ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ ЕРЕВАН

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Կասյան Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Ադոնց Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ), Ալեքսեևսկի Վ. Վ., Անանյան Ա. Կ., Գորոյան Տ. Ա., Եղիազարյան Ի. Վ., Զադոյան Մ. Ա., Նազարով Ա. Գ., Տեր-Ազարև Ի. Ա., Փիլոյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ)
Պատասխանատու քարտուղար Ստեփանյան Զ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (ответ. редактор), *Адонц Г. Т.* (зам. ответ. редактора), *Алексеевский В. В.*, *Ананян А. К.*, *Гороян Т. А.*, *Егиазаров И. В.*, *Задоян М. А.*, *Назаров А. Г.*, *Пилоджян В. В.* (зам. ответ. редактора), *Тер-Азарьев И. А.*
Ответственный секретарь *Степанян З. К.*

Խմբագրության հասցեն՝ Երևան, Բարեկամության, 24
Адрес редакции: Ереван, Барекамутян, 24.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXIII, № 4, 1970 Серия технических наук

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Г. С. МИНАСЯН

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ БЕЗВЕРШИННЫМ РЕЗЦОМ БРМ-1

Вопросы качества поверхности являются ведущими для обеспечения долговечности сопряжения деталей при эксплуатации. Получение стабильных значений показателей качества поверхности при обработке деталей в различных скоростных зонах всегда привлекало внимание машиностроителей. В статье, не затрагивая вопросов взаимосвязи факторов в процессе резания, рассматриваются особенности применения безвершинного резца БРМ-1 с позиции формирования микронеровностей. Основные положения о безвершинном резце приведены в [1—3].

Расчетное определение высоты микронеровностей при точении резцом БРМ-1 основано на образовании однополостного гиперболоида вращения. Резец, перейдя из положения I в положение II (рис. 1), оставит несрезанным гребешок AMA_1, образованный величиной подачи s и заключенный между двумя гиперболами. Высота гребешка будет:

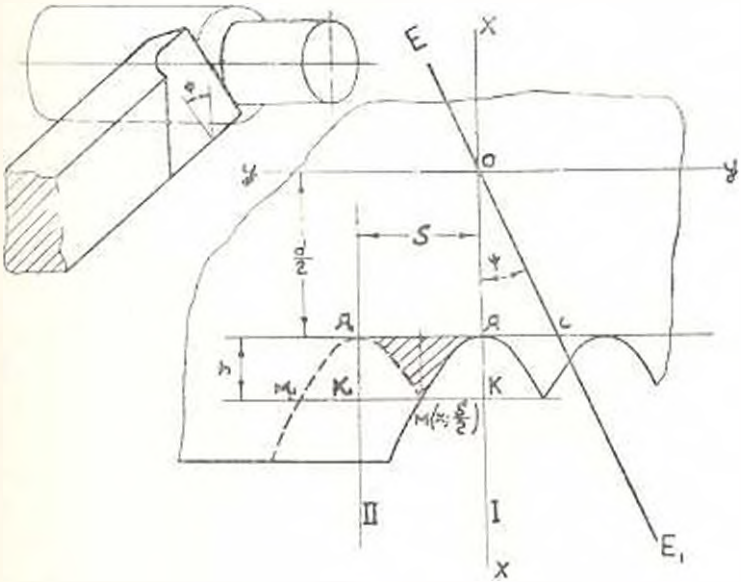

Рис. 1.

$$h = x - \frac{d}{2}.$$

Из уравнения гиперболы имеем:

$$x = \sqrt{\frac{d^2}{4} + \frac{y^2}{\operatorname{tg}^2\varphi}},$$

где EE_1 — проекция режущей кромки (асимтота гиперболы); φ — угол наклона передней грани; $AC = \frac{d}{2}\operatorname{tg}\varphi$; $y = \frac{s}{2}$; $h^2 = hd - \frac{s^2}{4\operatorname{tg}^2\varphi}$.

Так как $h^2 \ll hd$, то приближенно можно написать:

$$h = \frac{s^2}{4d\operatorname{tg}^2\varphi}. \qquad (1)$$

Площадь остаточного сечения гребешка AMA_1 (рис. 1) составляет:

$$F_{ост} = \text{пл. } AMA_1 = \text{пл. } AKK_1A_1 - 2\,\text{пл. } AMK = \text{sh} - \text{пл. } A_1M_1M.$$

Окончательно выражение площади остаточного сечения гребешка будет иметь вид:

$$F_{ост} = \frac{s}{2}\left(h - \frac{d}{2}\right) - \frac{d^2}{4}\operatorname{tg}\varphi \ln\left(\frac{2h - d}{d} + \frac{s}{d\operatorname{tg}\varphi}\right).$$

Для оценки влияния некоторых технологических факторов на формирование микронеровностей проведены эксперименты на материалах, резко отличающихся по своим физико-механическим свойствам, при широком диапазоне режимного поля с сопоставлением обычных резцов с БРМ-1.

Опыты по резанию проводились на токарно-винторезном станке 1К62, который был дополнительно снабжен бесступенчатым вариатором (с передаточным числом 1:2), включенным в цепь главного привода. Это позволило получить наименьшее число оборотов шпинделя до 6 в минуту. Чтобы станок обеспечивал равномерную подачу при отрицательных значениях силы подачи (при резании безвершинчыми резцами сила подачи имеет отрицательное значение), клинья направляющих затягивались в такой степени, что в них силы трения превышали силу подачи. В качестве материала режущей части инструмента применялся твердый сплав Т15К6. Резцы изготовлялись размерами 18 × 30 × 120 *мм*. Заточка резцов проводилась на универсально-заточном станке алмазным кругом диаметром 150 *мм* (зернистость — 10, концентрация — 100, связка — органическая). При этом допуск на заточку рабочих углов резца выдерживался с точностью ± 30′, высота микронеровностей передней и задней граней — в пределах R_a = 0,05 ÷ 0,08 *мк*, радиус округления режущего лезвия — в пределах одного *мк*.

В качестве обрабатываемых материалов были исследованы четыре различных металла и сплава в прокатном виде. Из них были изготовлены круглые болванки диаметром 60 *мм*, длиной 300 *мм*. Шероховатость поверхности определялась средним арифметическим отклонением R_a, профилограф-профилометром модели 201. Все опыты проводились свежезаточенными резцами. Из-за кратковременной работы

предельно допустимый радиальный износ режущей кромки при измерении шероховатости поверхности составлял 1—2*мк*. Результаты опытов приведены в табл. 1.

Таблица 1

		Высота микронеровностей R_a в *мк*							
		при резце БРМ-1 ($\varphi = 25°$)				при обычном резце ($\varphi = 45°$, $\varphi_1 = 10°$, $r = 10'$, $\alpha = 6°$, $\lambda = 0$)			
		материал				материал			
		Сталь 45	СЧ21-40	Л 62	Д 16 Т	Сталь 45	СЧ21-40	Л 62	Д 16 Т
Скорость резания v в *м/мин*	1	0,50	0,83	0,64	0,53	4,67	5,00	4,46	3,40
	10	0,59	1,30	0,73	0,56	6,24	6,30	5,40	1,92
	20	0,75	1,45	0,73	0,52	6,18	6,52	3,70	2,22
	40	1,45	1,80	0,74	0,51	6,36	6,36	3,73	2,02
	60	1,70	2,05	0,88	0,71	5,70	6,04	3,94	2,65
	80	1,80	2,06	1,12	0,82	5,02	6,24	3,94	2,63
	120	1,75	1,90	0,98	0,75	3,60	4,74	3,80	3,12
	220	1,35	1,51	0,96	0,74	3,91	4,16	4,01	3,82
	300	1,35	1,55	1,07	0,82	4,22	4,00	4,10	3,98
Подача s в *мм/об*	0,07	2,10	1,90	0,75	0,40	2,54	3,12	2,78	1,46
	0,15	2,10	2,20	0,80	0,57	5,64	5,48	5,76	5,54
	0,30	2,60	2,60	1,28	1,05	10,60	10,50	11,25	10,75
	0,39	3,10	3,20	1,90	1,20	14,50	12,50	17,50	14,50
	0,47	3,80	3,85	2,30	1,57	17,00	15,25	20,50	19,00

Приведенные в табл. 1 данные показывают, что при применении резца БРМ-1 с изменением скорости резания в диапазоне 1—300 *м/мин* величина микронеровностей в среднем в четыре раза меньше, чем у обычных резцов, в то время как с увеличением подачи (s) это уменьшение в среднем в три раза меньше, чем у обычных резцов.

Для резца БРМ-1 и обычных резцов с некоторым радиусом закругления вершины в выражении (1) числители (s^2) одинаковы, однако знаменатели резко отличаются, так как для обычного резца в знаменателе фигурирует радиус закругления вершины резца, а для БРМ-1 — радиус обработанной детали. Разница представлена на рис. 2, на котором приведены фактические значения высоты гребешка h.

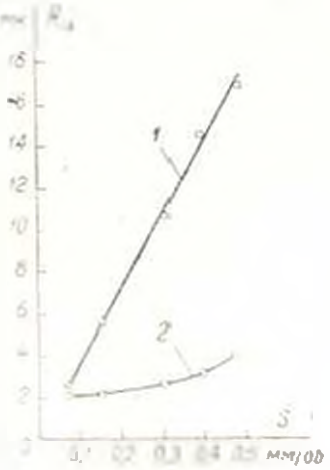

Рис 2. Зависимость микронеровностей от подачи при обработке стали 45 ($v = 120$ *м/мин*, $t = 0{,}25$ *мм*): 1 — обычным резцом; 2 — резцом БРМ-1.

