица

Эмпирические формулы упругих сближений и значения коэффициентов контактной жесткости плоских стыков в зависимости от величины давления и способа обработки поверхностей

Метод обработки	Величина коэффициента контактной жесткости $f = \frac{q}{\delta}$ в $\frac{\text{МПа}}{\text{мм}}$ при различном давлении							Эмпирическая формула
	$q = 0,1 \text{ МПа}$	0,2	0,5	1	1,5	2	2,5	
Тонкое стро- гание ($R_a = 1,25 \text{ мкм}$)	0,1	0,12	0,17	0,21	0,23	0,26	0,26	$a = q^{0,69}$
Вибронакаты- вание после тонкого стро- гания	0,09	0,12	0,19	0,26	0,34	0,42	0,47	$b = 1,13 q^{0,53}$
Плоское шли- фование ($R_a = 1,25 \text{ мкм}$)	0,09	0,13	0,23	0,37	0,5	0,63	0,76	$c = 1,07 q^{0,44}$
Вибронакаты- вание после плоского шли- фования	0,17	0,2	0,31	0,46	0,56	0,67	0,78	$d = 0,64 q^{0,55}$
Тонкое торцо- вое фрезеро- вание ($R_a = 1 \text{ мкм}$)	0,2	0,22	0,29	0,42	0,51	0,63	0,74	$e = 0,53 q^{0,63}$
Вибронакаты- вание после фрезерования	0,12	0,18	0,32	0,5	0,65	0,77	0,89	$f = 0,83 q^{0,51}$
Гладкое обка- тывание ($R_a = 1 \text{ мкм}$)	0,17	0,22	0,38	0,55	0,71	0,87	1	$g = 0,58 q^{0,5}$
Вибронакаты- вание после гладкого обка- тывания	0,14	0,18	0,28	0,4	0,5	0,59	0,67	$h = 0,72 q^{0,53}$
Шлифование (20—24 пята)	0,12	0,19	0,33	0,5	0,67	0,83	0,96	$i = 0,8 q^{0,4}$

В результате проведенных испытаний и статистической обработки данных получена информация о влиянии факторов и получена математическая модель, позволяющая рассчитать контактную жесткость вибронакатанных плоских стыков внутри выбранных интервалов варьирования факторов (проверка в средней точке показала о незначимости квадратичных членов):

$$j = 2,89 - 0,18P + 0,12a_{\text{ин}} + 0,13S_{\text{пол}} + 0,13e. \quad (1)$$

Проверка по критерию F -Фишера показала, что уравнение (1) адекватно представляет экспериментальные данные. Наибольшее влияние на j оказывает усилие вибронакатывания P , а затем остальные параметры режима.

Оптимизация параметров режима вибронакатывания методом крутого восхождения [4] позволила повысить контактную жесткость в два раза. Для вышеуказанных условий нагружения плоских стальных стыков с регулярным микрорельефом рекомендуются следующие параметры режима вибронакатывания: $P = 220 \text{ Н}$; $d_{\text{ш}} = 7 \text{ мм}$; $n_{\text{ш}} = 12,5\text{--}20 \text{ об/мин}$; $S_{\text{пол}} = 0,085 \text{ мм/об}$; $e = 3 \text{ мм}$ и $n_{\text{дм.ш.}} = 1400 \text{ об. х/мин}$.

Ленинградский филиал
ЕрПИ им. К. Маркса

7 IX, 1985

ՅՈՒ. Գ. ՇԵՆՅԱՆԻ, Ի. Խ. ՀԱՄԲԱՐՅԱՆ

ԿԱՐԳԱՎՈՐՎԱԾ ՄԻԿՐՈՌԵԼՅԵՖՆՈՎ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ԿՈՆՏԱԿՏԱՅԻՆ
ԿՈՇՏՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄԱՍԻՐՈՒՄԸ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հետզանգում շարադրված են թրթռազլանման եղանակով ստացված կարգավորված միկրոռելյեֆով թուշն (ՇԿ 21) և պողպատն (ՏՊՆ 15) փորձանմուշների կոնտակտային կոշտության հետազոտման արդյունքները: Ույց է տրված, որ հարթ մակերևույթների վրա կարգավորված միկրոռելյեֆների ստեղծումը, որոնք բնութագրվում են միկրոանհարթությունների կլորացման մեծ շառավիղներով և թեքման փոքր անկյուններով և ինչպես նաև չափերի բարձր համասեռությամբ, դալիորեն բարձրացնում են նրանց կոնտակտային կոշտությունը:

ЛИТЕРАТУРА

1. Шнейдер Ю. Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства.— Л. Машиностроение, 1972.— 240 с.
2. Шнейдер Ю. Г., Ахбарян Р. Х. Износостойкость направляющих прещизонных автоматов продольного точения.— Станки и инструмент, 1978, № 4, с. 34—35.
3. Рыжов Э. В. Контактная жесткость деталей машин.— М.: Машиностроение, 1967.— 195 с.
4. Кацев П. Г. Статистические методы исследования режущего инструмента.— М.: Машиностроение, 1974.— 239 с.

Ж. Т. ПОГОСЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОДЕМПФИРУЮЩИХ
ОПОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Эффективное снижение вибрации электрических машин может иметь место при оптимальных жесткостных характеристиках конструктивных элементов машины и при наличии встроенных вибродемпфирующих элементов в опорах. При этом характеристики вибродемпфирующих элементов следует выбирать, исходя из условия максимального подавления (сглаживания) высших гармонических вибраций [1, 2]. Для оптимизации параметров вибродемпфирующих опор, с точки зрения максимального подавления высших гармоник спектра вибраций рассмотрим малые колебания электрических машин. При этом электрическая машина и основание будут рассматриваться как линейные системы, для которых справедливы выводы классической теории малых колебаний [3, 4].

Предположим, что динамической моделью упруго-демпферной опоры электрической машины (рис.) является голономная стационарная механическая система с произвольным числом степеней свободы [4]. Пусть система совершает малые колебания вблизи устойчивого положения под действием полигармонических сил, изменяющихся по закону

$$P(t) = \sum_{j=1}^n P_j \cos \omega_j t,$$

где n — число гармоник, $j = 1, 2, 3, \dots$

Силы сопротивления, возникающие при колебаниях, пропорциональны перемещениям материальных точек и при этом предполагается, что система обладает полной диссипатией, т. е. любое ее движение сопровождается рассеянием энергии. При этих предположениях движение масс m_1 и m_2 можно описать уравнениями Лагранжа II рода [5]

$$\begin{cases} m_1 \ddot{Z}_1 + (1 + i\gamma_1) C_1 \dot{Z}_1 - (1 + i\gamma_2) \cdot C_2 (Z_2 - Z_1) = 0, \\ m_2 \ddot{Z}_2 + (1 + i\gamma_2) C_2 (Z_2 - Z_1) = \sum_{j=1}^n P_j \cos \omega_j t, \end{cases} \quad (1)$$

где i — мнимое число; m_1 — суммарные массы станины и подшипниковых щитов; m_2 — масса ротора; C_1 , C_2 — жесткости основания и демпферного кольца; γ_1 — суммарный коэффициент неупругого сопротивления (демпфирования) подшипниковых щитов с учетом рассеяний в замковых соединениях; γ_2 — коэффициент неупругого сопротивления кольца; Z_1 , Z_2 — комплексные перемещения масс m_1 и m_2 .

Совместное решение этих уравнений приводит к выражениям для спектральных составляющих колебаний масс m_1 и m_2 :

$$\times (C_1 + C_2 - m_1 \omega_j^2) + (C_1 \gamma_1 + C_2 \gamma_2) [(C_2 - m_2 \omega_j^2) - C_2^2 \gamma_2^2] - \\ - 2\gamma_2 C_2^2 (C_2 - m_2 \omega_j^2) - C_2^2 \gamma_2 (1 - \gamma_2^2)^2.$$

Если пренебречь демпфированием γ_1 и γ_2 , выражения (2) и (3) примут вид:

$$A_{1j} = \frac{P_j}{C_1 [(K_{1j}^2 - 1)(K_{2j}^2 - 1) - K_{0j}^2]}; \quad (4)$$

$$A_{2j} = \frac{P_j \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{K_{1j}^2}{C_2} \right)}{(K_{1j}^2 - 1)(K_{2j}^2 - 1) - K_{0j}^2}, \quad (5)$$

где $\frac{C_1}{m_1} = n_1^2$; $\frac{C_2}{m_2} = n_2^2$; $\frac{C_1}{m_2} = n_0^2$; $\frac{\omega_j^2}{n_1^2} = K_{1j}^2$; $\frac{\omega_j^2}{n_2^2} = K_{2j}^2$; $\frac{\omega_j^2}{n_0^2} = K_{0j}^2$.

Как следует из (4) и (5), при воздействии полигармонического возмущения условие отсутствия колебаний массы m_1 невыполнимо. Это условие можно выполнить для дискретных значений частот вышеуказанных колебаний. Поскольку диапазон частот колебаний в рассматриваемых электрических машинах очень широк (50—10⁴ Гц), то эффективное вибродемпфирование можно осуществить только на высших гармониках.

Коэффициент виброизоляции корпуса в этих условиях может быть представлен в виде:

$$\gamma_j = \frac{1}{(K_{1j}^2 - 1)(K_{2j}^2 - 1) - K_{0j}^2}. \quad (6)$$

Как видно из (6), амплитуда колебаний корпуса в зависимости от жесткостных и массовых характеристик системы при отсутствии демпфирования может принимать большие значения на любых гармониках.

Если пренебречь только демпфированием основания $\gamma_1 = 0$, то выражения для амплитуд j -ой гармоники примет вид:

$$A_{1j}^2 = \frac{P_j^2 + P_j \gamma_2^2}{C_1^2 [(K_{1j}^2 - 1)(K_{2j}^2 - 1) - K_{0j}^2] + \gamma_2^2 (1 - K_{0j}^2 - K_{1j}^2) C_1^2}. \quad (7)$$

При фиксированных значениях K_{1j} , K_{2j} , K_{0j} и P_j зависимость $A_{1j} = f(\gamma_2^2)$ представляет собой дробно-линейную функцию [5]. График этой зависимости представляет собой равноугонную гиперболу с амплитудами, параллельными осям координат и смещенными относительно последних на расстоянии

$$X_{0j} = \frac{[(K_{1j}^2 - 1)(K_{2j}^2 - 1) - K_{0j}^2]^2}{(1 - K_{0j}^2 - K_{1j}^2)^2}, \quad (8)$$

$$Y_{0j} = \frac{P_j^2}{C_1^2 (1 - K_{0j}^2 - K_{1j}^2)^2}.$$

Амплитуда A_{1j}^2 получает большие значения, когда демпфирование γ_2^2 приближается к значению, равному x_0 . С ростом величины демпфирования амплитуда A_{1j}^2 понижается, стремясь к пределу, равному y_0 . Таким образом, сколько бы ни повышали демпфирование γ_2 системы, понизить амплитуду A_{1j}^2 меньше, чем y_0 , не удастся. Следовательно, задача сводится к нахождению оптимальной величины демпфирования γ_1 , которое, будучи не слишком большим, в то же время обеспечивало бы амплитуду колебания корпуса, не слишком отличающуюся от y_0 .

Из решения (7) и (8) для асинхронных электродвигателей габаритов 50—63 частотой вращения $(3-6) \cdot 10^3$ об/мин оптимальное демпфирование наступает при $\gamma_1 > 0,1$. При этом, чем меньше жесткость вибродемпфирующей опоры, тем лучше происходит виброизоляция корпуса от ротора. Однако в асинхронных электродвигателях уменьшение жесткости опоры может привести к прилипанию ротора к статору. Эффективное значение жесткости, при котором уменьшение воздушного зазора остается в пределах нормы, определяется из выражения граничной частоты

$$\omega_r = \sqrt{\frac{C_2}{m_1} + \frac{C_1}{m_1} + \frac{C_2}{m_2}}, \quad (9)$$

выше которого происходит эффективное сглаживание всех вышеприведенных колебаний.

Учитывая значение граничной частоты, оптимальная жесткость вибродемпфирующих опор для асинхронных электродвигателей габаритов 50—63 будет:

$$C_2 = \left| \frac{\left(9 \cdot 10^3 - \frac{C_1}{m_1} \right) m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right|. \quad (10)$$

Оптимальная средняя жесткость для асинхронных машин габаритов 50—63, исходя из (10), должна быть в пределах $15 \cdot 10^4 \leq C_2 \leq 21 \cdot 10^4$ Н/м, а оптимальное демпфирование — $0,1 \leq \gamma_2 \leq 0,2$.

Таким образом, проведенное теоретическое исследование показало, что увеличение коэффициента демпфирования вибродемпфирующих опор выше оптимального значения существенно не влияет на изменение амплитуды колебания машины. Оптимальное демпфирование механических колебаний электрических машин габаритов 50—63 на частотах выше 200 Гц можно осуществлять при значениях коэффициента демпфирования $\gamma = 0,1-0,2$ и жесткости опор $1,5-2,1 \cdot 10^7$ н/м.

ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՄԵԹԵՆԱՆԵՐԻ ՎԻՐՐԱՄԱՐԻՉԱՅԻՆ ՀԵՆԱՐԱՆՆԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՕՊՏԻՄԻԶԱՑԻԱ

Ա մ փ ո փ ո մ

Էլեկտրական մեքենաների աշխատանքի պայմանները ժողովրդական տրևտեսության շատ բնագավառներում հաճախ բավականին խիստ պահանջներ են դնում նրանց դինամիկական բնութագրերի նկատմամբ: Այդ պահանջների կատարումը բերում է օպտիմալ պարամետրերով մեքենաների ստեղծման անհրաժեշտությանը:

Աշխատանքում լուծված են էլեկտրական մեքենաների վիբրամարիչային հենարանների մարման և կոշտության բնութագրերի օպտիմիզացման խնդիրները:

Տեսական ուսումնասիրությունները որոնք չլուծված են բարձր հաճախականությունների տիրույթում օպեկտրների արդյունավետ հարթեցման առավելագույն արժեքի վրա, թույլ են տվել ստանալու: 50—63 Հաիերի էլեկտրական մեքենաների վիբրամարի: հենարանների օպտիմալ պարամետրերի սահմանային արժեքները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Вейсхаар Д. Оптимизация простых конструкций при ограничениях на вышние частоты собственных колебаний.— Ракетная техника и космонавтика, 1972, т. 10, № 5, с. 167—168.
2. Шекяи Г. Г. Исследования конструкций упругих опор.— В кн.: Труды ВНИИКЭ, Ереван, т. 4, 1971, с. 194—212.
3. Бабаков Н. М. Теория колебаний.— М.: Наука, 1968.— 559 с.
4. Дек-Гартос. Механические колебания.— М.: Физматгиз, 1960.— 650 с.
5. Илинский В. С. Защита аппаратов от динамических воздействий.— М.: Энергия, 1970.— 296 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 3, 1987

ЭНЕРГЕТИКА

И. Г. СИНАНОВА

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ УТОЧНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Оперативное оптимальное управление режимами энергетических систем предъявляет качественно новые требования к математическим моделям и программам расчетов, заключающиеся в обеспечении высокой маневренности при минимальных затратах машинного времени [1, 2]. В связи с этим весьма актуальной является проблема коррекции установившихся режимов БЭС при изменении исходной информации. Решение этой проблемы может быть получено с использованием теории чувствительности [2]. Определяя чувствительность режима системы к

ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՄԵԹԵՆԱՆԵՐԻ ՎԻՐՐԱՄԱՐԻՉԱՅԻՆ ՀԵՆԱՐԱՆՆԵՐԻ
ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՕՊՏԻՄԻԶԱՑԻԱ

Ա մ փ ո փ ո մ

Էլեկտրական մեքենաների աշխատանքի պայմանները ժողովրդական տրն-տեսության շատ բնագավառներում հաճախ բավականին խիստ պահանջներ են դնում նրանց դինամիկական բնութագրերի նկատմամբ: Այդ պահանջ-ների կատարումը բերում է օպտիմալ պարամետրերով մեքենաների ստեղծ-ման անհրաժեշտությանը:

Աշխատանքում լուծված են էլեկտրական մեքենաների վիբրամարիշա-յին հենարանների մարման և կոշտության բնութագրերի օպտիմիզացման խնդիրները:

Տեսական ուսումնասիրությունները որոնք չլուծված են բարձր հաճա-խականությունների տիրույթում օպեկտրների արդյունավետ հարթեցման առավելագույն արժեքի վրա, թույլ են տվել ստանալու: 50—63 Հաիերի էլեկ-տրական մեքենաների վիբրամարի: հենարանների օպտիմալ պարամետրերի սահմանային արժեքները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Вейсхаар Д. Оптимизация простых конструкций при ограничениях на вышние частоты собственных колебаний. — Ракетная техника и космонавтика, 1972, т. 10, № 5, с. 167—168.
2. Шекяи Г. Г. Исследования конструкций упругих опор. — В кн.: Труды ВНИИКЭ, Ереван, т. 4, 1971, с. 194—212.
3. Бабаков Н. М. Теория колебаний. — М.: Наука, 1968 — 559 с.
4. Дек-Гартос. Механические колебания. — М.: Физматгиз, 1960. — 650 с.
5. Илинский В. С. Защита аппаратов от динамических воздействий. — М.: Энергия, 1970. — 296 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 3, 1987

ЭНЕРГЕТИКА

И. Г. СИНАНОВА

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ УТОЧНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Оперативное оптимальное управление режимами энергетических систем предъявляет качественно новые требования к математическим моделям и программам расчетов, заключающиеся в обеспечении высокой маневренности при минимальных затратах машинного времени [1, 2]. В связи с этим весьма актуальной является проблема коррекции установившихся режимов БЭС при изменении исходной информации. Решение этой проблемы может быть получено с использованием теории чувствительности [2]. Определяя чувствительность режима системы к

изменению ее параметров, можно установить новый оптимальный режим на базе уже известного установившегося режима без проведения повторного расчета режима по основной программе.

Подобное решение задачи коррекции установившегося и оптимального режимов позволит дежурному персоналу соответствующих служб достаточно оперативно установить новый оптимальный режим электрической системы при различных изменениях ее режимных параметров.

Остановившись подробнее на методике анализа чувствительности, рассмотрим ее применительно к решению задачи расчета установившегося режима при изменении его параметров. С математической точки зрения эта задача сводится к решению системы нелинейных алгебраических уравнений. При этом возникают два решающих момента: выбор исходных нелинейных алгебраических уравнений и выбор метода решения полученных нелинейных алгебраических уравнений.

Известно, что исходные нелинейные алгебраические уравнения, описывающие режим электрической системы, могут составляться в двух основных формах: в Y - и в Z -форме задания пассивных параметров. Относительно метода решения уравнений установившегося режима можно сказать, что в настоящее время при Y -форме задания исходных параметров в основе внимания уделяется методу Ньютона-Рафсона. В этом случае в качестве исходного для получения системы нелинейных алгебраических уравнений принимается уравнение узловых напряжений:

$$I = YU. \quad (1)$$

Представим его в виде

$$\bar{I}_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \bar{U}_j, \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

где Y_{ij} — элементы матрицы узловых проводимостей Y узл., которые определяются по расчетной схеме исследуемой системы; $\bar{U}_j$ — элементы матрицы комплексных напряжений.

Пользуясь уравнением (1), можно получить уравнения дисбаланса активных и реактивных мощностей в узлах схемы сети:

$$\begin{cases} P_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j |g_{ij}| \cos(\Psi_i - \Psi_j) - b_{ii} \sin(\Psi_i - \Psi_j); \\ Q_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j |g_{ij}| \sin(\Psi_i - \Psi_j) + b_{ii} \cos(\Psi_i - \Psi_j). \end{cases} \quad (2)$$

Если рассматривать схему электрической системы, содержащую N независимых узлов, получим систему из $2N$ нелинейных уравнений, отражающую состояние электрической системы в установившемся режиме, или N систем уравнений вида (2).

Для дальнейших рассуждений полученную систему уравнений удобно представить в неявной форме [2]

$$F(X, V, K) = 0, \quad (3)$$

где X — зависимые переменные состояния; V — независимые переменные управления; K — неуправляемые переменные.

Каждый из этих типов переменных в зависимости от постановки задачи установившегося режима может представлять собой следующие режимные параметры: X — модули U и фазовые сдвиги ψ напряжений генераторных и нагрузочных узлов при заданных в них активной P и реактивной Q мощностях или реактивные мощности и фазовые сдвиги напряжений станционных узлов при заданных P и U в этих узлах; V — заданные режимные параметры станционных узлов, соответственно P и Q или P и U ; K — заданные P и Q нагрузочных узлов.

Предположим, что произошло изменение вектора состояния ΔX , вызванное изменением параметров управления ΔV и неуправляемых параметров ΔK . Тогда система уравнений (3) примет вид:

$$F(X^0 + \Delta X, V^0 + \Delta V, K^0 + \Delta K) = 0, \quad (4)$$

где X^0 — вектор переменных состояния в точке решения, соответствующей заданным V^0 и K^0 . Разлагая уравнение (4) в ряд Тейлора без учета нелинейных членов разложения и решая систему линейных уравнений относительно ΔX , будем иметь:

$$\Delta X = S_V \Delta V + S_K \Delta K, \quad (5)$$

где S_V и S_K — матрицы коэффициентов чувствительности, которые определяются по формулам:

$$S_V = -\left(\frac{\partial F}{\partial X}\right)^{-1} \frac{\partial F}{\partial V}; \quad S_K = -\left(\frac{\partial F}{\partial X}\right)^{-1} \frac{\partial F}{\partial K}. \quad (6)$$

Здесь квадратная матрица $\frac{\partial F}{\partial X}$ — известный Якобиан по методу Ньютона-Рафсона, представляющий собой матрицу частных производных уравнений установившегося режима по зависимым переменным состояния, а матрицы $\frac{\partial F}{\partial V}$ и $\frac{\partial F}{\partial K}$ имеют размерности $N \times M$ (где M — число элементов векторов V или K).

Таким образом, описанный метод, представленный в виде алгоритма, сводится к следующему:

- 1) Производится расчет матрицы Якоби по известным (полученным в результате базового расчета) зависимым параметрам;
- 2) Рассчитываются матрицы $\frac{\partial F}{\partial V}$ и $\frac{\partial F}{\partial K}$ при выбранных V^0 и K^0 ;
- 3) Определяются матрицы чувствительности S_V и S_K по формулам (6);
- 4) По формуле (5) устанавливается вектор изменения параметров состояния ΔX ;
- 5) Производится коррекция режима:

$$X' = X^0 + \Delta X.$$

Для иллюстрации описанного метода рассмотрим расчет коэффициентов чувствительности с последующей коррекцией режима электри-

ческой системы, схема которой показана на рисунке. Схема имеет 10⁶ основных узлов, один из которых принят за базисный. Параметры исходного установившегося режима приведены в табл. 1. Схема с исходными данными заимствована из [1].

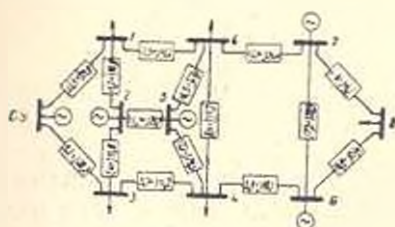


Таблица 1

N узла	P, МВт	Q, МВар	U, кВ	ψ, рад	N узла	P, МВт	Q, МВар	U, кВ	ψ, рад
БУ	—	—	220	0	5	85	-71,1	210,3	-0,0027
1	110	50	210,31	-0,0295	6	100	48	208,38	-0,0354
2	106	92,5	215,25	-0,0140	7	60	136,7	215,19	-0,0413
3	60	28	212,04	-0,0257	8	94	45	210,84	-0,049
4	104	51	208,92	-0,0330	9	80	-5,8	212,49	-0,0246

На основании приведенного алгоритма составлена Фортран-программа коррекции режима при изменении исходных режимных параметров. Рассмотрен случай увеличения реактивной мощности нагрузки в узле 1 на 10 МВар. Новый установившийся режим рассчитан как по основной программе, так и по программе коэффициентов чувствительности. Результаты расчета приведены соответственно в табл. 2 и 3.

Таблица 2

N узла	P, МВт	Q, МВар	U, кВ	ψ, рад	N узла	P, МВт	Q, МВар	U, кВ	ψ, рад
БУ	—	—	220	0	5	85	-71,1	210,89	-0,004
1	110	40	211,03	-0,0311	6	100	48	209,01	-0,0366
2	106	92,5	215,82	-0,0152	7	60	135,7	215,78	-0,0424
3	60	28	212,51	-0,0266	8	94	45	211,43	-0,0501
4	104	51	209,49	-0,0341	9	80	-5,8	213,06	-0,0259

Таблица 3

N узла	P, МВт	Q, МВар	U, кВ	ψ, рад	N узла	P, МВт	Q, МВар	U, кВ	ψ, рад
БУ	—	—	220	0	5	85	-71,1	210,75	-0,0043
1	110	40	210,87	-0,0309	6	100	48	208,87	-0,0372
2	106	92,5	215,65	-0,0155	7	60	136,7	215,73	-0,0438
3	60	28	212,33	-0,0267	8	94	45	210,66	-0,0481
4	104	51	209,28	-0,0341	9	80	-5,8	212,74	-0,0256

Сравнение результатов коррекции режима электрической системы по коэффициентам чувствительности, приведенных в табл. 3 с результатами расчета по основной программе (табл. 2) свидетельствует о правомерности используемого подхода.

ЕрПИ им. К. Маркса

22 VI. 1985

Ի. Վ. ՍՆԱՆՈՎԱ

ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԿԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԻ ՃՇՏՄԱՆ ԻՐԹՈՂՆԵՐԻՑ ՄԵԿԻ ՄԱՍԻՆ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Վ Մ

Քննարկում է էներգահամակարգերի ռեժիմների կարգավորման ընթացքում ռեժիմի ելակետային պարամետրերի փոփոխության դժգոհություն զործակցի հաշվարկի հաջորդականությունը, կոաշարկված ալգորիթմի հիման վրա կազմված է ֆորտրան-ծրագիր, որը ծառայում է զործնական խնդիրների հաշվարկի համար: Տրվում է կոնկրետ էներգետիկական համակարգի ռեժիմի կարգավորման հաշվարկի արդյունքները՝ բեռնային հանգույցներից մեկի ռեակտիվ հզորության փոփոխության դեպքում:

ЛИТЕРАТУРА

1. Хичатрян В. С. Метод и алгоритм расчета установившихся режимов больших электроэнергетических систем. — Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт, 1973, № 4, с. 45—57.
2. Салливан Р. Проектирование развития электроэнергетических систем. — М.: Энергоиздат, 1982. — 357 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 3, 1987

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

С. С. ЗАХАРЯН, К. В. МАРКАРЯН

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ МЕТОДОМ УПЛОТНЕНИЯ

Разработке одного из подходов к организации и координации работы многомашинной системы, в основу которого положен метод распараллеливания алгоритмов сложных оптимизационных задач, посвящена данная статья.