На основании вышеизложенного можно отметить следующее:

1. Применение безвершинного резца обеспечивает получение высокой чистоты по-

верхности в широком диапазоне скорости резания. При этом класс чистоты поверхности на исследованных материалах находится в пределах 6—8 класса, тогда как при прочих равных условиях класс чистоты поверхности, полученный обычным резцом,—в пределах 4—5 класса.

2. При работе с подачами более 0.1 *мм* высота микронеровностей обработанной поверхности при использовании безвершинного резца в несколько раз ниже, чем при применении обычного резца. Это обстоятельство является весьма ценным при выполнении чистовых операций, ибо отпадает необходимость работы с малыми подачами.

Бюраканская оптико-механическая
лаборатория АН Арм. ССР

Поступило 27.V.1970.

Գ. Ս. ՄԻՆԱՍՅԱՆ

ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ԽՈՐԴՈՒԲՈՐԴՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲՐՄ-1 ՏԻՊԻ ԱՆԴԱԴԱՐ ԿՏՐԻՉՈՎ ՇՐՋԱՏԱՇՆԵԼԻՍ

Ամփոփում

Հոդվածում քննարկվում են БРМ-1 *տիպի անդադար կարիչի կիրառման առանձնահատկությունները՝ միկրոանհարթությունների ձևավորման տեսանկյունից։ Կատարված փորձերի հիման վրա բերված են իրենց ֆիզիկա-տեխնիկական հատկություններով խիստ տարբերվող մետաղների շրջատաշման ժամանակ առաջացող միկրոանհարթությունների իրական բնութագրերը։ Կատարված է այդ տվյալների համադրումը երկու տիպի՝ անդադար և սովորական կտրիչների համար։*

ЛИТЕРАТУРА

1. *Минасян Г. С.* Безвершинный резец БРМ-1. „Машиностроитель", № 6, 1966.
2. *Минасян Г. С.* О некоторых преимуществах безвершинного резца БРМ-1. „Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)", т. XIX, № 3, 1966.
3. *Минасян Г.С.* Определение углов установки при заточке безвершинного резца БРМ-1. „Машиностроитель", № 11, 1967.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXIII, № 4, 1970 Серия технических наук

МАШИНОСТРОЕНИЕ

А. К. ПОГОСЯН

К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ МАСШТАБНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕХОДА ПРИ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ НА ТРЕНИЕ

Наиболее целесообразным путем получения данных о возможности применения конкретной пары трения в конструкции являются испытания на малогабаритных образцах.

В рассматриваемой нами задаче влияние отдельных факторов, представленных различными величинами, проявляется не порознь, а совместно. По сути дела надо рассматривать не эти отдельные величины, а их совокупности, определенные для каждого данного процесса. Если испытания проводятся по одному (стандартному) определяющему параметру, например, температуре (ГОСТ 1786—57, ГОСТ 1786—66, РТМ 6-60), сопротивлению тепловому удару (теплоимпульсное трение), сопротивлению микрорезанию и т. п., то их результаты позволяют только построить сравнительный ряд материалов, оцениваемых только по этому параметру. Однако, применение сравнительного ряда по одному параметру не всегда дает удовлетворительную корреляцию с результатами натурных экспериментов. В таких случаях обычно принято считать, что не был учтен масштабный фактор, и это приводит к осуществлению различных видов фрикционной связи [1] на модели и натуре. Для того, чтобы учесть влияние масштабного фактора, необходимо и достаточно найти масштабные коэффициенты перехода от натуры к модели для каждого параметра, влияющего на процесс трения. Эти коэффициенты могут быть получены методами теории подобия и размерностей [2, 3]. Во многих случаях они представляют собой эффективное средство физического анализа.

Так как полное дифференциальное уравнение процесса трения пока не известно, то уравнения связи можно получить на основании рассмотрения модели процесса. На основе имеющихся зависимостей [1], статистики опытных данных и основных физических моделей [4] были установлены основные параметры, определяющие трение при повторно-кратковременном режиме торможений [5]. В табл. 1 приведены все эти параметры с их обозначениями, единицами измерения, символами и размерностью [3, 4].

По методике, разработанной проф. В. А. Вениковым [3] на базе π-теоремы анализа размерностей, находим критерии подобия. Приведем общую систему критериев подобия для процесса внешнего трения при повторно-кратковременном режиме торможений [5]:

Таблица 1

Наименование параметра	Определяющее уравнение и обозначения	Единица измерения	Символ	Размерность
Масса	$m_{1,2}$	килограмм	M	*кг*
Плотность	$\rho_{1,2,3}$	килогр. на куб. метр	ML^{-3}	*кг. м*$^{-3}$
Отношение теплоотдающей поверхности к теплопоглощающему объему элемента пары	$S_{1,2}=\frac{A\alpha_{1,2}}{V_{1,2}}$	квадратн. метр на куб. метр	L^{-1}	*м*$^{-1}$
Номинальная площадь трения	$A_{a_{1,2}}$	квадратн. метр	L^2	*м*^{2}
Радиус единичной неровности	$r_{1,2}$	метр	L	*м*
Максимальная высота неровности шероховатой поверхности	$h_{1,2}$	метр	L	*м*
Модуль упругости	$E_{1,2}=\frac{\sigma}{\varepsilon}$	ньютон на квадратн. метр	$ML^{-1}T^{-2}$	*кг. м*$^{-1}$*сек*$^{-2}$
Предел текучести (твердости)	$\Pi_{1,2}=\frac{m_{1,2}\omega}{A_{a_{1,2}}}$	ньютон на квадратн. метр	$ML^{-1}T^{-2}$	*кг. м*$^{-1}$*сек*$^{-2}$
Сопротивление сдвигу (срезу) пленок на поверхности трения	$\tau_{пл_{1,2}}=\frac{\tau}{\gamma}$	ньютон на квадратн. метр	$ML^{-1}T^{-2}$	*кг. м*$^{-1}$*сек*$^{-2}$
Нагрузка на пару трения	$P=m\omega$	ньютон	MLT^{-2}	*кг. м сек*$^{-2}$
Скорость	$v=\frac{\Delta L}{\Delta t}$	метр на секунду	LT^{-1}	*м.сек*$^{-1}$
Ускорение	$\omega=\frac{\Delta v}{\Delta t}$	метр на секунду в квадр.	LT^{-2}	*м.сек*$^{-2}$
Продолжительность трения	t	секунда	T	*сек*

1	2	3	4	5
Температурная разность между температурой элемента и температурой среды	$\Delta\theta_{1,2}=\theta_{1,2}-\theta_3$	градус Кельвина	Θ	*град*
Коэффициент теплопроводности	$\lambda_{1,2,3}=\frac{Q\Delta L}{tA_n\Delta\theta}$	ватт на метр	$MLT^{-3}\Theta^{-1}$	*кг. м. сек*$^{-3}$ *град*$^{-1}$
Удельная теплоемкость	$c_{1,2,3}=\frac{Q}{m\Delta\theta}$	джоуль на килограмм градус	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	*м*^{2}. *сек*$^{-2}$ *град*$^{-1}$
Динамическая вязкость	$\eta_{1,2,3}=\frac{F\Delta L}{A_n\Delta\theta}$	ньютон сек. на квадрат. метр	$ML^{-1}T^{-1}$	*кг. м*$^{-1}$*сек*$^{-1}$
Ускорение подъемной силы среды	$g\beta$	метр на сек. квадрат градус	$LT^{-2}\Theta^{-1}$	*м. сек*$^{-2}$*град*$^{-1}$
Коэффициент теплоотдачи	$\alpha_{1,2}=\frac{\Phi}{A_n\Delta\theta}$	ватт на квадр. метр градус	$MT^{-3}\Theta^{-1}$	*кг. сек*$^{-3}$*град*$^{-1}$
Температурный градиент	$\frac{d\theta_{1,2}}{dn_{1,2}}$	градус на метр	$L^{-1}\Theta$	*м*$^{-1}$*град*
Заданная работа трения	$W_{тр}$	джоуль	ML^2T^{-2}	*кг. м*^{2}*сек*$^{-2}$
Коэффициент линейного расширения материалов пары трения	$\alpha_{1,2}=\frac{\Delta L}{L\Delta\theta}$	градус в минус первой степени	Θ^{-1}	*град*$^{-1}$
Работа, накопленная в элементах пары трения и окружающей среды, в виде тепла	$W_{н1,2,3}=\frac{W_{тр}mc}{kA_{вен}t_{охл}}$	джоуль	ML^2T^{-2}	*кг. м*^{2} *сек*$^{-2}$

Примечание: индекс 1 относится к одному элементу, индекс 2 — к другому элементу пары трения, индекс 3 — к окружающей среде.