В основу алгоритма распараллеливания положен метод уплотнения [1, 2], согласно которому исходную систему, каждое звено которой задано уравнениями состояния:

$$\bar{x}^{i+1} = \bar{f}(\bar{x}^i, \bar{u}^i) \quad i = \overline{1, N}, \quad (1)$$

Сравнение результатов коррекции режима электрической системы по коэффициентам чувствительности, приведенных в табл. 3 с результатами расчета по основной программе (табл. 2) свидетельствует о правомерности используемого подхода.

ЕрПИ им. К. Маркса

22 VI. 1985

Ի. Գ. ՍՆՆԱՆՈՎԱ

ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԿԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԻ ՃՇՏՄԱՆ ԸՆԹՈՒՆԵՐԻՑ ՄԵԿԻ ՄԱՍԻՆ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Քննարկում է էներգահամակարգերի ռեժիմների կարգավորման ընթացքում ռեժիմի ելակետային պարամետրերի փոփոխության դժգոհություն զործակցի հաշվարկի հաջորդականությունը, կոաչարկված ալգորիթմի հիման վրա կազմված է ֆորտրան-ծրագիր, որը ծառայում է զործնական խնդիրների հաշվարկի համար: Տրվում է կոնկրետ էներգետիկական համակարգի ռեժիմի կարգավորման հաշվարկի արդյունքները՝ բեռնային հանգույցներից մեկի ռեակտիվ հզորության փոփոխության դեպքում:

ЛИТЕРАТУРА

1. Хичатрян В. С. Метод и алгоритм расчета установившихся режимов больших электроэнергетических систем. — Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт, 1973, № 4, с. 45—57.
2. Салливан Р. Проектирование развития электроэнергетических систем. — М.: Энергоиздат, 1982. — 357 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 3, 1987

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

С. С. ЗАХАРЯН, К. В. МАРКАРЯН

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ МЕТОДОМ УПЛОТНЕНИЯ

Разработке одного из подходов к организации и координации работы многомашинной системы, в основу которого положен метод распараллеливания алгоритмов сложных оптимизационных задач, посвящена данная статья.

В основу алгоритма распараллеливания положен метод уплотнения [1, 2], согласно которому исходную систему, каждое звено которой задано уравнениями состояния:

$$\bar{x}^{i+1} = \bar{f}(\bar{x}^i, \bar{u}^i) \quad i = \overline{1, N}, \quad (1)$$

ограничениями

$$\bar{y}_r = \bar{y}_r(\bar{x}^i, \bar{u}^i) \quad r = \overline{1, q} \quad (2)$$

и целевой функцией

$$Q^i = Q^i(\bar{x}^i, \bar{u}^i), \quad (3)$$

можно выразить через уплотненные переменные Y^i, U^i . В частности, для последовательного соединения звеньев переход от исходных к уплотненным переменным описывается преобразованиями типа:

$$Y^i = \sum_{j=1}^n W_{ij}^i x_j^i; \quad U^i = \sum_{p=1}^m W_{ip}^i u_p^i, \quad (4)$$

$$W_{ij}^i = \sum_{k=1}^n a_{jk}^i W_{ik}^{i+1}; \quad W_{ip}^i = \sum_{k=1}^m b_{pk}^i W_{ik}^{i+1}. \quad (5)$$

Процедуру оптимизации при этом можно представить в виде двухуровневого процесса, за счет чего значительно сокращается размерность задач на каждом уровне. Отметим, что если для уравнений состояния (1) удастся определить аналитическое выражение связи между уплотненными переменными

$$Y^{i+1} = Y^i(Y^i, U^i), \quad (6)$$

то для целевой функции (3) и системы ограничений (2) это возможно лишь в частных случаях. Поэтому при решении задачи приходится на каждой стадии решения осуществлять переход от верхнего уровня (уплотненных переменных) к системе уравнений, записанных в исходных переменных, и обратно [3].

Эффективность таких преобразований существенно повышается за счет применения многомашинных систем. В частности, одной из машин вычислительной системы можно «поручить» задачи в уплотненных переменных, в то время, как преобразования последних в исходные переменные осуществляется на остальных вычислительных машинах системы с последующей их подстановкой в целевую функцию.

При двухуровневом решении задачи целесообразно «привязать» преобразование обобщенных переменных в исходные к каждому звену двухуровневой иерархической вычислительной системы, организованной по звездообразному принципу. Звездообразная конфигурация в условиях большой размерности решаемых задач позволяет организовать их решение без существенных изменений структуры, путем увеличения количества ЭВМ-сателлитов (нижний уровень иерархии) и соответствующей доработки программного обеспечения управляющей ЭВМ (верхний уровень иерархии).

Обозначим совокупность переменных состояния на каждой стадии через набор $\{x_j^i\} (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n})$, совокупность управляющих переменных через $\{u_p^i\}$. Решение оптимизационной задачи, например, методом динамического программирования, будет сопровождаться большим ко-

личеством перебора переменных, уменьшить который можно с помощью некоторого признака. В качестве такого признака, несущего дополнительную информацию о искомом наборе переменных, используются уплотненные переменные. Наличие дополнительной информации на верхнем уровне позволяет вести поиск не во всем множестве допустимых значений, а в некотором подмножестве этого множества, всем набором переменных, которым соответствует определенное значение уплотненных переменных $Y^{(N+1)}, U^N$. Например, в задаче с закрепленными концами уравнение (6) трансформируется в следующую простую зависимость между уплотненными переменными:

$$Y^{(N+1)} - Y^1 = \sum_{i=1}^N U^i = \text{const.} \quad (7)$$

Блок-схема алгоритма параллельного решения приведена на рис. 1. Решение задачи начинается с реализации алгоритма вычисления левой части уравнения (7) (блок I), после чего методом полного перебора реализуется алгоритм генерации наборов уплотненных переменных $\{U^i\}$, удовлетворяющих уравнению (7) (блок II). В блок-анализаторе «а» определяется, являлся ли предыдущий набор $\{U^i\}$ последним. Если нет, то в блок-анализаторе «б» определяется, удовлетворяют ли элементы U^i полученного набора обобщенных переменных $\{U^i\}$ условиям:

$$U_{\min}^i \leq U^i \leq U_{\max}^i \quad (8)$$

где

$$U_{\min}^i = \sum_{p=1}^m w_p^i U_{p \min}^i; \quad U_{\max}^i = \sum_{p=1}^m w_p^i U_{p \max}^i. \quad (9)$$

Если нет, то происходит генерация следующего набора обобщенных переменных $\{U^i\}$. В противном случае уравнение передается N ЭВМ-сателлитам, реализующим поиск набора исходных переменных U_p^i , удовлетворяющих выражению (4).

Затем в блок-анализаторе «с» рассматривается, обеспечивает ли полученный набор исходных переменных $\{U_p^i\}$ оптимум целевой функции. Если да, то происходит организация соответствующего массива U_p^i (блок IV) с последующей передачей информации блоку II. В противном случае сразу же отрабатывается алгоритм генерации наборов уплотненных переменных (блок II). Решение задачи заканчивается после обработки последнего набора уплотненных переменных $\{U^i\}$, что определяется блок-анализатором «а».

При решении задачи на верхнем уровне процессор, «привязанный» к этому уровню, работает, а процессоры нижнего уровня находятся в состоянии ожидания. При решении же задачи на нижнем уровне, наоборот, в состоянии ожидания находится процессор верхнего уровня. Считается целесообразным частично отойти от звездобразной структуры и в качестве процессора верхнего уровня использовать один из процессоров нижнего уровня.

Таким образом, декомпозиция исходной задачи большой размерности на ряд независимых фрагментов меньшей размерности, реализацию которых возможно осуществлять на системе микро-ЭВМ, повышает оперативность ее решения.

ЕрПИ им. К. Маркса

10. IV. 1985

Ս. Ս. ՉԱԽԱՐԻԱՆ, Կ. Վ. ՄԱՐԿԱՐԻԱՆ

ԽՏԱՅՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ ՕՊՏԻՄԻԶԱՑԻԱՅԻ ԿԵՐԻ ԶՈՒԳԱԶՆՈՒ ԼՈՒԾՈՒՄԸ

Ա Վ Վ Ո Վ Ո Ւ Մ

Բարդ օպտիմիզացիայի խնդիրների լուծման համար առաջարկված է գույքահեռ ալգորիթմ, որը հիմնված է խտացման մեթոդի վրա: Կազմակերպված է միկրոպրոցեսորային երկմակարդակային հաշվողական համակարգ, որի հետապոստման համար առաջարկված է նմանակման մոդել: Բերված են զուգահեռ լուծման և նշանակման մոդելների բոլոր-սխեմաները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Захарьян С. С. Об одном способе записи уравнений многосвязных САУ.— В сб.: Изуч. тр. ЕрПИ, сер. авт. и выч. техника, Ереван, 1973, т. 38, вып. 5, с.98—101.
2. Захарьян С. С. Метод двухуровневой оптимизации многомерных многостадийных систем.— Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1984, т. XXXVII, № 2, с. 20—24.
3. Захарьян С. С., Маркарян К. В. Об одном приложении метода уплотнения перемешных.— В кн.: Межауз. сб. науч. тр. ЕрПИ, АмВТ, Ереван, 1980, сер. 15, вып. 5, с. 46—51.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 3, 1987

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

Н. В. АВЕТИСЯН, Т. Г. АРЕШЯН, Д. С. МЕЛКОНЯН

МЕТОД ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Расчет переходных процессов в системах с распределенными параметрами выдвигает жесткие требования к точности алгоритмов машинного расчета преобразований Фурье. Показано, что применение стандартных машинных средств расчета преобразований Фурье связано с необходимостью задания значительных объемов избыточных данных, внесением в решения систематических ошибок [1].

В данной работе предлагается численный метод расчета переходных процессов в системах с распределенными параметрами, свободный от отмеченных недостатков. Для построения решений используются

Таким образом, декомпозиция исходной задачи большой размерности на ряд независимых фрагментов меньшей размерности, реализацию которых возможно осуществлять на системе микро-ЭВМ, повышает оперативность ее решения.

ЕрПИ им. К. Маркса

10. IV. 1985

Ս. Ս. ՉԱԽԱՐՅԱՆ, Կ. Վ. ՄԱՐԿԱՐՅԱՆ

ԽՏԱՅՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ ՕՊՏԻՄԻԶԱՑԻԱՅԻ ԿԵՐԻ ԶՈՒԳԱԷՆՈՒ ԼՈՒԾՈՒՄԸ

Ա Վ Վ Ո Վ Ո Ւ Մ

Բարդ օպտիմիզացիայի խնդիրների լուծման համար առաջարկված է գույքահեռ ալգորիթմ, որը հիմնված է խտացման մեթոդի վրա: Կազմակերպված է միկրոպրոցեսորային երկմակարդակային հաշվողական համակարգ, որի հետապոստման համար առաջարկված է նմանակման մոդել: Բերված են դուգահեռ լուծման և նշանակման մոդելների բոլոր-սխեմաները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Захарьян С. С. Об одном способе записи уравнений многосвязных САУ.— В сб.: Изуч. тр. ЕрПИ, сер. авт. и выч. техника, Ереван, 1973, т. 38, вып. 5, с.98—101.
2. Захарьян С. С. Метод двухуровневой оптимизации многомерных многостадийных систем.— Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1984, т. XXXVII, № 2, с. 20—24.
3. Захарьян С. С., Маркарян К. В. Об одном приложении метода уплотнения перемешных.— В кн.: Межвуз. сб. науч. тр. ЕрПИ, АмВТ, Ереван, 1980, сер. 15, вып. 5, с. 46—51.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 3, 1987

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

Н. В. АВЕТИСЯН, Т. Г. АРЕШЯН, Д. С. МЕЛКОНЯН

МЕТОД ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Расчет переходных процессов в системах с распределенными параметрами выдвигает жесткие требования к точности алгоритмов машинного расчета преобразований Фурье. Показано, что применение стандартных машинных средств расчета преобразований Фурье связано с необходимостью задания значительных объемов избыточных данных, внесением в решения систематических ошибок [1].

В данной работе предлагается численный метод расчета переходных процессов в системах с распределенными параметрами, свободный от отмеченных недостатков. Для построения решений используются

уравнения системы с распределенными параметрами в форме четырех-полюсника с использованием комплексных спектров напряжений и токов

$$\begin{vmatrix} U_1(\omega) \\ I_1(\omega) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} U_2(\omega) \\ I_2(\omega) \end{vmatrix}. \quad (1)$$

Переходной процесс в системе может быть рассчитан по частотным характеристикам с помощью обратного синус- или косинус-преобразования Фурье. Остановимся на использовании обратного косинус-преобразования Фурье. В этом случае переходной процесс на расстоянии x от начала линии при $\Delta t \geq 0$:

$$f(t, x) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} R(\omega, x) \cos \omega t d\omega, \quad (2)$$

где

$$R(\omega, x) = \operatorname{Re} \{F(\omega, x)\}, \quad F(\omega, x) = \int_0^{\pi} f(t, x) \exp(-j\omega t) dt. \quad (3)$$

Функция $F(\omega, x)$ есть комплексный спектр функции $f(t, x)$, которая в свою очередь описывает напряжение или ток на расстоянии x от начала линии.

При подаче на вход линии тока в виде единичной функции комплексный спектр выходного напряжения для условий холостого хода рассчитывается:

$$U_2(\omega) = \frac{I_1(\omega)}{A_{21}} = \frac{Z_B}{j\omega \operatorname{sh} \gamma x}, \quad (4)$$

где Z_B, γ — характеристические параметры четырехполюсника.

Разработан алгоритм, основанный на формуле (4), для получения массива дискретных значений действительной частотной характеристики. В качестве исходных данных для расчета выражения (2) служат дискретные отсчеты значений действительной частотной характеристики. Приближенный расчет на основе этих данных косинус-преобразования Фурье осуществляется в два этапа.

1. Аппроксимация частотной характеристики кусочно-линейной кривой (сокращение избыточности данных).
2. Расчет обратных преобразований Фурье (ОПФ).

Массивы данных, получаемые путем дискретизации обрабатываемой функции с равномерным шагом, как правило, характеризуются значительной избыточностью. Поэтому эффективные алгоритмы цифрового спектрального анализа могут быть построены с использованием методов сокращения избыточности исходных данных. В предлагаемом алгоритме используется регрессионный метод сокращения избыточности данных [2], с помощью которого исходная функция аппроксимируется кусочнолинейной кривой.

Рассмотрим алгоритм расчета ОПФ. В результате сокращения избыточности данных функция $R(\omega, x)$ заменяется аппроксимирующей функцией $\overline{R}(\omega, x)$, состоящей из отрезков прямых, соединяющих избыточные отсчеты $\{R_i\}$ в точках $\{z_i\}$ ($i = 0, \dots, M$). Для расчета обратного косинус-преобразования Фурье функции $R(\omega, x)$ заменим ее аппроксимирующей функцией:

$$\overline{R}(\omega, x) = \sum_{k=1}^{M-1} R_k U_k(\omega - z_k) + R_0 v_0(\omega - z_0) + R_M v_M(\omega - z_M), \quad (5)$$

где конечные элементы определяются следующими соотношениями:

$$u_k(\omega) = \begin{cases} 0 & \omega \notin [-\Delta z_{k-1}, \Delta z_k], \\ 1 - \omega/\Delta z_k & \omega \in [0, \Delta z_k], \\ 1 + \omega/\Delta z_{k-1} & \omega \in [-\Delta z_{k-1}, 0]; \end{cases} \quad (6)$$

$$v_0(\omega) = \begin{cases} 0 & \omega \notin [0, \Delta z_0], \\ 1 - \omega/\Delta z_0 & \omega \in [0, \Delta z_0]; \end{cases} \quad (7)$$

$$v_M(\omega) = \begin{cases} 0 & \omega \notin [-\Delta z_{M-1}, 0], \\ 1 + \omega/\Delta z_{M-1} & \omega \in [-\Delta z_{M-1}, 0]. \end{cases} \quad (8)$$

Экспоненциальные преобразования конечных элементов (6) — (8):

$$V_0(jt) = \text{Fe}\{v_0(\omega)\} = \int_0^{\Delta z_0} v_0(\omega) \exp(j\omega t) d\omega = \quad (9)$$

$$= \frac{1 - \cos t\Delta z_0}{t^2 \Delta z_0} + \frac{j}{t} \left(1 - \frac{\sin t\Delta z_0}{t\Delta z_0} \right);$$

$$V_M(jt) = \text{Fe}\{v_M(\omega)\} = \frac{1 - \cos t\Delta z_{M-1}}{t^2 \Delta z_{M-1}} - \frac{j}{t} \left(1 - \frac{\sin t\Delta z_{M-1}}{t\Delta z_{M-1}} \right); \quad (10)$$

$$U_k(jt) = \text{Fe}\{u_k(\omega)\} = \frac{1 + c_k - c_k \cos t\Delta z_{k-1} - \cos tc_k \Delta z_{k-1}}{t^2 c_k \Delta z_{k-1}} - \\ - j \frac{\sin tc_k \Delta z_{k-1} - c_k \sin t\Delta z_{k-1}}{t^2 c_k \Delta z_{k-1}}, \quad (11)$$

где

$$c_k = \frac{\Delta z_k}{\Delta z_{k-1}}; \quad \Delta z_k = z_{k+1} - z_k, \quad k = 1, \dots, M-1.$$

Расчетная формула для обратного косинус-преобразования Фурье функции $\overline{R}(\omega, x)$ имеет вид:

$$f(t, x) = \frac{2}{\pi} \operatorname{Re} \left\{ \sum_{n=1}^{m-1} R_n U_n(jt) \exp(jtz_n) + R_m V_m(jt) \exp(jtz_m) + \right. \\ \left. + R_{m+1} V_{m+1}(jt) \exp(jtz_{m+1}) \right\}. \quad (12)$$

Таким образом, расчет переходного процесса $f(t, x)$ по формуле (12) сводится к вычислению выражения (12). Программа, реализующая алгоритм расчета переходного процесса, состоит из трех подпрограмм. Первая подпрограмма осуществляет вычисление действительной частотной характеристики переходного процесса по формуле (4). Входными данными этой подпрограммы являются первичные параметры линии. Выходными данными являются массивы значений действительной частотной характеристики.

Вторая подпрограмма осуществляет регрессионный метод сокращения избыточности данных [2], аппроксимирующий исходную функцию множеством избыточных отсчетов. Входными данными этой подпрограммы являются массив значений действительной частотной характеристики и фиксированный допуск для отклонения. Выходными данными является множество избыточных отсчетов действительной частотной характеристики.

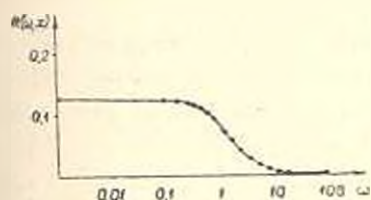


Рис. 1. Избыточные отсчеты действительной частотной характеристики линии с распределенными параметрами.

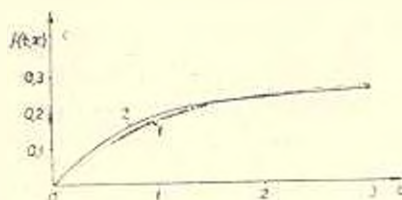


Рис. 2. Переходный процесс, вычисленный по действительной частотной характеристике (кривая 1) и теоретически (кривая 2).

Третья подпрограмма, реализующая алгоритм обратного косинус-преобразования Фурье, вычисляет переходный процесс по расчетным формулам (9) — (12). Входными данными этой подпрограммы являются множество избыточных отсчетов действительной частотной характеристики, интервал времени, в котором вычисляется переходный процесс, и шаг по оси времени. Выходными данными является множество отсчетов переходного процесса $f(t, x)$ в указанном интервале времени.

Описанная выше программа записывалась на языке БЕЙСИК ЭВМ «ИСКРА-22».

Для иллюстрации алгоритма рассмотрим переходный процесс в линии с распределенными параметрами при $L = 0$ на расстоянии x от начала линии, при подаче на вход тока в виде единичной функции. Теоре-

тическая кривая переходного процесса [3], выраженная через функцию ошибки, приведена на рис. 2 (кривая 1).

При тех же условиях вычислен переходный процесс разработанным численным методом. Для этого рассчитана действительная частотная характеристика, график которой приведен на рис. 1. Нензбыточные отчеты действительной частотной характеристики показаны кружками. Кривая 2 рис. 2 иллюстрирует переходный процесс, рассчитанный с помощью ОПФ по действительной частотной характеристике.

Приведенный алгоритм цифрового спектрального анализа, построенный с использованием регрессионного метода сокращения избыточности исходных данных, может применяться для расчета переходных процессов в линиях электропередачи большой протяженности, трубопроводах, а также в биологических системах, в частности, в нервных волокнах.

Инт физиология АН АрмССР

10. IX. 1986

Մ. Վ. ԱՎԵՏԻՅԱՆ, Խ. Դ. ԱՐԵՇՅԱՆ, Դ. Ս. ՄԵԼԵՆԿՈՎ

ՏԱՐԱՐԱՆԵՎԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐՈՎ ՀԱՄԱԱՐԳԵՐՈՒՄ ԱՆՑՈՂՎ ՊՐՈՑԵՍՆԵՐԻ ԹՎԱՅԻՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԵԹՈԴ

Ա մ փ ո փ ո մ

Առաջարկված է տարարանելի պարամետրերով համակարգերում անցումային պրոցեսների թվային հաշվարկի բաղադրողմանի մեթոդ: Անցումային պրոցեսի մոտավոր հաշվարկը, ըստ իրական հաճախական բնութագրի և ֆուրյեի հակադարձ կոսինուս-փոխակերպման ղեկավարմամբ էապարզում է երևի փուլով՝

1. իրական հաճախական բնութագրի ընդհանուր արժեքների հաշվարկ,
2. Հաճախական բնութագրի մոտարկում մասնակի-զծային կորով (տրվյալների հավելցուկության կրճատում),
3. ֆուրյեի հակադարձ փոխակերպման հաշվարկ:

Տարաբաշխված պարամետրեր ունեցող զծի մեջ սկզբից որոշակի հեռավորության վրա միավոր հոսանք տալու դեպքում տեղի ունեցող անցումային պրոցեսի համար դիտարկված է օրինակ:

ЛИТЕРАТУРА

1. Халитов М. Д., Ван Цибао. Анализ электромагнитных переходных процессов в сетях энергосистем сверхвысокого напряжения. — ТИИЭР, 1982, т. 70, № 4, с. 46—52.
2. Мельник Л. С., Арешян Т. Г. Помехоустойчивый регрессионный метод сокращения избыточности данных. — Изв. АН АрмССР (сер. ТИ), 1985, XXXVIII, № 5, с. 23—28.

А. М. АДОНИ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ТРАССИРОВКИ
В ЗАДАННОМ ОБЪЕМЕ

В работе предлагаются математические модели и вычислительные методы, позволяющие с помощью ЭВМ находить пространственные структуры трассировки жгута в заданном объеме.

Модель 1. Найти незамкнутые пути (трассировки жгута длины l_0), выходящие из заданных точек и заканчивающиеся в заданных точках и проходящие через узловые точки один и только один раз (положение узловых точек определяется предметами, смонтированными в объем), имеющие протяженность $L \leq l_0$, кроме того $l_0 - L \leq a^0$, где $0 \leq a^0 \leq \min a_{ij}$; $(l_0 - L)$ — экономия материала; a_{ij} — расстояние между точками с номерами i и j . Поставленная таким образом задача на данном множестве точек может быть и неразрешима. Решение начинается с проверки корректности множества точек. Затем строятся замкнутые пути, проходящие через те же точки и имеющие длину

$$a = l_0 + \min_{i,j} a_{ij} \leq l \leq l_0 + \max_{i,j} a_{ij} = b.$$

Тогда, отбрасывая часть замкнутого пути длины $(l - l_0)$ на участке i, j — который определяется неравенством

$$\min_{i,j} a_{ij} \geq a_{ij} - (l - l_0) > 0 \quad (1)$$

(число выделяемых участков может быть не единственно), получаем конфигурации трассировок, удовлетворяющие требованиям задачи. Если не найдется ни одного участка i, j , входящего в замкнутый путь, для которого выполняется неравенство (1), то этот путь отбрасывается. Таким образом, поставленная выше задача свелась к задаче, подобной задаче «коммивояжера» [1].

Модель 2. Жгут будем моделировать «ожерельем», состоящим из $(N + 1)$ бусин, связанных N звеньями; в каждой бусине имеется шарнир. Как длины звеньев, так и углы между последовательными звеньями образуют стационарные случайные процессы, которые можно считать марковскими. В соответствии с законом больших чисел, суммарная длина, т. е. сумма длин звеньев равна $NE_x + O(\sqrt{N})$, где N — число звеньев, E_x — математическое ожидание длины звена. Расстояние между началом и концом цепи равно $C_1 \sqrt{N} + O(\sqrt{N})$, где $C_1 = \text{const}$. Ставится задача: смоделировать все возможные трассировки жгута — «ожерелья» в заданном объеме (шар, куб, эллипсоид вращения и т. д.). Следуя закону повторного логарифма, диаметр области, куда укладывается цепь, равен $C_2 \sqrt{N \ln N}$, $C_2 = \text{const}$ (2).