$$\frac{m_1 m_2 v^4}{P^2 A_{a_1}^{1/2} A_{a_2}^{1/2}};\quad \frac{\rho_1\rho_2\rho_3 v^6 A_{a_1}^{3/2} A_{a_2}^{3/2}}{P^3};\quad S_1 S_2 A_{a_1}^{1/2} A_{a_2}^{1/2};\quad \frac{r_1 r_2}{A_{a_1}^{1/2} A_{a_2}^{1/2}};\quad \frac{h_1 h_2}{A_{a_1}^{1/2} A_{a_2}^{1/2}};$$

$$\frac{E_1 E_2 A_{a_1} A_{a_2}}{P^2};\quad \frac{\Pi_1 \Pi_2 A_{a_1} A_{a_2}}{P^2};\quad \frac{\tau_{n1}\tau_{n2} A_{a_1} A_{a_2}}{P^2};\quad \omega A_{a_1}^{1/4} A_{a_2}^{1/4};$$

$$\frac{lv}{A_{a_1}^{1/4} A_{a_2}^{1/4}};\quad \frac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3 \Delta\theta_1^{1/2}\Delta\theta_2^{1/2} A_{a_1}^{1/4} A_{a_2}^{1/4}}{P^3 v^3};\quad \frac{c_1 c_2 c_3 \Delta\theta_1^{3/2}\Delta\theta_2^{3/2}}{v^6};\quad \frac{\tau_1\tau_2\tau_3 v^3 A_{a_1}^{1/4} A_{a_2}^{1/4}}{P^3}; \tag{1}$$

$$\frac{(g\beta) A_{a_1}^{1/4} A_{a_2}^{1/4} \Delta\theta_1^{1/2}\Delta\theta_2^{1/2}}{v^2};\quad \frac{\sigma_1\sigma_2 A_{a_1} A_{a_2} \Delta\theta_1\Delta\theta_2}{P^2 v^2};\quad \frac{\operatorname{grad}\theta_1 \operatorname{grad}\theta_2 A_{a_1}^{1/2} A_{a_2}^{1/2}}{\Delta\theta_1\Delta\theta_2};$$

$$\frac{W_{n1}}{P A_{a_1}^{1/4} A_{a_2}^{1/4}};\quad \alpha_1\alpha_2\Delta\theta_1\Delta\theta_2;\quad \frac{W_{n1} W_{n2} W_{n3}}{P^3 A_{a_1}^{1/2} A_{a_2}^{1/2}}.$$

Путем известных преобразований из этой системы можно определить группы безразмерных выражений [3]. Группы безразмерных выражений получены таким образом, что в них входят параметры, характеризующие тот или иной основной процесс при трении. Такой способ группирования параметров для других процессов рекомендуется в работах [6, 7]. Целесообразность такого способа группирования показала и экспериментальная проверка [4].

В данном случае получены следующие безразмерные выражения (критерии):

теплофизический критерий

$$K_1 = \frac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3 \operatorname{grad}\theta_1 \operatorname{grad}\theta_2}{c_1 c_2 c_3 \rho_1\rho_2\rho_3} \cdot \frac{W_{n1} W_{n2} W_{n3}}{P^3 v^4 A_{a_1} A_{a_2} \Delta\theta_1\Delta\theta_2}; \tag{2}$$

критерий теплопередачи

$$K_2 = \frac{\sigma_1\sigma_2}{(g\beta)l} \cdot \frac{A_{a_1} A_{a_2} \Delta\theta_1^{1/2}\Delta\theta_2^{1/2}}{P^2 v}; \tag{3}$$

физико-механический критерий

$$K_3 = \frac{E_1 E_2 \tau_{n1}\tau_{n2}}{\Pi_1\Pi_2\alpha_1\alpha_2 W_{n1}} \cdot \frac{A_{a_1}^{1/2} A_{a_2}^{1/2} P^2}{v^4}; \tag{4}$$

критерий макро- и микрогеометрии контактирования

$$K_4 = \frac{S_1 S_2 r_1 r_2}{h_1 h_2} \cdot A_{a_1}^{1/2} A_{a_2}^{1/2}; \tag{5}$$

динамический критерий

$$K_5 = m_1 m_2 \omega\alpha_1\alpha_2 \frac{v^2 \Delta\theta_1\Delta\theta_2}{P^2 A_{a_1}^{1/4} A_{a_2}^{1/4}}. \tag{6}$$

Функцию коэффициента трения для натуры можно записать так [4]:

$$f = f_1(K_1, K_2, K_3, K_4, K_5).$$

При моделировании процесса внешнего трения необходимо, согласно первой теореме теории подобия, чтобы для лабораторного об-

разца (модели) и натуры указанные выше критерии были равны, то есть:

$$K_1' = K_1;\ K_2' = K_2;\ K_3' = K_3;\ K_4' = K_4;\ K_5' = K_5, \tag{7}$$

где символы со штрихом относятся к модели.

Критерии подобия запишем в симплексной форме:

$$\frac{C_A C_{grad\theta} C_{W'n}}{C_t C_v C_p^3 C_\lambda' C_a C_{S\theta}} = 1;\quad \frac{C_a C_a C_{S\theta}^{1/2}}{C_{(R\theta)} C_t C_p^2 C_v} = 1; \tag{8}$$

$$\frac{C_E C_v C_a^{1/2} C_p^2}{C_a C_{\cdot} C_{W'n} C_\lambda^3} = 1;\quad \frac{C_v C_r C_a^{1/2}}{C_h} = 1;\quad \frac{C_m C_m C_p C_a^3 C_{S\theta}}{C_p^2 C_a^{1/1}} = 1,$$

где

$$C_A = \frac{A_1' A_2' A_3'}{A_1 A_2 A_3};\quad C_a = \frac{A_{a_1}' A_{a_2}'}{A_{a_1} A_{a_2}} \quad \text{и т. д.}$$

Прологарифмировав критерии системы (8), получим систему из 5-ти линейных уравнений, где свободными членами являются симплексы номинальной площади касания C_a.

В результате решения системы уравнений относительно C_a, после потенцирования, были получены масштабные коэффициенты перехода от натуры к модели для моделирования процесса трения при повторно-кратковременном режиме торможений. Полученные переходные коэффициенты были выражены через комплекс геометрических размеров натуры и модели K_{asv} [4]:

$$K_{asv} = \frac{K_{a1} S_1 S_2 (A_{a_1}')^2}{K_{a1} S_1 S_2 A_{a_1}^2}, \tag{9}$$

где K_{a1} — коэффициент взаимного перекрытия трущихся поверхностей.

В табл. 2 приведены полученные масштабные коэффициенты перехода для трех вариантов с различными начальными условиями.

Таблица 2

Варианты	Масштабные коэффициенты перехода						
	C_m	C_p	C_v	$C_{W'n}$	$C_{W'n}$	C_λ	C_t
I	$K_{asv}^{-2.3}$	1	$K_{asv}^{2.3}$	$K_{asv}^{-5.3}$	$K_{asv}^{0.7}$	$K_{asv}^{-1.0}$	1
II	$K_{asv}^{5.6}$	$K_{asv}^{-1.3}$	1	K_{asv}	$K_{asv}^{5.3}$	$K_{asv}^{-1.3}$	1
III	$K_{asv}^{4.6}$	1	1	$K_{asv}^{4.3}$	$K_{asv}^{2.3}$	$K_{asv}^{-1.3}$	$K_{asv}^{2.3}$

При лабораторных испытаниях на трение, для режима повторно-кратковременных торможений, следует учесть также переходные коэффициенты частоты торможений и суммарного времени рабочего цикла [8].

С учетом масштабного фактора, на лабораторных образцах, с достаточной точностью можно воспроизводить процесс внешнего трения реальных объектов [5, 8].

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 4.III.1970.

Ա. Կ. ՊՈՂՈՍՅԱՆ

ՇՓՄԱՆ ԼԱՅՈՐԱՏԻՊ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿ ԱՆՑՄԱՆ ՄԱՍՇՏԱԲԱՅԻՆ ԳՈՐԾԱԿԻՑՆԵՐԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՋԸ

Ամփոփում

Նմանության և չափայնության տեսության ապարատի օգտագործմամբ դիտարկված է փոքր ծավալաչափի փորձանմուշները շփման փորձարկելիս նատուրայից մոդելին անցնելու մասշտաբային գործակիցներ ստանալու հարցը՝ կարճատև-կրկնվող աշխատանքային ռեժիմի դեպքում: Բերված է նմանության չափանիշների ընդհանուր սիստեմը, որն ստացված է չափայնության վերլուծության π-թեորեմի հիման վրա: Որոշված են չափայնություն չունեցող արտահայտությունների (չափանիշների) խմբերը, ստացված այնպես, որ նրանց մեջ մտնում են շփման ժամանակ այս կամ այն հիմնական պրոցեսը բնութագրող պարամետրերը: Ստացված են անցման մասշտաբային գործակիցները արտահայտված նատուրայի և մոդելի երկրաչափական չափերի կոմպլեքսով:

ЛИТЕРАТУРА

1. *Крагельский И. В.* Трение и износ. Изд. „Машиностроение", 1968.
2. *Седов Л. И.* Методы подобия и размерности в механике. Изд. „Наука", 1967.
3. *Веников В. А.* Теория подобия и моделирование. Изд. „Высшая школа", 1966.
4. *Чичинадзе А. В.* Расчет и исследование внешнего трения при торможении. Изд. „Наука", 1967.
5. *Браун Э. Д., Погосян А. К.* Применение теории подобия и размерности для моделирования трения при повторно-кратковременном фрикционном тепловом нагружении. Сб. докладов пятой межвузовской конференции по физическому и математическому моделированию „Применение цифрового моделирования", МЭИ, 1968.
6. *Ильюшин А. А.* О состоянии и приложениях к процессам обработки металлов давлением общей теории пластичности. Сб. „Инженерные методы расчета технологических процессов обработки металлов давлением", ЦНИИЧЕРМЕТ, 1963.
7. *Шорин С. Н.* Теплопередача. Госстройиздат, 1952.
8. *Погосян А. К.* Моделирование процесса внешнего трения колодочных тормозов подъемно-транспортных машин. „Вестник машиностроения", № 11, 1968.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXIII, № 4, 1970 Серия технических наук

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Т. П. АСАТРЯН

РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЦЕПИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ, СОДЕРЖАЩЕЙ АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

С появлением полупроводниковых управляемых вентилей началось интенсивное развитие преобразовательной техники. Разрабатывается много схем управлений, преобразователей и т. п. [1]. Появление новых схем приводит к развитию методов их аналитического и экспериментального исследования. Существует множество работ, рассматривающих переходные процессы в преобразовательных цепях с тиристорами. В работах [2, 3] приводится расчет переходных процессов в цепи вентильного преобразователя, содержащей индуктивности и э. д. с. Расчет ведется методом разностных уравнений. При этом получено решение для дискретных значений токов. В [4] приведен расчет токов обратных зажиганий в трехфазной однотактной преобразовательной схеме. Здесь также расчет ведется методом разностных уравнений.