Построение всевозможных трассировок в заданном объеме. Все рассматриваемые распределения моделируются методом Монте-Карло, в соответствии с таблицами случайных чисел. Большинство встречающихся распределений можно в первом приближении считать равномерными. В объеме берем любую точку, случайным образом проводим первое звено так, что конец его будет равномерно распределен на сфере. Точку на сфере определяем методом Монте-Карло. Угол между первым и вторым звеньями выбираем в соответствии с условным распределением этого угла в заданном интервале, а угол поворота вокруг оси (по конусу) — в соответствии с функцией распределения, которую в частном случае можно считать равномерной. После каждого шага проверяем расстояние от конца добавленного звена до центра области, используя формулу (2). Процесс построения трассировки жгута в заданном объеме заканчивается после N шагов.

Замечание. Алгоритм построения укладок с вероятностью, близкой к единице, дает искомые трассировки с контролем не выхода из объема, т. е. контролем величины (2).

Модель 3. Некие конструкции трассировки жгута будем представлять графами и мультиграфами [2], вершины которого расположены в заданных узлах. Причем в каждом из узлов может сходиться от одного до P ребер (как правило, при разработке монтажных схем $P = 4$). Присваиваем каждой вершине графа номера от 1 до N и записываем матрицу смежностей графа: $A = \|a_{ij}\|$, где $a_{ij} = 1$ (означает наличие), $a_{ij} = 0$ (означает отсутствие) связи между i -ой и j -ой вершинами; $a_{ii} = 0$, т. к. в графе отсутствуют петли.

Переменные a_{ij} можно также считать логическими переменными. С каждой конфигурацией пути можно связать длину, подсчитанную по формуле

$$E_i = \frac{1}{2} S_i(\Sigma A_i),$$

где Σ — матрица длин связей между узлами, A_i — матрица смежностей. Решение задачи трассировки жгута разобьем на четыре этапа:

I. Построить структурные формулы трассировки жгута, когда между узлами возможны только одинарные связи.

II. Построить структурные формулы трассировки жгута, когда между узлами обязательно наличие двойных и тройных связей.

III. Каждую из полученных структурных форм трассировки охарактеризовать параметрами.

IV. Выбрать те трассировки, которые обладают заданными свойствами. Первые два этапа задачи можно сформулировать так: найти все неориентированные, связанные графы и мультиграфы, содержащие n ($n \geq 3$) вершин, в каждой из которых сходится от одного до четырех ребер. Задачу можно решить методом логических уравнений [3]. В нашем случае имеем дело с переменными $y_{ij} = 1$ или $y_{ij} = 0$, что

означает наличие или отсутствие связи между i -м и j -м узлами. Условия задачи запишутся в виде следующих логических уравнений:

$$\forall y_{1k} y_{2k} \dots y_{k-1,k} = 1; \quad (3)$$

$$1 \leq \sum_{i=1}^{k-1} a_{ik} \leq 4; \quad 1 \leq a_i \leq 4; \quad i, j = 1 \quad y_{ij} = 1,$$

где

$$1 \leq a_i = \sum_{m=1}^{i-1} a_{im} + \sum_{m=i+1}^k a_{im} \leq 4.$$

Эти условия означают, что k -й узел может быть связан не менее, чем с одним и не более, чем с четырьмя узлами из прежних $k-1$ узлов, причем в конфигурациях ни один из узлов не должен быть более, чем четверным. Умножив соотношение, содержащее все решения задачи для $n = k-1$ последовательно на (3), получим совокупность решений задачи для $n = k$.

Графы удобно представлять в виде квадратных симметричных матриц из нулей и единиц. При построении решений для $n = k+1$ надо окаймить всевозможными способами каждую из матриц — решений k -го порядка $(k+1)$ -ой строкой и $(k+1)$ -ым столбцом, состоящим из нулей и единиц, так, чтобы общее количество единиц в каждом столбце и каждой строке было заключено между единицей и четырьмя. Чтобы осуществить окаймление, строим вектор-строку и вектор столбец, компоненты которых указывают, какие строки и столбцы уже насыщены единицами.

Среди матриц решений, полученных описанным выше способом, будут содержаться такие, которые отвечают одинаковым графам. В общем случае можно получить $n!$ различных матричных изображений одного и того же графа.

Первый способ различия графов. Графу можно сопоставить вектор $(a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14})$. Компоненты вектора указывают соответственно количество четверных, тройных, двойных и однарных узлов.

Второй способ. Если матрицы A и B соответствуют одному и тому же графу, то с помощью перестановок строк и столбцов матрицы A ее можно превратить в матрицу B . Итак, если E матрица E такая, что $E^{-1}AE = B$ или $AE = EB$, то матрицы A и B описывают один и тот же граф. Эта задача может быть решена методом математической логики, т. к. элементы матриц A, B, E есть нули и единицы.

Построение мультиграфов. Построить мультиграфы не более, чем с четвертными узлами и не более, чем тройными связями между каждой парой узлов. Для решения этой задачи можно воспользоваться либо логическими уравнениями, либо матрицами, которые будут иметь элементы, равные 0, 1, 2, 3. Отбор матриц, изображающих одинаковые мультиграфы, аналогичен отбору матриц, изображающих одинаковые графы.

В результате решения вышеизложенной задачи предложенными методами получается значительный набор трассировок жгута в заданном объеме. Задача выбора трассировки жгута, которая удовлетворяет заданным требованиям, математически сводится к решению логических уравнений вида:

$$z \xrightarrow{A} k,$$

где $z = z(P_1, P_2, \dots, P_n)$ — совокупность свойств, которым должна удовлетворять искомая трассировка жгута в заданном объеме; k — искомые трассировки: $k = (k_1, k_2, \dots, k_n)$; A — матрица.

ЕрПН им. К. Маркса

27. I. 1986

Ա. Մ. ԱՊՈՆՅ

ՏՐԱՎԾ ԾԱՂԱՆՈՒՄ ԶԵՍԱԴՄԱՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ԵՎ ՄՈԳԵԼԸ

Ա մ փ ո փ ո մ

Օգտվելով գրաֆների տեսության և մաթեմատիկական տրամաբանության ապարատից, մշակված են տրված ծավալում փուլերի հետազոտման մեթոդը և մաթեմատիկական մոդելը: Առաջարկված է մի քանի մոդել:

№ 1 մոդել՝ գտնել չփակված ճանապարհը, որը դուրս է գալիս որոշակի կետից և վերջանում տրված կետում, անցնելով բոլոր հանգույցային կետերով միայն մեկ անգամ: Տրված պայմանները նման են «շրջիկ գործակալի» խնդրին:

№ 2 մոդել՝ բուղը մոդելավորված է շղթայի ձևով, որը կազմված է N հատվածներից և $(N+1)$ հանգույցներից: Ամեն մի հանգույց ունի իր հոդը: Հանգույցների երկարությունը և նրանց միջև եղած անկյունները կազմում են կայունացված պատահական պրոցես, որը կարելի է համարել մարկովյան շղթա:

ЛИТЕРАТУРА

1. Кофман А. Введение в прикладную комбинаторику. — М.: Наука, 1975. — 478 с.
2. Берж К. Теория графов и ее приложения. — М.: ИЛ, 1962. — 320 с.
3. Дискретная математика и математические вопросы кибернетики / Под общ. ред. С. В. Яблонского и О. Б. Ляпунова. — М.: Наука, 1974. — 311 с.

С. Р. МЕСЧЯН, Т. Л. ПЕТРОСЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА
И ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ГРУНТОВЫХ СМЕСЕЙ

В практике гидротехнического строительства известно много случаев использования разных типов глины и бентонитовых в частности, для повышения водонепроницаемости суглинков и супесей [1, 2], а также для возведения противofильтрационных экранов и облицовок [1]. В связи с этим возникла идея [3] использования бентонитовой глины Саригюхского месторождения АрмССР [4] для этой цели.

Для получения бентонито-грунтовых смесей оптимального состава и с наименьшей водонепроницаемостью использованы полученные из строительства Егвардского водохранилища четыре различных грунты и бентонитовая пудра производства завода «Бентонит» (табл. 1).

Таблица 1

Показатели основных физических свойств грунтов и грунтовых смесей

Лаб. № грунта	Глубина залега- ния, м	К-во бен- тонита, %	γ_s , г/см ³	w_L , %	w_p , %	I_p , %
52—83	—	100	2,75	170,5	40,4	130,1
53—83	5	0	2,74	39,2	28,9	10,3
		5	2,75	39,6	23,1	16,3
		10	2,76	46,1	24,7	21,4
54—84	0,7—8	0	2,69	30,1	21,3	8,8
		5	2,7	32,2	21	11,2
		10	2,71	35,8	20,9	14,9
55—85	8,0—12	0	2,69	28,5	23,8	4,7
		10	—	—	—	—
		15	—	—	—	—
56—85	1—10	0	2,68	25,1	19	6,1
		10	2,7	31,3	17,6	13,7
		15	2,72	33,9	19,4	15,5
		20	2,74	35,2	20,1	15,2

По методу стандартного уплотнения определены значения оптимальной влажности w_{opt} и наибольшей плотности скелета $\rho_{s, max}$ бентонито-грунтовых смесей (табл. 2). Используя эти данные, изготовлены образцы-близнецы оптимальной влажности и наибольшей плотности из указанных смесей и испытаны под действием ступенчато-возрастающих нормальных напряжений σ , для определения их фильтрационных свойств при различных значениях σ_1 .

Длительное уплотнение и определение фильтрационных свойств образцов-близнецов диаметром 70 мм и высотой 20 мм выполнены из

компрессионно-фильтрационных приборах М-2 [5]. Эти образцы увлажнены восходящим потоком воды (при градиенте напора ~ 20) до полного водонасыщения после приложения первых ступеней уплотняющих давлений 0,025 и 0,05 МПа (табл. 2). Коэффициенты фильтрации образцов-близнецов определены перед приложением к ним следующей ступени уплотняющего давления (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты фильтрации образцов грунтов и бентонитогрунтовых смесей оптимальной влажности и наибольшей плотности при $T = +10^\circ\text{C}$

Лаб. № грунта	К-во бенто- нита, %	w	γ_{max} г/см ³	Коэффициенты фильтрации k , 10 ⁻³ см/с при σ_v , МПа				
				0,025	0,05	0,1	0,2	0,4
53—83	0	0,22	1,59	—	34,9	25,0	—	11,1
	5	0,23	1,55	—	14,5	9,78	3,03	2,33
	10	0,24	1,57	—	3,82	2,62	1,35	1,15
54—85	0	0,24	1,59	—	1,62	1,22	1,23	0,445
	10	0,26	1,52	—	0,70	0,616	0,364	0,224
55—85	0	0,25	1,63	—	0,697	0,769	0,289	—
	10	0,23	1,55	—	0,365	0,348	0,288	—
	15	0,26	0,51	—	0,325	0,189	0,277	—
56—85	0	0,22	1,61	5,69	—	—	—	—
	10	0,24	1,58	2,49	—	1,64	7,63	—
	15	0,24	1,56	0,352	—	0,31	0,301	—
	17	0,23	1,55	0,184	—	0,21	0,133	—
	20	0,22	1,53	1,14	—	1,14	0,836	—

Опыты показали, что наибольшей водопроницаемостью обладают грунты природного состава. По мере увеличения количества содержания бентонита в смеси коэффициент фильтрации уменьшается. Возрастающее водопроницаемости указанных смесей при одинаковых размерах расхода бентонита зависит от содержания и грунта глинистого материала.

При обогащении суглинка 53—83 бентонитом в количестве 10% (табл. 2) величина коэффициента фильтрации уменьшился до одного порядка. В то же время 10%-ное содержание бентонита в смесях, приготовленных с использованием супесей и легкого суглинка (табл. 1), привело к двукратному снижению коэффициента фильтрации, что находится в пределах обычной точности определения их фильтрационных свойств в лабораторных условиях.

Длительное испытание бентонито-грунтовых смесей в условиях компрессии по изложенной выше методике показало, что они в зависимости от количества бентонита при замачивании после приложения первых ступеней уплотняющего давления проявляют набухающие свойства (рис. 1), что с увеличением начальной пористости грунта приводит к возрастанию водопроницаемости. Следовательно, количество бентонита в смеси должно равняться тому наибольшему значению, при котором отсутствует отрицательная деформация (увеличение начальной по-

ристости) образца. В предельном состоянии отрицательная деформация и давление свободного набухания должны быть равны нулю, а давление набухания $\sigma_{\text{наб}}$ под действием напряжения σ , от веса вышележащих слоев грунта (например, веса защитного слоя) должно равняться этому напряжению ($\sigma_{\text{наб}} = \sigma_1$).

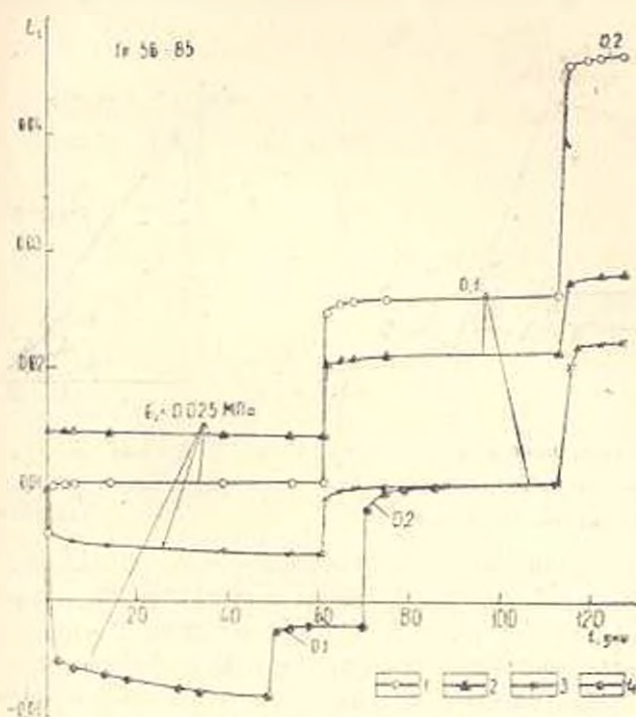


Рис. 1. Кривые компрессионной ползучести бентонито-грунтовой смеси при ступенчатом росте нормальных напряжений σ_1 (МПа). Количество бентонита m_b в смеси: 1—0; 2—10%; 3—15%; 4—20%.

Условие нулевого деформирования бентонито-грунтовых смесей оптимального состава использовано для определения оптимального количества бентонита в бентонито-грунтовой смеси, приготовленной из грунта 56—85 и бентонитовой пудры (табл. 1). Для этого испытаны образцы с содержанием бентонита в количестве $m_{b, \text{опт}} = 5, 10, 15$ и 20% под действием $\sigma_1 = 0,025$ МПа. Построен график зависимости $\epsilon_s = m_{b, \text{опт}}$ (рис. 2) и по точке его пересечения с осью абсцисс определено оптимальное количество бентонита — 17%. Как видно на рис. 1 и 2, при $m_{b, \text{опт}} = 5, 10$ и 15% под действием $\sigma_1 = 0,025$ МПа, имеет место уплотнение, а при $m_{b, \text{опт}} = 20\%$ — набухание образцов. Одновременно с увеличением количества бентонита в пределах 5—15% коэффициент фильтрации постепенно уменьшается, а при $m_{b, \text{опт}} = 20\%$ — возрастает (табл. 2), что подтверждает вывод об отрицательном влиянии набухания на их фильтрационные свойства.

В целях проверки достоверности полученных результатов, приготовлены образцы из бентонито-грунтовой смеси, содержащей бектонит в количестве 17% по весу воздушно-сухого грунта. Эти образцы испытаны в компрессионных приборах по изложенной методике и определены коэффициенты их фильтрации при различных значениях уплотняющего давления σ_1 (табл. 2). На основании полученных опытных данных

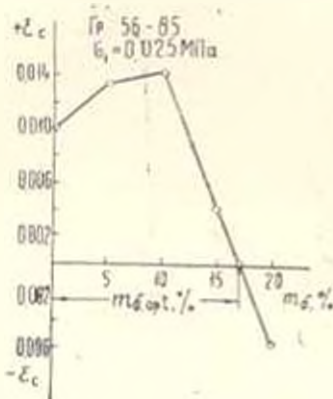


Рис. 2. График зависимости k от m_b .
 $+$ ϵ_1 — деформация уплотнения, — ϵ_2 — деформация набухания.

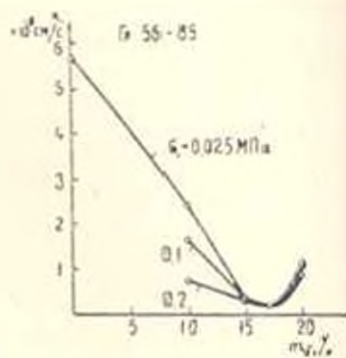


Рис. 3. Кривые зависимости k от m_b при различных значениях уплотняющего давления σ_1 .

построены графики зависимости коэффициента фильтрации от количества содержания бектонита в смесях для различных значений уплотняющего давления σ_1 (рис. 3). Из данных табл. 2 и из рис. 3 следует, что наименьшее значение коэффициента фильтрации соответствует бентонито-грунтовой смеси с содержанием бектонита в количестве 17%, что подтверждает правильность предлагаемой методики.

У. О. ՄԵՐՁՅԱՆ, Տ. Լ. ՊԵՏՐՈՅԱՆ

ԲՆԱՀԱՆՈՒՄԻՆ ԿԱՌԱՐՈՒՄԻՆԻ ՈՊՏԻՄԱԼ ԿԱԶՄԻ ԵՎ ՄՍԱՆԱՅՄԱՆ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Տրված են նշվարդի չրամրարի շինարարությունից բերված կավային գետնա՝ ողբերի և բենտոնիտային կավի խառնուրդներից օպտիմալ խառնուրդային և կմախքի առավելագույն խտությամբ պատրաստված փորձանմուշների ծրծանացման խտությունները դրանց տարբեր խտությունների պայմաններում: Պարզված է, որ երբ բենտոնիտային կավի քանակը խառնուրդում գտնվում է 10—17 % սահմաններում, ծծանացման գործակիցը փոքրանում է մեկ կտրգով: Բենտոնիտային կավի մեծ քանակության դեպքում գետնա՝ ողային խառնուրդը ձեռք է բերում ուղեկու ունակություն: Նշենով փորձերի արդյունքներից և փորձանմուշների ուղեկու գրոյական պայմանից՝ առաջարկվում է գետնա՝ ողային խառնուրդի օպտիմալ կազմի որոշման եղանակ:

ЛИТЕРАТУРА

1. Противофильтрационные одежды аргиллоновых канализов / Пер. с англ. Е. В. Мальшиной. Под ред. С. Р. Оффенгендена. — М.: Колос, 1965. — 158 с.
2. Sima N., Harsulescu A. The use of bentonites for sealing dams. — Bulletin of the International association of Engineering geology, 1979, № 20, december, p. 222—226.
3. К изучению бентонитовых глин для применения в противофильтрационных целях / Э. Т. Джрбашян, Р. А. Алавердян, Б. Х. Лалазарян и др. — В кн.: Вопросы мелноразли и водного хозяйства АрмССР, Ереван, Айкастан, вып. XI, с. 115—126.
4. Авакян Г. С. Бентониты Армении. — В кн.: Бентониты. М., Наука, 1980, с. 73—82.
5. Месчан С. Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов. — М.: Недра, 1985. — 342 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН) т. XL, № 3, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Э. П. АРУТЮНЯН, Н. Б. ГРИГОРЯН

К РАСЧЕТУ ШАРИКОВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧИ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАТЯГОМ

Для устранения зазоров и повышения осевой жесткости шариковинтовые передачи (рис. 1) во многих случаях монтируются с предварительным натягом. Одним из распространенных методов создания предварительного натяга является выполнение передачи с внутренним натягом: комплект шариков с положительным отклонением $\Delta z_{ш}$ от номинального диаметра $d_{ш}$ принудительно вводится в пространство между винтовыми канавками.

Нормальные усилия по длине контактных линий (дискретный контакт шариков с витками условно заменяется непрерывным), вызванные предварительным натягом (рис. 2а), обозначим $P_{iш}$ ($i=1,2$, индекс 1 относится к винту, 2 — гайке). После приложения осевого усилия Q (рис. 3) нормальные усилия перераспределяются: в точках контакта $A - P_{1A} > P_{1ш}$, а в точках контакта $B - P_{1B} < P_{1ш}$ (рис. 2б).

Из условий равновесия следует, что

$$P_{1A} - P_{1B} = P_{1ш},$$

$$\frac{P_{1A(B)}}{P_{2A(B)}} = \frac{P_{1ш}}{P_{2ш}} = \frac{S_{2ш}}{S_{1ш}},$$

где нормальное усилие по длине контактных линий, обусловленное силой Q , равно

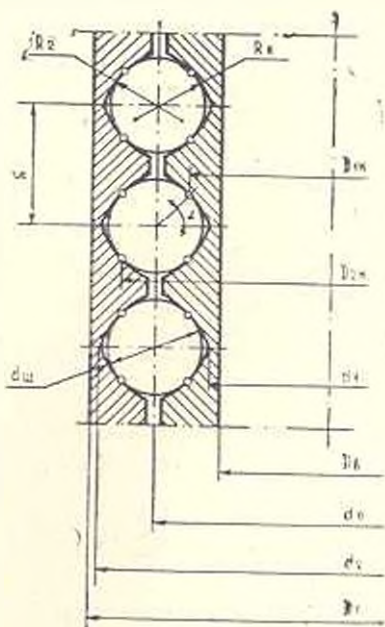


Рис. 1.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Противофильтрационная одежда артезианских канализов / Пер. с англ. Е. В. Мальшиной. Под ред. С. Р. Оффенгендена. — М.: Колос, 1965. — 158 с.
- 2 Sima N., Harsulescu A. The use of bentonites for sealing dams. — Bulletin of the International association of Engineering geology, 1979, № 20, december, p. 222—226.
- 3 К изучению бентонитовых глин для применения в противофильтрационных целях / Э. Т. Джрбашян, Р. А. Алавердян, Б. Х. Лалазарян и др. — В кн.: Вопросы мелноразли и водного хозяйства АрмССР, Ереван, Айастан, вып. XI, с. 115—126.
- 4 Авакян Г. С. Бентониты Армении. — В кн.: Бентониты. М., Наука, 1980, с. 73—82.
- 5 Месчан С. Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов. — М.: Недра, 1985. — 342 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН) т. XL, № 3, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Э. П. АРУТЮНЯН, Н. Б. ГРИГОРЯН

К РАСЧЕТУ ШАРИКОВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧИ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАТЯГОМ

Для устранения зазоров и повышения осевой жесткости шариковинтовые передачи (рис. 1) во многих случаях монтируются с предварительным натягом. Одним из распространенных методов создания предварительного натяга является выполнение передачи с внутренним натягом: комплект шариков с положительным отклонением $\Delta z_{ш}$ от номинального диаметра $d_{ш}$ принудительно вводится в пространство между винтовыми канавками.

Нормальные усилия по длине контактных линий (дискретный контакт шариков с витками условно заменяется непрерывным), вызванные предварительным натягом (рис. 2а), обозначим $P_{iш}$ ($i=1,2$, индекс 1 относится к винту, 2 — гайке). После приложения осевого усилия Q (рис. 3) нормальные усилия перераспределяются: в точках контакта $A - P_{1A} > P_{1ш}$, а в точках контакта $B - P_{1B} < P_{1ш}$ (рис. 2б).

Из условий равновесия следует, что

$$P_{1A} - P_{1B} = P_{1ш},$$

$$\frac{P_{1A(B)}}{P_{2A(B)}} = \frac{P_{1ш}}{P_{2ш}} = \frac{S_{2ш}}{S_{1ш}},$$

где нормальное усилие по длине контактных линий, обусловленное силой Q , равно

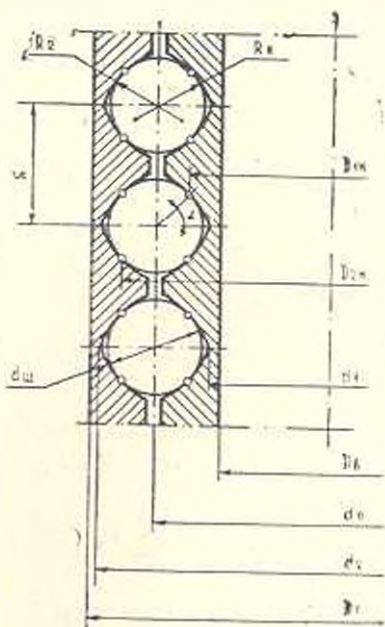


Рис. 1.

$$P_{it} = q \frac{S}{\pi D_{ik} \sin \alpha \cos \varphi_t}$$

Здесь S_{im} — шаг расположения шариков вдоль контактной линии; S — шаг резьбы; D_{ik} — диаметр цилиндрической поверхности, на которой расположена линия контакта; α — угол контакта; φ_t — угол подъема винтовой контактной линии; q — интенсивность распределения осевых сил после приложения осевого усилия Q (рис. 3).

Нормальное усилие на шарик в точках контакта A и B винта (гайки) при создании предварительного натяга равно $P_{im} = P_{in} S_{im}$, а после приложения осевого усилия — $P_{iA(B)un} = P_{iA(B)} S_{im}$.

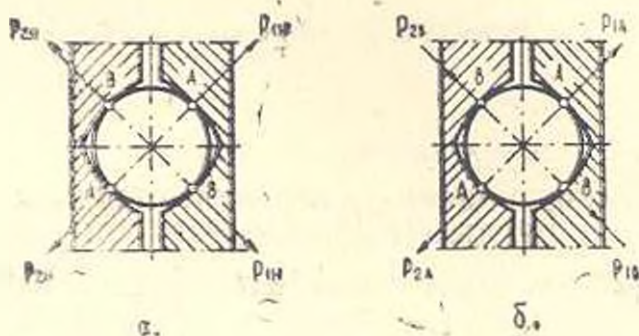


Рис. 2

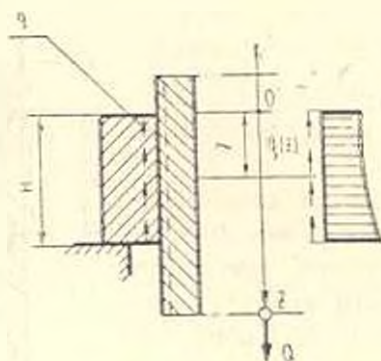


Рис. 3.