Если преобразователь работает с постоянным углом зажигания (α_0) управляемых вентилей, то в нем процессы повторяются через равные промежутки времени [2, 3]. Внутри каждого промежутка имеются две зоны. В первой зоне одновременно работают два вентиля, а во второй—только один. Причем, ширина этих зон меняется в течение переходного процесса. При расчете переходного процесса необходимо учесть эту особенность. В работах [2, 3] удается обойти эту особенность ценой исключения из цепи нагрузки активного сопротивления. При наличии R решение методом разностных уравнений было бы весьма затруднительным.

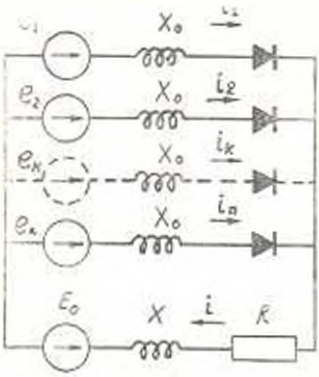

Рис. 1. Схема преобразователя.

В настоящей работе приводится расчет переходного процесса для усложненной цепи, где последовательно с нагрузкой подключено сопротивление R (рис. 1). Расчет ведется по методике, предложенной Ф. А. Григоряном [5]. Отметим, что эту задачу можно решить также методом припасовывания решений (метод кусочно-линейной аппроксимации). Однако такое решение весьма громоздко и не позволяет

получить аналитического выражения искомых токов в зависимости от времени.

Для общности решения примем, что на нагрузку E_0; R; X работает симметричный n-фазный генератор с э. д. с. $e_1, e_2, e_3, \cdots, e_k, \cdots, e_n$, где

$$e_k = E_m \sin\left[\tau - \frac{2\pi}{n}(k-1)\right].$$

На рис. 2 приведены кривые э. д. с. $e_1, e_2, \cdots, e_n$ и токов для $(k-1)$-го и k-го фаз.

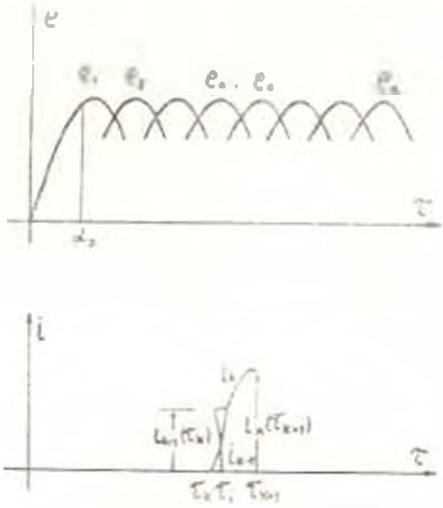

Рис. 2. Кривые э. д. с. и токов за k-ый полупериод.

Запишем уравнения цепи, когда одновременно работают $(k-1)$-ый и k-ый вентили, иными словами для промежутка $[\tau_k, \tau]$

$$\left.\begin{aligned} & i = i_{k-1} + i_k \\ & e_{k-1} = E_0 - U_a = X_0 \frac{di_{k-1}}{d\tau} + Ri + X\frac{di}{d\tau} \\ & e_k = E_0 - U_a = X_0 \frac{di_k}{d\tau} + Ri + X\frac{di}{d\tau} \end{aligned}\right\}. \qquad (1)$$

При условии: $i_{k-1} = i_{k-1}(\tau_k)$; $i_k(\tau_k) = 0$, когда $\tau = \tau_k = \alpha_0 + \frac{2\pi}{n}(k-1)$, из системы (1) находим:

$$i_k - i_{k-1} = \frac{2E_m \sin\frac{\pi}{n}}{X_0}\left\{\sin\left(\alpha_0 + \frac{\pi}{n}\right) - \sin\left[\tau - \frac{2\pi}{n}(k-1) + \frac{\pi}{n}\right]\right\} - i_{k-1}(\tau_k); \qquad (2)$$

$$i_k + i_{k-1} = \frac{2E_m \cos\frac{\pi}{n}}{\sqrt{(X_0+2X)^2+(2R)^2}}\left[\sin\left(\tau - \frac{2\pi}{n}(k-1) + \frac{\pi}{n} - \varphi\right) - e^{-\frac{2R}{X_0+2X}(\tau-\tau_k)}\sin\left(\alpha_0 + \frac{\pi}{n} - \varphi\right)\right] - \frac{E_0+U_\partial}{R}\left[1 - e^{-\frac{2R}{X_0+2X}(\tau-\tau_k)}\right] + i_{k-1}(\tau_k)\, e^{-\frac{2R}{X_0+2X}(\tau-\tau_k)}, \quad (3)$$

где $\operatorname{tg}\varphi = \frac{X_0+2X}{2R}$; $\alpha_0 > \frac{\pi(n-2)}{2n}$ — угол зажигания вентилей. Взяв разность уравнений (3) и (2), определим время коммутации $\Delta\tau_l = \tau_l - \tau_k$.

При определении $\Delta\tau_l$ считаем, что за все время переходного процесса $\Delta\tau_l$ остается малым, чтобы можно было заменить $\sin\Delta\tau_l \approx \Delta\tau_l$, $\cos\Delta\tau_l \approx 1$ и $e^{-\frac{2R}{X_0+2X}\Delta\tau_l} \approx 1 + \frac{2R}{X_0+2X}\Delta\tau_l$. При таком допущении и при $\tau = \tau_l$ выражение для $\Delta\tau_l$ имеет вид:

$$\Delta\tau_l = \frac{X_0(X_0+2X)i_{k-1}(\tau_k)}{X_0(E_0+U_\partial) - X_0E_m\sin\left(\alpha_0 + \frac{2\pi}{n}\right) - 2XE_m\sin\frac{\pi}{n}\cos\left(\alpha_0 + \frac{\pi}{n}\right)}. \quad (4)$$

Складывая (2) и (3) и взяв $\tau = \tau_l$, находим значение i_k в точке τ_l:

$$i_k(\tau_l) = \frac{E_m\cos\frac{\pi}{n}\sin\left(\alpha_0 + \frac{\pi}{n}\right)}{X_0+2X}\Delta\tau_l - \frac{E_0+U_\partial}{X_0+2X}\Delta\tau_l - \frac{E_m\sin\frac{\pi}{n}\cos\left(\alpha_0+\frac{\pi}{n}\right)}{X_0}\Delta\tau_l - \frac{2R}{X_0+2X}i_{k-1}(\tau_k)\Delta\tau_l. \quad (5)$$

В промежутке $[\tau_l, \tau_{l+1}]$ ток $i_{k-1} = 0$, а выражение для i_k имеет вид:

$$i_k(\tau) = \frac{E_m}{\sqrt{(X_0+X)^2+R^2}}\left[\sin\left(\tau - \frac{2\pi}{n}(k-1) - \varphi\right) - e^{-\frac{R}{X_0+X}(\tau-\tau_l)} \times \sin\left(\tau_l - \frac{2\pi}{n}(k-1) - \varphi\right)\right] - \frac{E_0+U_\partial}{R}\left[1 - e^{-\frac{R}{X_0+X}(\tau-\tau_l)}\right] + i_k(\tau_l)\, e^{-\frac{R}{X_0+X}(\tau-\tau_l)}, \quad (6)$$

где $\operatorname{tg}\varphi = \frac{X_0+X}{R}$.