Зависимость между деформациями в точках контакта до нагружения представляется в виде

$$\sum_{i=1}^2 \delta_{in} = \frac{\Delta l_{in}}{2} \sin \alpha \sum_{i=1}^2 \cos \varphi_i - \sum_{i=1}^2 \delta_{in} \quad (1)$$

а после приложения осевой силы Q соотношения между деформациями будут:

$$\sum_{i=1}^2 \delta_{in} + \sum_{i=1}^2 \delta_{ia} = \sum_{i=1}^2 \delta_{iA} \quad \sum_{i=1}^2 \delta_{in} - \sum_{i=1}^2 \delta_{ia} = \sum_{i=1}^2 \delta_{iB}$$

где $\delta_{ин}$ — величина контактных деформаций в осевом направлении в точках контакта винта (гайки); $\delta_{ин}$ — осевое перемещение точек контакта от радиального смещения тел винта (гайки) после принудительного ввода шариков; δ_i — осевое перемещение витка винта (гайки) в результате контактных деформаций, вызванных осевой силой; $\delta_{iA(B)}$ — результирующая величина контактных деформаций в осевом направлении шарика с витком винта (гайки) в точке A (B).

На основании соотношений, полученных в [1]:

$$\sum_{i=1}^2 \delta_{ин} = \chi^* P_{ин}^{\frac{2}{3}}; \quad \sum_{i=1}^2 \delta_{ин} = 2\chi^* P_{ин}; \quad \sum_{i=1}^2 \delta_{iA(B)} = \chi^* P_{ин(в)}^{\frac{2}{3}}, \quad (2)$$

где упруго-геометрические параметры:

$$\chi^* = \frac{S_{ин}^{\frac{2}{3}}}{d_{ин}^{\frac{2}{3}}} \sum_{i=1}^2 \gamma_i \frac{\cos \psi_i}{E_i^{\frac{2}{3}}};$$

$$\lambda^* = \frac{\cos \alpha \operatorname{ctg} \alpha}{2S} \left[\frac{d_1 \cos \psi_1}{E_1} \left(\frac{d_1^2 + D_2^2}{d_1^2 - D_2^2} - \gamma_1 \right) + \right.$$

$$\left. + \frac{d_2 \cos \gamma_2}{E_2} \left(\frac{D_1^2 + d_1^2}{D_1^2 - d_1^2} + \gamma_2 \right) \frac{D_{ин}}{D_2} \right],$$

причем, E_i , μ_i — модуль упругости и коэффициент Пуассона материала винта (гайки); d_1 , d_2 , D_2 , D_1 — диаметры тел винта и гайки (рис. 1); γ_i — безразмерный коэффициент, зависящий от материалов шарика, винта и гайки, а также от геометрии контакта [1]. Совместно решая (1) и (2), получаем уравнение

$$P_{ин} + \frac{\chi^*}{2\lambda^*} P_{ин}^{\frac{2}{3}} = \frac{\Delta d_{ин}}{4\lambda^*} \sin \alpha \sum_{i=1}^2 \cos \psi_i, \quad (3)$$

которое легко сводится к кубическому. Если при заданном $\Delta d_{ин}$ требуется вычислить $P_{ин}$, то действительный корень этого уравнения более удобно отыскать методом Ньютона. Обозначая правую часть (3) через f , положим

$$F(P_{ин}) = P_{ин} + \frac{\chi^*}{2\lambda^*} P_{ин}^{\frac{2}{3}} - f = 0.$$

Тогда итерационная схема будет выражаться (при сохранении первых двух членов разложения):

$$P_{ин(j+1)} = P_{ин(j)} - \frac{P_{ин(j)} + \frac{\chi^*}{2\lambda^*} P_{ин(j)}^{\frac{2}{3}} - f}{1 + \frac{\chi^*}{3\lambda^*} \frac{1}{P_{ин(j)}^{\frac{1}{3}}}}.$$

где $P_{1n(j)}$ и $P_{1n(j+1)}$ исходное и последующие приближения для искомой величины P_{1n} .

В качестве первого приближения можно принять

$$P_{1n(j)} = \frac{f}{1 + \frac{\lambda^*}{2\lambda^*}}$$

Результаты расчетов по уравнению (3) сравнительно с вычислениями по [2] дают пониженное значение усилия на шарик при предварительном натяге. Это объясняется тем, что здесь кроме контактных учитываются также деформации тел винта и гайки в радиальном направлении.

Исходя из вышеизложенного, получаем уравнение, совпадающее с уравнением, полученным в [2]:

$$2P_{1n}^{\frac{2}{3}} = P_{1A}^{\frac{2}{3}} + (P_{1A} - P_{1q})^{\frac{2}{3}},$$

корень которого P_{1A} можно, аналогично изложенному способу, определить по следующей итерационной схеме:

$$P_{1A(j+1)} = P_{1A(j)} - \frac{P_{1A(j)}^{\frac{2}{3}} + (P_{1A(j)} - P_{1q})^{\frac{2}{3}} - 2P_{1n}^{\frac{2}{3}}}{\frac{2}{3} \left[\frac{1}{P_{1A(j)}^{\frac{1}{3}}} + \frac{1}{(P_{1A(j)} - P_{1q})^{\frac{1}{3}}} \right]}, \quad (5)$$

где $P_{1A(j)}$ и $P_{1A(j+1)}$ — исходное и последующие приближения для величины P_{1A} . В первом приближении можно принять $P_{1A(1)} = P_{1n} + 0,5P_{1q}$. Расчеты по (4) и (5) заканчиваются при достаточной близости двух соседних приближений. Обычно третье приближение дает приемлемую точность.

Имея значения P_{1n} и P_{1A} , можно определить все силовые параметры передачи. В практических расчетах приближению можно принять:

$$P_{1A} = P_{1n} + 0,5P_{1q} = P_{1n} + K_1 q; \quad P_{1B} = P_{1n} - 0,5P_{1q} = P_{1n} - K_1 q,$$

где

$$K_1 = \frac{S}{2\pi D_{1B} \sin \alpha \cos \psi_1}$$

Лен. фил. ЕрПИ им. К. Маркса

5. IV. 1985

ЛИТЕРАТУРА

1. Биргер И. А., Арутюнян Э. П. Распределение нагрузки по виткам шариковой резьбы. — Вестник машиностроения, 1974, № 3, с. 20—24.
2. Левит Г. А. Расчет передач винт-гайка качения (шариковых). — Станки и инструмент, 1963, № 5, с. 8—16.

В. Б. ВАРДИКЯН

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

МИКРОГЕОМЕТРИЯ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ
ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Исследование состояния обработанной поверхности при прерывистом резании, когда толщина среза переменна, представляет определенный интерес. Это особенно важно при торцовом фрезеровании цветных металлов, которые характеризуются низким пределом текучести, высокой вязкостью и склонностью к упрочнению. Для выявления этих свойств было проведено исследование по факторному планированию [1] для изучения влияния режимов резания на величину микротвердости H и глубины наклепа h . Испытаны следующие обрабатываемые материалы: сталь 45, БрАЖ9-4, Л68, Д16; режущие материалы: Т15К6, ВК8 и фрезерный станок марки 6Н80Г. Геометрия торцовой фрезы: $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $\varphi = 10^\circ$; $\varphi_1 = 10^\circ$; $\lambda = 10^\circ$; $r = \rho 0,03$ мм, и диапазоны режимов резания: $v = 120-380$ м/мин; $s = 0,09-0,24$ мм/об; $t = 0,2-0,8$ мм.

Математическая модель такого взаимовлияния выражается следующим уравнением:

$$H = f(v, s, t); \quad h = f(v, s, t). \quad (1)$$

Эта взаимосвязь обычно ищется в виде:

$$H = C_H v^{x_1} s^{x_2} t^{x_3}; \quad h = C_h v^{x_4} s^{x_5} t^{x_6}. \quad (2)$$

Определение коэффициентов C_H и C_h , а также степеней x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 и x_6 производится согласно методике [1]. В таблице приведены результаты экспериментов.

Таблица

Обраб. матер.	Режущ. матер.	$H = C_H v^{x_1} s^{x_2} t^{x_3}$	$h = C_h v^{x_4} s^{x_5} t^{x_6}$
сталь 45	Т15К6	$H = e^{6,66} s^{0,04} t^{0,02} / v^{0,107}$	$h = e^{5,31} s^{0,545} t^{0,03} / v^{0,963}$
БрАЖ-4	ВК8	$H = e^{5,45} s^{0,06} t^{0,04} / v^{0,02}$	$h = e^{5,29} s^{0,02} t^{0,035} / v^{0,1}$
Л68	Т15К6	$H = e^{5,2} s^{0,15} t^{0,06} / v^{0,107}$	$h = e^{5,9} s^{0,08} t^{0,042} / v^{0,03}$
Д16	Т15К6	$H = e^{5,1} s^{0,003} t^{0,004} / v^{0,0034}$	$h = e^{6,2} s^{0,04} t^{0,01} / v^{0,1}$

Как показывают эксперименты, упрочнение материала в большинстве случаев зависит от характера изменения силы резания. Подробно рассмотрим процесс резания материалов. Предположим, что упрочнен-

ный слой на начальной фазе, т. е. в первой зоне имеет среднее значение h_1 , соответствующее некоторому значению силы резания P_1 . Эта сила постепенно возрастает до $P_{\max}$, т. к. отсутствует процесс резания ($\tau \rightarrow 0$ и $\sigma \rightarrow \sigma_{\max}$), при этом образуется неустойчивое состояние и возможно возникновение автоколебания. Во второй зоне касательные напряжения возрастают, а нормальные напряжения уменьшаются и начинается процесс резания. В этом случае $P_1 \rightarrow P_2$.

где $P_2 = P_{P_1}$, $\alpha_1 > 1$.

Соответственно уменьшается и глубина упрочнения: $h_1 \rightarrow h_2$.

В третьей зоне сила резания P_2 уменьшается до P_3 , а h_2 — до h_3 . Аналогичным образом в последней зоне: $P_3 \rightarrow P_4$ и $h_3 \rightarrow h_4$. Механизм резания математически можно выразить следующим образом:

$$\text{I зона} \rightarrow P_1 \rightarrow h_1 \rightarrow h_1/a = \Delta_1 \rightarrow \alpha_1 P_1 = P_2;$$

$$\text{II зона} \rightarrow P_2 \rightarrow h_2 \rightarrow h_2/a = \Delta_2 \rightarrow \alpha_2 P_2 = P_3;$$

$$\text{III зона} \rightarrow P_3 \rightarrow h_3 \rightarrow h_3/a = \Delta_3 \rightarrow \alpha_3 P_3 = P_4;$$

$$\text{IV зона} \rightarrow P_4 \rightarrow h_4 \rightarrow h_4/a = \Delta_4 \rightarrow \alpha_4 P_4 = P_1,$$

где Δ — отношение глубины упрочнения к толщине среза a .

Как показывают кривые на рисунке, с увеличением скорости резания показатели упрочнения H и h , независимо от применяемого инструмента (Т15К6 или ВК8) и обрабатываемого материала непрерывно уменьшаются и это уменьшение значительно при $v \leq 120$ м/мин, чем в зоне $v = (120-300)$ м/мин. Это объясняется тем, что с увеличением скорости резания, примерно, до 120 м/мин коэффициент трения на режущих поверхностях инструмента в значительной степени уменьшается, что установлено многочисленными исследованиями. При этом уменьшается также угол сдвига и, следовательно, силы резания. Одновременно возрастает количество выделяемого в перед- и подинструментальной зонах тепла. В результате показатели упрочнения металла за линией среза снижаются, а дальнейшее увеличение скорости приводит к большей степени возрастанию тепла, небольшому уменьшению коэффициента трения и значительному увеличению скорости деформации.

Однако, увеличение скорости деформации сокращает продолжительность воздействия тепла на поверхностные слои, вследствие чего упрочнение металла в значительной мере сохраняется. Приведенные на рисунке данные показывают, что увеличение параметров среза вызывает значительное возрастание как микротвердости, так и глубины упрочнения обработанной поверхности. Это следует объяснить тем, что независимо от применяемого инструмента (Т15К6, ВК8) увеличение толщины и ширины среза приводит к возрастанию объема срезаемого слоя, вследствие чего увеличивается зона пластически деформированного металла перед передней поверхностью фрезой. В результате пластическая деформация в большей степени распространяется вглубь ме-

гала за линии среза, тем самым увеличивая показатели упрочнения поверхности. Физико-механическое свойство материалов также влияет на показатели упрочнения в зоне резания. Чем пластичнее металл, тем больше подвергается он пластическому деформированию, следовательно, значения H и h_f получаются больше при одинаковых изменениях режимов резания.



Рис. 1. Влияние режимов фрезерования v , s , f на величины микротвердости H и глубины наклепа h_f . 1 — сталь 45, 2 — бронза БрХЗ, 3 — латунь Л62, 4 — дюралюминий Д16.

Таким образом, по показателям упрочнения можно судить о состоянии микрогеометрии поверхности после механической обработки.

Лен. фил. ЕрПИ им. К. Маркса

10. XII. 1985

ЛИТЕРАТУРА

1. Касьян М. В., Багдасарян Г. Б., Арутюнян Г. А. Оптимизация режимов резания при решении технологических задач. — Ереван, Айзстан, 1981. — 182 с.

Г. С. БАДАДЖЯН

ИЗУЧЕНИЕ НА МОДЕЛЯХ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ
МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ЧЕРЕЗ ГОРНЫЕ РЕКИ

При проектировании и строительстве дорог первостепенное значение приобретает вопрос защиты искусственных сооружений от размыва. Имея в виду недостаточную изученность этого вопроса применительно к горным дорогам, было произведено экспериментальное исследование, целью которого являлось определение русловых деформаций, а также гидравлических характеристик потока и наносов русла в зоне мостового перехода.

Объектом исследования являлась модель мостового перехода, испытанного на экспериментальном стенде (рис. 1). Его рабочий участок представлял собой призматический канал трапециевидального сечения (рис. 2). Дну русла был придан продольный уклон в 5%, что характерно для горных водотоков. Русло формировалось из несвязного грунта неоднородного гранулометрического состава (табл. 1).

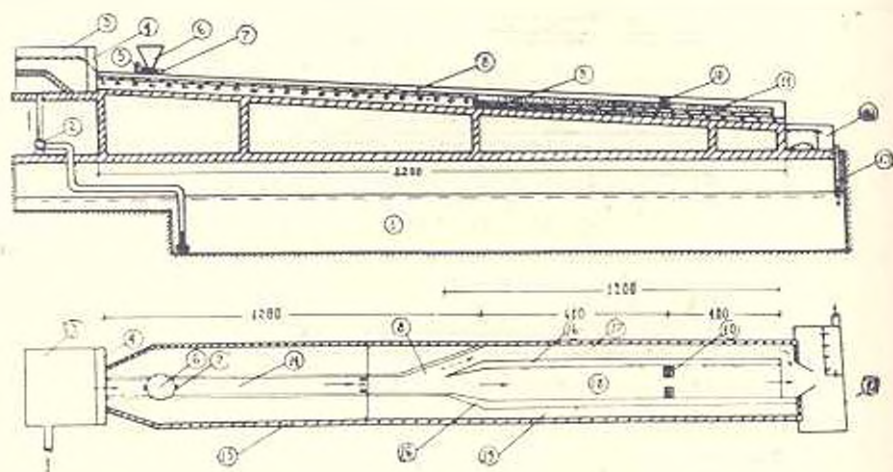


Рис. 1. Схема экспериментального стенда. 1 — бассейн с водой; 2 — насосная установка; 3 — питающий бак; 4 — треугольный водослив; 5 — редуктор; 6 — резервуар с водой; 7 — дозатор; 8 — распределительный узел; 9 — основание из несвязного грунта; 10 — мостовой переход; 11 — рабочий участок русла; 12 — отстойник для наносов; 13 — водоотводящая труба; 14 — водоотводящее русло; 15 — металлический лоток; 16 — продольная перегородка; 17 и 18 — соответственно левая и средняя ветви лотка; 19 — смотровая дорожка.

На стенде было проведено четыре серии опытов (табл. 2), отличающихся друг от друга продолжительностью пропуска воды T и секундах

и расходом воды в рабочем русле Q л/с. Величина максимального расхода воды в русле мостового перехода была определена в период предварительных испытаний модели, когда выяснилось, что при расходе более 35 л/с наблюдается катастрофический срыв русла. В створе мостового перехода коэффициент сужения потока во всех сериях опытов равнялся 0,8. Опыты серии II производили при последовательном увеличении расхода воды в русле от 15 до 25 л/с, а серии III — от 25 до 35 л/с.

Таблица 1

d_1 , мм	60—50	50—30	30—20	20—16	16—12	12—10
G_1 , кг	0,95	1,26	3,2	0,3	0,26	0,36
P_1 , %	7,6	10,1	25,6	2,4	2,1	2,9

d_1 , мм	10—7	7—5	5—3	3—1,5	1,5—0,6	0,6
G_1 , кг	0,54	0,47	0,65	1,02	2,6	0,88
P_1 , %	4,3	3,7	5,2	8,2	21	7

С увеличением расхода воды в русле мостового перехода глубина размыва и ширина русла увеличивались. При этом наблюдалось (табл. 3) возрастание средневзвешенных диаметров фракций грунта $d_{отм}$, оставшегося в размывом русле, и частиц наносов, вынесенных из русла. Наибольшие деформации в русле возникали непосредственно в створе мостового перехода.

Таблица 2

Серия опытов	T , с	Q л/с	Ширина дна русла, см		Максимальная вертикальная деформация дна русла, см
			до испытания	после испытания	
I	1500	15	50	69	5,1
II—1	1620	15	50	60	6,8
II—2	2820	25	60	77	8
III—1	1080	25	50	68	8,1
III—2	1260	35	68	90	7,7
III—3	1500	33	90	110	13,5
IV	2100	25	50	60	6,5

Развитие русловых деформаций по ширине и глубине потока носило извилистый характер. Это отчетливо наблюдалось при сравнительно больших расходах воды не только в зоне мостового перехода, но и далеко за ее пределами — в низовой части водотока. Дно русла вдоль потока деформировалось довольно равномерно, за исключением участ-

ка длиной 2—3 м в зоне мостового перехода (рис. 3). Поток размывал и уносил, в основном, мелкие частицы грунта, вследствие чего средний размер частиц наносов в русле постепенно увеличивался и тем самым увеличивалась шероховатость русла. Это приводило к уменьшению средней скорости потока. Средняя скорость потока уменьшалась также за счет увеличения ширины русла и достигала своего предельного минимального значения, при котором русловые деформации практически прекращались и живое сечение приобретало устойчивую конфигурацию.

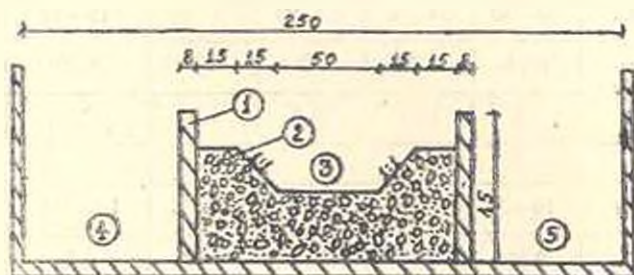


Рис. 2. Поперечное сечение створа: 1 — стальная переторodka; 2 — грунт; 3 — поперечное сечение рабочего участка русла мостового перехода; 4 — смотровая дорожка; 5 — русло холостого водосброса.

Как известно [1], основными параметрами для оценки процесса русловых деформаций водотоков являются средневзвешенные диаметры донных отложений русла $d_{0,м}$, а также диаметры транспортируемых потоком наносов d_n . На основе проведенных гранулометрических анализов в табл. 3 приведены опытные значения $d_{0,м}$ и d_n для проведенных серий испытаний.

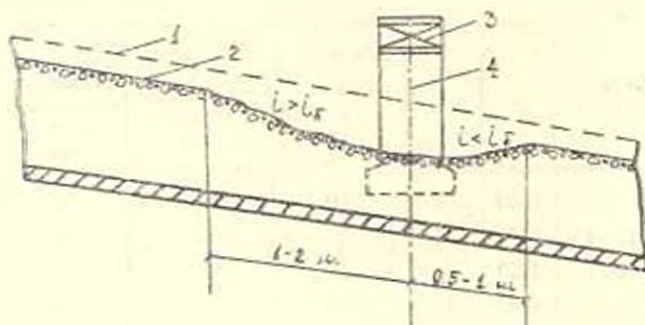


Рис. 3. 1 — уровень дна русла до начала опыта; 2 — то же после опыта; 3 — модель моста; 4 — ось моста.

Из табл. 3 видно, что при неизменном расходе воды значение $d_{0,м}$ по длине русла практически не меняется.

В последних двух графах табл. 3 приведены расчетные значения $d_{0,м}$ и d_n , вычисленные по формулам [2], предложенных для горных рек.

$$d_{0,м} = 3i^{0,9} \left(\frac{Q}{Vg} \right)^{0,4}; \quad d_n = 1,6i^{0,9} \left(\frac{Q}{Vg} \right)^{0,4}.$$

Сопоставление опытных и расчетных значений $d_{\text{опт}}$ и $d_{\text{р}}$ приведенных в табл. 3, показывает их удовлетворительную сходимость.

Таблица 3

Серия опытов	Расход воды Q, л/с	По эксперименту		По расчету	
		$d_{\text{опт}}$, мм	d_r , мм	$d_{\text{опт}}$ по (1), мм	d_r по (2), мм
I—1	15	22,4	—	23,7	—
II—1	15	21,6	—	23,7	—
II—2	25	24,6	14,1	27	14,4
III—1	25	25,2	12,9	27	14,4
III—2	35	28,1	15,2	33,3	17,8
III—3	33	29	13,8	33	17,6
IV	25	24,5	13	27	14,4

ЕрПИ им. К. Маркса

9. XII. 1985

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Андреев О. В. Проектирование чистых переходов.— М.: Транспорт. 1980.—295 с.
2. Талмаза Б. Ф., Крошкин А. Н. Гидроморфометрические характеристики горных рек.— Фрунзе: Киргизстан, 1968.—204 с.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԵՑԵՆԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ

Մ. Վ. Կասյան, Գ. Ն. Նիկողոսյան, Վ. Ա. Ռոքսման: Ամերիկայի մեխանիկական
մշակման պրոցեսում գիտական թաղամասի ձայնագրության էմիսիան

ԷԼԵԿՏՐՈՏԵԽՆԻԿԱ

Մ. Ա. Կառապետյան, Լ. Շ. Կարախանյան, Գ. Կ. Գրիգորյան: Ջերմային դաշտի հաշվարկը
ծխախոտի տերեւում

Ս. Գ. Խալոդեյ, Է. Ա. Խան, Ա. Ս. Աբելյան: Գերհաղորդիչ հաղորդաւարների մեկուսացման
համար կիրառվող էմալի թաղանթառաջման կինետիկական պարամետրերի
որոշումը

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

Վ. Գ. Կորզև, Օ. Վ. Դուբրովսկի, Ա. Գ. Կորզև, Լ. Ա. Մանուկյան: Գրաֆների տեսության
հղանակներով փորձարկման ուժերի ռադիոթունների ընտրության խնդրի
լուծման մասին

ՉԱՓՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

Ս. Վ. Պապոյան: Տեղաշարժերի ձիշտ չափման երկկապուղի համակարգի տեսությունը

ԳԻՏԱԿԱՆ ՆՈԹՆՐ

Մ. Վ. Կասյան, Ա. Մ. Արզումանյան: Տաշնդի նպատակահարման ձևի և երա ձևավորման
պայմանների որակական գնահատականը

Ս. Հ. Մկրտչյան, Ա. Մ. Ավետիսյան, Վ. Վ. Խաչեռյան: Տանտալի հիմքով պատրաստված
դիմադրական միկրոսխեմաների հուսալիության նախազուշակումը

Ռ. Ե. Հակոբյան, Ռ. Մ. Միրզախանյան, Գ. Գ. Խաչատրյան: Պերլիտի աղացվածքի
ծանցման ցուցանիշների հետազոտումը

Ա. Վ. Սարգսյան: Մոլեկուլայր զիֆոզիան բնահողերի օդահագեցման գոտում

Կ. Ս. Դյուբնաչյան, Ս. Հ. Հալոսպետյան: Գերբարձր հաճախականության լուսահոսաշարժի
աշխատանքը ՄԱՅ-ի ուժերում

Ս. Ս. Դաբրիլյան: Տատուկումների ժամանակ ներքին դիմադրության ուժերի հաշվարկման
պրոբլեմի վերաբերյալ

Ս. Ա. Սահակյան: Հոսանքի թթվային աղբյուրների լիցքաթափման բնութագրերի վերլու-
ծական ներկայացումը լիցքաթափման հոսանքի հաստատուն ուժի դեպքում

СОДЕРЖАНИЕ

стр

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- М. В. Касьян, Г. И. Николосян, В. А. Робсман. Акустическая эмиссия хрупкого разрушения аморфных материалов в процессе механической обработки 3

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- М. А. Карапетян, Л. О. Карахиян, К. Г. Крикорян. Расчет теплового поля в табачном листе 7
- С. Д. Холодный, Э. А. Хан, А. С. Абелян. Определение кинетических параметров пленкообразования эмалей, применяемых для изолирования сверхпроводящих проводов 12

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- В. Г. Кобзев, О. В. Дубровский, А. Г. Кобзев, Л. А. Манукян. О решении задачи выбора множества испытательных режимов методами теории графов 16

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- С. П. Паполян. Теория двухканальной системы точного измерения перемещений 20

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

- М. В. Касьян, А. М. Арзуманян. Качественная оценка рациональной формы стружки и условий ее образования 24
- Г. О. Мкртчян, А. М. Аветисян, В. В. Титевоян. Прогнозирование и диагностика резисторных микросхем на основе тантала 27
- Р. Е. Акопян, Р. М. Мирзаханян, Г. Г. Хачатрян. Исследование фильтрующих показателей помола перлита 3
- С. В. Саркисян. Молекулярная диффузия в грунтах зоны эрозии 34
- А. С. Гюнашян, Е. А. Айрапетян. Работа СВЧ светодиода в режиме ФАУ 37
- С. С. Дробинян. К проблеме учета сил внутреннего сопротивления при колебаниях 41
- С. А. Саакян. Аналитическое представление разрядных характеристик конденсаторных источников тока при постоянной силе разрядного тока 44