Используя (4) и (5) и принимая $\tau = \tau_{l+1}$, выражение (6) примет вид:

$$i_k(\tau_{k-1}) = \frac{E_m}{\sqrt{(X_0+X)^2+R^2}}\left[\sin\left(\alpha_0+\frac{2\pi}{n}-\varphi\right)-e^{-\frac{2\pi R}{n(X_0+X)}}\times\right.$$

$$\times\sin(\alpha_0-\varphi)\Big]-\frac{E_0+U_\partial}{R}\left[1-e^{-\frac{2\pi R}{n(X_0+X)}}\right]-$$

$$-e^{-\frac{2\pi R}{n(X_0+X)}}\left[\frac{E_m\sin\alpha_0-E_0-U_\partial}{X_0+X}+\frac{E_0+U_\partial}{X_0+2X}+\right.$$

$$\left.+\frac{2XE_m\sin\frac{\pi}{n}\cos\left(\alpha_0+\frac{\pi}{n}\right)-X_0E_m\sin\alpha_0}{X_0(X_0+2X)}\right]\times$$

$$\times\frac{X_0(X_0+2X)}{X_0(E_0+U_\partial)-X_0E_m\sin\left(\alpha_0+\frac{2\pi}{n}\right)-2XE_m\sin\frac{\pi}{n}\cos\left(\alpha_0+\frac{\pi}{n}\right)}\times$$

$$\times i_{k-1}(\tau_k)-e^{-\frac{2\pi R}{n(X_0+X)}}\left[\frac{R(E_0+U_\partial)-RE_m\sin\alpha_0}{(X_0+X)(X_0+2X)}+\right.$$

$$\left.+\frac{RE_m\cos(\alpha_0-\varphi)}{(X_0+X)\sqrt{(X_0+X)^2+R^2}}+\frac{2RXE_m\sin\frac{\pi}{n}\cos\left(\alpha_0+\frac{\pi}{n}\right)}{X_0(X_0+X)(X_0+2X)}\right]\times$$

$$\times\left[\frac{X_0(X_0+2X)}{X_0(E_0+U_\partial)-X_0E_m\sin\left(\alpha_0+\frac{2\pi}{n}\right)-2XE_m\sin\frac{\pi}{n}\cos\left(\alpha_0+\frac{\pi}{n}\right)}\right]^2\times$$

$$\times i_{k-1}^2(\tau_k). \tag{7}$$

Прирост тока в цепи за k-ый полупериод будет:

$$\Delta i_{k-1} = i_k(\tau_{k-1}) - i_{k-1}(\tau_k). \tag{8}$$

Подставляя в (8) значение тока $i_k(\tau_{k-1})$ из (7), получим:

$$\Delta i_{k-1} = A - Bi_{k-1} - Ci_{k-1}^2. \tag{9}$$

Разделив обе части уравнения (9) на $2\pi/n$ и опуская индекс $k-1$, получим:

$$\frac{\Delta i}{2\pi/n} = a - bi - ci^2, \tag{10}$$

где

$$a = \frac{nE_m}{2\pi\sqrt{(X_0+X)^2+R^2}}\left[\sin\left(\alpha_0+\frac{2\pi}{n}-\varphi\right)-e^{-\frac{2\pi R}{n(X_0+X)}}\sin(\alpha_0-\varphi)\right]-$$

$$-\frac{n(E_0+U_\partial)}{2\pi R}\left[1-e^{-\frac{2\pi R}{n(X_0+X)}}\right];$$

$$b = \frac{nX_0 e^{-\frac{2\pi R}{n(X_0+X)}}}{2\pi\left[X_0(E_0+U_0) - X_0E_m\sin\left(\alpha_0+\frac{2\pi}{n}\right) - 2XE_m\sin\frac{\pi}{n}\cos\left(\alpha_0+\frac{\pi}{n}\right)\right]} \times$$

$$\times\left[\frac{(X_0+2X)E_m\sin\alpha_0 - X(E_0-U_0)}{(X_0+X)} + \right.$$

$$\left. + \frac{2XE_m\sin\frac{\pi}{n}\cos\left(\alpha_0+\frac{\pi}{n}\right) - X_0E_m\sin\alpha_0}{X_0}\right] + \frac{n}{2\pi};$$

$$c = \frac{nX_0(X_0+2X)^2 e^{-\frac{2\pi R}{n(X_0+X)}}}{2\pi(X_0+X)\left[E_0+U_0 - E_m\sin\left(\alpha_0+\frac{2\pi}{n}\right) - \frac{2X}{X_0}E_m\sin\frac{\pi}{n}\cos\left(\alpha_0+\frac{\pi}{n}\right)\right]} \times$$

$$\times\left[\frac{R(E_m\sin\alpha_0+E_0+U_0)}{X_0+2X} + \frac{2RXE_m\sin\frac{\pi}{n}\cos\left(\alpha_0+\frac{\pi}{n}\right)}{X_0(X_0+2X)} + \right.$$

$$\left. + \frac{RE_m\cos(\alpha_0-\varphi)}{\sqrt{(X_0+X)^2+R^2}}\right].$$

ПА-13101

Так как время переходного процесса значительно превышает время полупериода $2\pi/n$, то левую часть уравнения (10) можно заменить производной

$$\frac{di}{d\tau} = a - bi - ci^2. \tag{11}$$

Решение нелинейного уравнения (11) с учетом начальных условий $i = i_0$ при $\tau = 0$ имеет вид:

$$i = \frac{\left[\sqrt{b^2-4ac}-b\right]\left[\sqrt{b^2+4ac}+2ci_0+b\right]e^{-\sqrt{b^2+4ac}}}{2c\left[\sqrt{b^2+4ac}-2ci_0-b+(\sqrt{b^2+4ac}+2ci_0+b)e^{-\sqrt{b^2+4ac}}\right]} -$$

$$-\frac{\left[\sqrt{b^2+4ac}+b\right]\left[\sqrt{b^2+4ac}-2ci_0-b\right]}{2c\left[\sqrt{b^2+4ac}-2ci_0-b+(\sqrt{b^2+4ac}+2ci_0+b)e^{-\sqrt{b^2+4ac}}\right]}. \tag{12}$$

Из уравнения (12) можно найти установившееся значение тока:

$$i_{уст} = \frac{\sqrt{b^2+4ac}-b}{2c}. \tag{13}$$

Уравнение (12) описывает огибающую дискретных значений тока в коммутационных точках.

При отсутствии в цепи нагрузки активного сопротивления формула (11) превращается в

$$\frac{di}{d\tau} = a' - b'i, \tag{14}$$

где

$$a' = \frac{nE_m}{2\pi(X_0+X)}\left[\cos\alpha_0 - \cos\left(\alpha_0 + \frac{2\pi}{n}\right)\right] - \frac{E_0 + U_0}{X_0 + X};$$

$$b' = \frac{nX_0}{2\pi\left[X_0(E_0+U_0) - X_0E_m\sin\left(\alpha_0+\frac{2\pi}{n}\right) - 2XE_m\sin\frac{\pi}{n}\cos\left(\alpha_0+\frac{\pi}{n}\right)\right]} \times$$

$$\times \frac{(X_0+2X)E_m\sin\alpha_0 - X(E_0+U_0)}{(X_0+X)} +$$

$$+ \frac{2XE_m\sin\frac{\pi}{n}\cos\left(\alpha_0+\frac{\pi}{n}\right) - X_0E_m\sin\alpha_0}{X_0}\Bigg] + \frac{n}{2\pi}.$$

Решение уравнения (14) с учетом начальных условий $i = i_0$ при $\tau = 0$ имеет вид:

$$i = \frac{a'}{b'}[1 - e^{-b'\tau}] + i_0e^{-b'\tau}. \tag{15}$$

Из (15) находим установившееся значение тока:

$$i_{уст} = a'/b'. \tag{16}$$

Рассмотрим численный пример при следующих значениях параметров: $n = 3$; $E_m = 220$ *в*; $E_э = 135$ *в*; $U_0 = 5$ *в*; $X_0 = 4$ *ом*; $X = 8$ *ом*; $R = 2$ *ом*; $\alpha_0 = 45°$; $i_0 = 0$.

Значения токов в цепи нагрузки в коммутационных точках, вычисленные по формуле (12), приведены в табл. 1.

Таблица 1

τ в *рад*	0	2,878	4,971	7,064	9,157	11,250	∞
$i(\tau)$ в *а*	0	5,090	6,390	6,840	7,008	7,062	7,090

Значения токов в коммутационных точках при отсутствии в цепи нагрузки R, вычисленные по формуле (15) настоящей работы и по формуле (12 а) работы [3], приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

τ в *рад*	0	2,878	4,971	7,064	9,157	11,250	∞
$i(\tau)$ в *а*	0	6,590	9,677	11,837	13,259	14,341	16,486

Таблица 3

n	0	1	2	3	4	5	∞
$i(n)$ в a	0	5,547	9,245	11,650	13,306	14,445	16,642

Кривые переходных токов, построенные по данным таблиц 1 и 2, приведены на рис. 3. Там же нанесены точки по данным табл. 3. Как видно из рис. 3, полученные результаты дают хорошую сходимость.

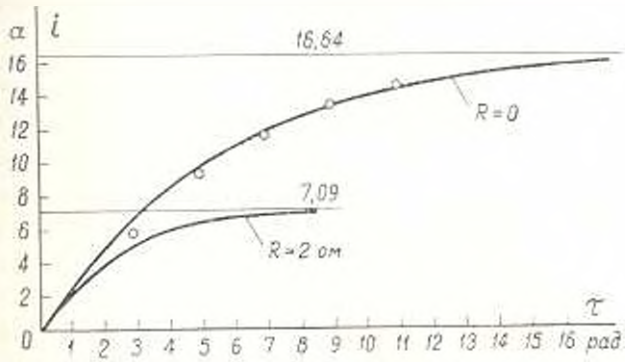

Рис. 3. Кривые переходного процесса к численному примеру.

Выводы

1. Предлагаемый метод расчета позволяет представить решение в непрерывной форме, что удобно при анализе, а также сравнительно легко получить формулу переходного процесса при наличии в цепи нагрузки активного сопротивления.

2. Полученная связь между шириной зоны коммутации и током в цепи указывает на увеличение коммутационного времени с ростом тока.

3. Введенное активное сопротивление в цепи нагрузки приводит к быстрому установлению тока.

Арм НИИЭ

Поступило 20.XII.1969.

Թ. Պ. ՍՈՍԼՊԵՏՅԱՆ

ԱՆՑՈՒՄԱՅԻՆ ՊՐՈՑԵՍԻ ՀԱՇՎԱՐԿՈՒՄԸ ԱԿՏԻՎ ԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅՈՒՆ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՂ ԿԵՐՊԱՓՈԽԻՉԻ ՇՂԹԱՅՈՒՄ

Ամփոփում

Հոդվածում քննարկվում է կերպափոխիչի շղթայում անցումային պրոցեսի հաշվարկման հարցը, երբ շղթան պարունակում է նաև ակտիվ դիմադրություն։ Ենթադրվում, որ անցումային պրոցեսի ժամանակամիջոցի համեմա-

տարբեր կոմուտացիայի ժամանակամիջոցը չնչին մեծություն է, խնդիրը բերվում է բուսակուսային բնութագիր ունեցող հոսանքի ոչ-գծային դիֆերենցիալ հավասարման ինտեգրմանը, որն ունի ճշգրիտ լուծում։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Толстов Ю. Г.* Полупроводниковые преобразователи в энергетике. „Известия АН СССР. Энергетика и транспорт", № 5, 1964.
2. *Поссе А. В.* Расчет переходных процессов в системе „выпрямитель-реактор-встречная э. д. с.". „Известия АН СССР. Энергетика и транспорт", № 1, 1964.
3. *Нейман Р. А., Поссе А. В., Слоним М. А.* Метод расчета переходных процессов в цепях, содержащих вентильные преобразователи, индуктивности и э. д. с.". „Электричество", № 12, 1966.
4. *Слоним М. А.* Применение метода разностных уравнений для расчета обратных сжиганий в преобразовательных установках. „Известия АН СССР. Энергетика и транспорт", № 5, 1964.
5. *Григорян Ф. А.* Параметрон на индуктивностях со ступенчатыми зависимостями тока. „Известия ВУЗ. Радиоэлектроника", т. X, № 3, 1967.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXIII, № 4, 1970 Серия технических наук

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

С. К. БОХЯН

К РАСЧЕТУ МНОГОФАЗНОГО САМОВОЗБУЖДАЮЩЕГОСЯ ИНДУКЦИОННОГО ГЕНЕРАТОРА

В последние годы все чаще приходится сталкиваться с необходимостью оценки возможностей индукционных генераторов, возбуждаемых от конденсаторов. Существующая литература не дает необходимого материала для достоверного расчета генераторов, что отрицательно сказывается на их развитии и практическом применении. Это привело к необходимости разработки методики расчета, которая основывалась бы на общепринятой методике расчета асинхронных двигателей (ВНИИЭМ, 1954 г.) и давала бы хорошую сходимость с экспериментом.

В статье приведены некоторые расчетные формулы, характерные для индукционных генераторов, и краткие пояснения к ним, которые, как правило, касаются только новых формул. Обозначения часто встречающихся величин приведены ниже.

1. Расчетная э. д. с. холостого хода:

$$E = U\left(1 - \frac{c^2 p^2}{D_i Z_1}\right),$$

где $c = 12$ в случае полузакрытых пазов статора и $c = 5$ в случае открытых пазов статора.

При пренебрежении падением напряжения на активном сопротивлении, э. д. с. холостого хода индукционного генератора равна:

$$E = U - I_m x_1 = U\left(1 - \bar{x}_1 \frac{I_m}{I_1}\right),$$

где $\bar{x}_1$ — сопротивление рассеяния статора в относительных единицах

$$\bar{x}_1 \frac{I_m}{I_1} = \frac{0{,}32\, m k_m k_c}{f \bar{\tau}_w} \frac{p^2}{D_i Z_1}.$$

Принимая $c = 0{,}32 m k_m k_c / f \bar{\tau}_w \approx 12$ для полузакрытых пазов статора и $c \approx 5$ для открытых пазов, получаем формулы п. 1.

Обозначение	Наименование	Размерность
P	Мощность генератора	*вт*
U, $U_л$	Фазовое и линейное напряжение	*в*
f	Частота	*гц*
I_m	Намагничивающий ток	*а*
D_i	Внутренний диаметр статора	*см*
l_i	Расчетная длина статора	*см*
τ	Полюсное деление	*см*
δ	Воздушный зазор	*мм*
Z_1	Число пазов статора	—
p	Число пар полюсов	—
x_1	Сопротивление рассеяния фазы статора	*ом*
x_2'	Приведенное сопротивление рассеяния ротора	*ом*
r_2'	Приведенное активное сопротивление ротора	*ом*
x_m	Сопротивление намагничивания	*ом*
P_{Cu}	Потери в меди статора	*вт*
P_F	Полные потери в стали статора	*вт*
$P_{C.u}$	Потери в конденсаторах	*вт*
ΣP_0	Добавочные потери холостого хода	*вт*
$\operatorname{tg}\delta$	Тангенс угла потерь в конденсаторах	—
$w_{эф}$	Эффективное число витков фазы статора	—
f_x	Обмоточный коэффициент	—
k_δ	Коэффициент воздушного зазора	—

2. Расчетный магнитный поток:

$$\Phi = \frac{E}{2k w_{эф} f\, 50}\, 10^6 \text{ мкс}.$$

В отличие от формул для асинхронных двигателей, k — коэффициент формы кривой напряжения — определяется по рис. 1 в зависимости от коэффициента насыщения зубцов k_z.

3. Индукция в зазоре и магнитное напряжение зазора:

$$B_\delta = \frac{\Phi}{\tau \cdot l_i} \text{ гс}.$$

В отличие от метода Ф. Пунга, расчет магнитной цепи генераторов

повышенной частоты при величине расчетной индукции в зубцах не более 16—16,5 *кгс* ведется по максимальному значению индукции. α_i — коэффициент уплощения формы кривой поля — определяется в зависимости от коэффициентов насыщения зубцов и спинки (рис. 1).

$$AW_{\delta} = 0{,}08\, B_{\delta} k_c k_p \alpha,$$

где k_p — коэффициент рифления, определение которого дано в [1].

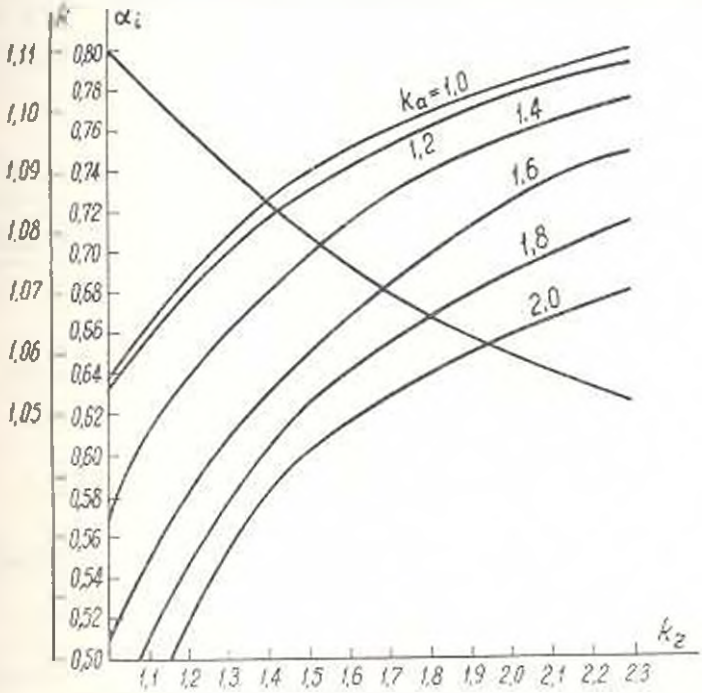

Рис. 1.

4. Магнитное напряжение зубцов статора и ротора

а) *Трапецеидальные зубцы статора:*

$$AW_{z_1} = AW'_{z_1}\gamma,$$

где AW'_{z_1} — магнитное напряжение зубцов, определенное по основной кривой намагничивания и индукции на 1/3 высоты зубца;

γ — отношение величины магнитного напряжения зубцов, определенной методом графического интегрирования, к величине магнитного напряжения, определенной по индукции на 1/3 высоты зубца (рис. 2) [2]. На рис. 2 пунктирные кривые построены с учетом потока, проходящего через паз параллельно зубцу.

б) *Круглые пазы ротора:*

$$AW_{z_2} = AW_{z_{2m}}\xi,$$

где $AW_{z_{2m}}$ — магнитное напряжение зубцов, определенное по индукции в наиболее узком сечении;

$\bar{\xi}$ — отношение величины магнитного напряжения зубцов, определенной методом графического интегрирования, к величине магнитного напряжения, определенной по индукции в наиболее узком сечении (рис. 3) [2].

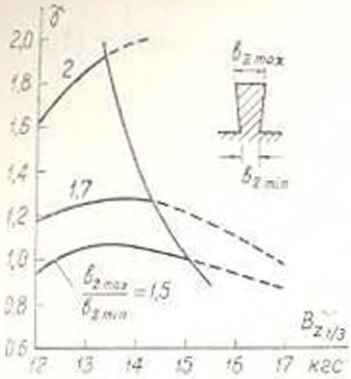

Рис. 2.

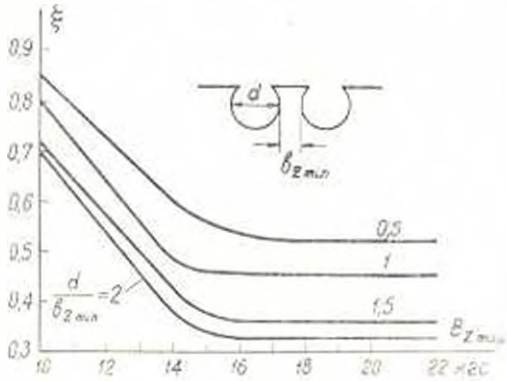

Рис. 3.

5. Коэффициент мощности генератора:

$$\cos\varphi_1 = \frac{I_{1a}}{\sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}}; \quad I_{1p} = I_m \cos\theta$$

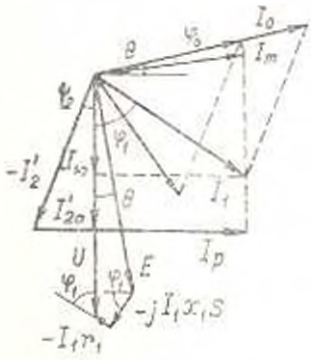

Рис. 4.

$$\cos^2\theta = \frac{1}{1+\operatorname{tg}^2\theta}; \quad \operatorname{tg}\theta = \frac{\bar{x}_1\cos\varphi_1 + \bar{r}_1\sin\varphi_1}{1 - \bar{x}_1\sin\varphi_1 + \bar{r}_1\cos\varphi_1}.$$

Эти формулы получены из векторной диаграммы (рис. 4), построенной при условии неизменности напряжения под нагрузкой. Здесь $\bar{r}_1$ — активное сопротивление обмотки якоря в относительных единицах. Значения $\cos\varphi_1$ и $\cos^2\theta$ можно найти путем 2—3 приближений, первоначально принимая $\cos\varphi_1 = I_{1a} / \sqrt{I_{1a}^2 + I_m^2}$.

6. Реактивный ток, обусловленный рассеянием обмоток генератора:

$$I_L = \left[I_{1a} + I_m\left|\sqrt{1-\cos^2\theta}\right|\right] \frac{x_2 s - r_2 \operatorname{tg}\theta}{r_2 + x_2 s \operatorname{tg}\theta}\, a,$$

где s — абсолютная величина скольжения. Из рис. 4 следует, что $I_L = I_{2a}' \operatorname{tg}(\varphi_2 - \theta)$, а $I_{2a}' = I_{1a} + I_m \sin\theta$; причем $\operatorname{tg}\varphi_2 = x_2 s / r_2'$.

7. Реактивный ток потребления генератора:

$$I_p = I_{1p} + I_L a.$$

8. Реактивный ток конденсаторов:

$$I_R = I_\mu \pm I_{нр}\ a;\ I_{нр} = \frac{P}{mU}\operatorname{tg}\varphi\ a,$$

где $\operatorname{tg}\varphi$ — тангенс угла нагрузки.

9. Емкость фазы батареи конденсаторов:

а) При параллельном включении в m-угольник:

$$C = \frac{I_R\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\varphi}}{4\pi f U_1 \sin\frac{\pi}{m}}\,10^6\ мкф,$$

б) При параллельном включении в m-лучевую звезду:

$$C = \frac{I_R\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\varphi}}{2\pi f U}\,10^6\ мкф.$$

10. Потери в батарее конденсаторов:

а) $P_{C_1} = \dfrac{m}{2\sin\frac{\pi}{m}}\,U_1 I_R \operatorname{tg}\varphi\ вт$; б) $P_{C_2} = mUI_R\operatorname{tg}\varphi\ вт$.

11. Параметры схемы замещения:

$$x_1' = x_1(1+\tau_1)\left(1+\rho_1\frac{r_1}{x_1}\right)(1+\rho_1^2)\ ом;\ x_2' = x_2'(1+\tau_1)^2(1-\rho_1^2)^2\ ом;$$

$$r_2' = r_2'(1+\tau_1)^2(1+\rho_1^2)^2\ ом;\ x_k' = x_1' + x_2'\ ом.$$

Параметры соответствуют схеме замещения с вынесенным на зажимы активным сопротивлением обмотки якоря. Здесь τ_1, ρ_1 — безразмерные коэффициенты; $\tau_1 = \dfrac{x_1}{x_m}$; $\rho_1 = \dfrac{r_1}{x_1 + x_m}$.

12. Полная электромагнитная мощность статора:

$$P_э = -P - (P_{Cu_1} + P_l + P_{Cu_2}) + \sum P_0\ вт.$$

По величине и по знаку $P_э$ соответствует энергетической диаграмме индукционного генератора.

13. Скольжение:

$$s = \frac{r_2'}{x_k'^2}\left[\frac{mU^2}{2P_э} + \sqrt{\left(\frac{mU^2}{2P_э}\right)^2 - x_k'^2}\right].$$

Это выражение следует из квадратного уравнения:

$$s = \frac{P_{\text{сит}}}{P_{\text{э}}} = \frac{mU^2 r_2'}{\left[\left(\frac{r_2'}{s}\right)^2 + x_k'^2\right] P_{\text{э}}}.$$

14. Скольжение при максимальной нагрузке:

$$s_{\text{м}} = -r_2'/x_k.$$

Величина максимального скольжения соответствует максимальной электромагнитной мощности якоря и определена отысканием экстремума функции $P_{\text{э}} = \varphi(s)$.

15. Кратность максимальной нагрузки:

$$K_{\text{м}} = \frac{s_{\text{м}}}{2s}\left[1 + \left(\frac{s}{s_{\text{м}}}\right)^2\right] \approx \frac{s_{\text{м}}}{2s}.$$

В отличие от известной формулы Клосса для ориентировочного определения кратности максимального момента асинхронных двигателей, формула п. 15 устанавливает точное значение кратности максимальной электромагнитной мощности.

16. Критическая емкость

а) При соединении конденсаторов в m-угольник:

$$C_{\text{кр}} = \frac{2{,}25}{4\sin^2\frac{\pi}{m}} \frac{p^2 \delta k_e k_p}{w^2 f_w D_i l_i f^2 (1 + \tau_1)} 10^{11} \text{ мкф/фаза};$$

б) при соединении конденсаторов в m-лученую звезду:

$$C_{\text{кр}} = \frac{2{,}25\, p^2 \delta k_e k_p}{w^2 f_w D_i l_i f^2 (1 + \tau_1)} 10^{11} \text{ мкф/фаза}.$$

17. Критическая скорость вращения:

а) $$n_{\text{кр}} = \frac{9.10^5}{2\sin\frac{\pi}{m} w} \sqrt{\frac{\delta k_e k_p}{10\, C f_w D_i l_i (1 + \tau_1)}} \text{ об/мин};$$

б) $$n_{\text{кр}} = \frac{9.10^5}{w} \sqrt{\frac{\delta k_e k_p}{10\, C f_w D_i l_i (1 + \tau_1)}} \text{ об/мин}.$$

Формулы п. п. 16 и 17 определяют величины, соответствующие началу самовозбуждения. Их вывод дан в [3].

18. Полные реактивные сопротивления фазы обмотки статора и приведенного ротора:

$$x = x_1 + x_m \text{ ом}; \quad x_0 = x_2' + x_m \text{ ом}.$$

19. Входное реактивное сопротивление фазы обмотки статора:

$$x' = x_1 + \frac{x_2' x_m}{x_2' + x_m} \text{ ом.}$$

20. Входное приведенное реактивное сопротивление фазы ротора при закороченном статоре:

$$x_p' = x_2' + \frac{x_1 x_m}{x_1 + x_m} \text{ ом.}$$

21. Постоянная времени фазы обмотки статора при разомкнутой обмотке ротора:

$$T = \frac{x}{\omega_c r_1} \text{ сек,}$$

где $\omega_c = 2\pi f$ — угловая частота в $сек^{-1}$.

22. Постоянная времени обмотки ротора при разомкнутой обмотке статора:

$$T_p = \frac{x_p}{\omega_c r_2'} \text{ сек.}$$

Формулы п. п. 19—22 следуют из схемы замещения индукционного генератора. При выводе формул п. п. 19,20 активные сопротивления приняты равными нулю.

23. Постоянная времени фазы обмотки статора при короткозамкнутом роторе:

$$T' = \frac{x_p'}{x_p} T \text{ сек.}$$

24. Постоянная времени обмотки ротора при короткозамкнутом статоре:

$$T_p' = \frac{x'}{x} T_p \text{ сек.}$$

Между постоянными времени по п. п. 21,22 и п. п. 23,24 имеет место следующая связь.

$$T' = \frac{\sigma x}{\omega_c r_1} = \sigma T = \frac{x'}{x} T = \frac{x_p'}{x_p} T;$$

$$T_p' = \frac{\sigma x_p}{\omega_c r_2'} = \sigma T_p = \frac{x_p'}{x_p} T_p = \frac{x'}{x} T_p,$$

где σ — результирующий коэффициент рассеяния обмоток.

25. Ударный ток симметричного m-фазного короткого замыкания:

$$i_{ну} = \frac{E_1 \sqrt{2}}{x'} \left[e^{-\frac{1}{2fT'}} + \left(1 - \frac{x'}{x_m}\right) e^{-\frac{1}{2fT_p'}} \right] a,$$

где E_1 — э. д. с. предшествующего режима.

26. Действующее значение ударного тока симметричного m-фазного короткого замыкания:

$$I_{ud} = \frac{E_1}{x'} \sqrt{2e^{-\frac{t}{T'}} + \left(1 - \frac{x'}{x_m}\right)^2 e^{-\frac{t}{T_p}}}\ a.$$

Симметричный т. к. з. — $\frac{E_1 (x_m - x')}{x_m x'} e^{-\frac{t}{T_p}}$.

Апериодичный т. к. з. — $\frac{E_1 \sqrt{2}}{x'} e^{-\frac{t}{T'}}$.

Извлекая квадратный корень из суммы квадратов этих токов, получим приведенную выше формулу.

27. Критерий самовозбуждения в режиме холостого хода:

$$T_p > \frac{1}{8 f \ln \frac{2m_0(x - x_0)}{[m_0 x - r(1 - \gamma_0)] - \sqrt{[m_0 x - r(1 - \gamma_0)]^2 - 4r^2 \gamma_0^2}}}.$$

Здесь $m_0 = \frac{1 - \varepsilon}{1 + \varepsilon}$ — максимальная глубина модуляции индуктивности; $x_0 = \frac{x(1 + \varepsilon)}{2}$ — среднее значение индуктивности; $\gamma_0 = \frac{2}{1 + \varepsilon}$; $r = 2\left(r_1 + \frac{P_{ст} - P_{к.х}}{mI_{1}^2}\right)$ *ом* — эквивалентное активное сопротивление; $P_{ст}$, $P_{к.х}$ — соответственно потери в стали статора и в конденсаторах в режиме холостого хода.

Комментарии и вывод формул п. 27 приведены в [4, 5].

Использование разработанной методики для расчета четырех типов индукционных генераторов (охватывающих диапазоны: по мощности — 0.6 — 75 *квт*, по частоте — 400 — 1200 *гц*, скорости вращения — 4000 — 24000 *об/мин*) показывает хорошую сходимость с экспериментом.

ВНИИКЭ

Поступило 5.IX.1969.

Ս. Կ. ԲՈՅԱՆ

ԻՆԳՈՒԿՑԻՈՆ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐԻ ԷՆԵՐԳԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԵԹՈԴԻԿԱՆ

Ամփոփում

Հիմնվելով ասինխրոն շարժիչների հաշվարկի ընդունված մեթոդիկայի վրա, պահպանելով ՎՆԻԻԷՄ-ի *հաշվային նորմալների ձևն ու մանրամասնությունը, մշակված է բազմաֆազ ինքնագրգռման ինդուկցիոն գեներատորի հաշվարկի մեթոդիկա։ Հաշվարկային բանաձևերը տրված են այն տեսքով, որ հնարավոր է դրանց անմիջական օգտագործումը գործնական հաշվարկներում։*

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бохян С. К.* Определение коэффициента воздушного зазора при наличии рифления на поверхности ротора. „Электротехническая промышленность". № 2. 1963.
2. *Oberrell K.* Bulletin Oerlikon. 1959, № 355, s. 66—84.
3. *Бохян С. К.* Определение критических емкости и скорости вращения самовозбуждающихся индукционных генераторов. Сб. „Электротехническая промышленность", вып. № 304, 1968.
4. *Бохян С. К.* Экспериментальное исследование самовозбуждения индукционного генератора. „Электротехника", № 2, 1967.
5. *Бохян С. К.* Самовозбуждение индукционного генератора. Труды ВНИИЭМ, т. 25, 1969.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXIII, № 4, 1970 Серия технических наук

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Д. В. СВЕЧАРНИК, Ю. М. ГАСПАРЯН, Т. А. НАЛЧАДЖЯН

АДАПТИВНЫЙ ПОИСК ОПТИМУМА НОМИНАЛА

Метод оптимума номинала [1] является удобным средством оптимизации различных вероятностных по своей природе процессов. Реализация метода на конкретных производственных процессах уже дала свои плоды: были оптимизированы процесс дистилляции тяжелого дизельного топлива [2], процесс получения ацетилена термоокислительным пиролизом природного газа [3], работа автоматических токарных станков [4] и т. д.

Не останавливаясь на изложении принципа метода оптимума номинала, отметим, что в простейшем случае, когда рассматривается одномерная задача оптимизации, необходимо определить такое смещение x_0 управляющего параметра от его математического ожидания (номинального значения), при котором достигает максимума выражение

$$I(x_0) = \int_{x_1}^{x_2} b(x) f(x, x_0)\, dx, \tag{1}$$

где $f(x)$ — плотность распределения вероятностей параметра x;

$b(x)$ — функция цены, характеризующая эффективность процесса (его результат, оцененный в каких-либо единицах, например, в рублях) при нахождении параметра в точке x;

$x_2 - x_1$ интервал возможных значений параметра.

Часто функция цены и параметры распределения меняются по времени. В таких случаях возникает необходимость следить за дрейфом оптимума. При этом вместо оптимального смещения x_0 приходится определить оптимальную программу $x_0(t)$ движения центра распределения управляющего параметра.

В общем случае, когда исследуется система с n управляющими параметрами, из которых m являются заданными функциями времени, а $n-m$ — фиксированными величинами, задача оптимизации сводится к определению оптимальных управлений (программ) $x_{i0}(t)$, $(i = 1, 2, \cdots, m)$ и постоянных x_{j0}, $(j = m+1, \cdots, n)$, приводящих к максимуму многократный функционал

$$I[\mathbf{x}_{i0}(t),\ \mathbf{x}_{j0}] = \int_{G} \cdots \int_{t_1}^{t_2} b[\mathbf{x}(t)] f[\mathbf{x}_i(t),\ \mathbf{x}_{i0}(t), \mathbf{x}_{j},\ \mathbf{x}_{j0})\, d\mathbf{x}\, dt. \qquad (2)$$

Здесь $b[\mathbf{x}(t)]$ — „цена" — многомерная функция координат, учитывающая технико-экономические показатели исследуемого процесса (о способах определения см. [1, 4, 13]), f — многомерная функция плотности распределения вероятностей параметров, G — область пространства, определяемая границами изменений параметров

$$x_{k_0} - x_{k_1}, \quad (k = 1, 2, \cdots, n).$$

В том случае, когда функция стоимости дискретная, необходимо максимизировать следующий функционал:

$$I[\mathbf{x}_{i0}(t),\ \mathbf{x}_{j0}] = \sum_{i=1}^{l} b_i \int_{G} \cdots \int_{t_1}^{t_2} f(\mathbf{x},\ \mathbf{x}_0)\, d\mathbf{x}\, dt. \qquad (3)$$

Целевую функцию $I[\mathbf{x}_{i0}(t),\ \mathbf{x}_{j0}]$ можно также представить в виде функции от вектора $\mathbf{x}\{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$. Если целевая функция $I(x)$ известна аналитически* и дифференцируема, то определение оптимального вектора $\mathbf{x}_0\{x_{10}, x_{20}, \cdots, x_{n0}\}$ в общем случае сводится к решению уравнения

$$\nabla I(\mathbf{x}_0) = 0, \qquad (4)$$

где $\nabla I(\mathbf{x}_0)$ — градиент целевой функции

$$\nabla I(\mathbf{x}_0) = \left\{ \frac{\partial I}{\partial x_1},\ \cdots,\ \frac{\partial I}{\partial x_n} \right\}. \qquad (5)$$

Полученное уравнение в общем случае является трансцендентным и его решение затруднительно. Нахождение экстремума целевой функции возможно поисковыми методами. В ряде случаев для этого подходит градиентный метод [6], который, например, связывает координаты $\mathbf{x}[m-1]$ базисной точки с координатами новой точки $\mathbf{x}[m]$ и градиентом целевой функции таким образом, что алгоритм определения оптимального вектора $\mathbf{x}_0$ имеет следующий вид:

$$\mathbf{x}[m] = \mathbf{x}[m-1] + \gamma[m] \cdot \nabla I(\mathbf{x}[m-1]), \qquad (6)$$

где $m-1$ — номер базисной точки, m — номер новой точки,

$\gamma[m]$ — величина, характеризующая в общем случае величину шага. Если имеет место сходимость этого алгоритма, то при $m \to \infty$ получим

$$\mathbf{x}[m] \to \mathbf{x}_0.$$

С помощью такого подхода определения максимума была решена задача оптимального управления процессом термоокислительного пироли

* Это возможно лишь тогда, когда заранее определена многомерная функция распределения плотности вероятностей, а также многомерная функция стоимости; даже в этом случае, ввиду многократности интеграла, она обычно громоздка.

за природного газа [3]. В этом примере исследуемый объект имел шесть управляющих параметров, для которых на основе обработки результатов пассивного * эксперимента была определена шестимерная нормальная функция распределения плотности вероятностей:

$$f(x_1, x_2, \cdots, x_6) = \frac{1}{8\pi^3 \sqrt{26 \cdot 10^5}} \exp\left(-\frac{A}{52 \cdot 10^5}\right).$$

Здесь

$$A = \sum_{i=1}^{6} \sum_{j=1}^{6} r_{ij} x_i x_j,$$

где x_i, x_j — параметры, между которыми определялись парные коэффициенты корреляции r_{ij}.

Значения коэффициентов r_{ij} приведены в табл. 1.

Таблица 1

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_1	1	−0,307	−0,141	−0,306	0,248	−0,613
x_2		1	−0,157	0,029	−0,014	−0,151
x_3			1	0,015	−0,157	0,449
x_4				1	−0,448	0,265
x_5					1	−0,853
x_6						1

На основе анализа экономических и технологических данных была определена шестимерная функция стоимости:

$$b(x_1, x_2, \cdots, x_6) = 476 + 1{,}186\, x_1 + 12{,}905\, x_2 + 4{,}113\, x_3 + 0{,}432\, x_4 - 5{,}436\, x_5 - 5{,}905\, x_6.$$

Шестикратный интеграл

$$I(x_{10}, x_{20}, \cdots, x_{60}) = \int_{G} \cdots \int b(x_1, x_2, \cdots, x_6) \cdot f(x_1 + x_{10}, \cdots, x_6 + x_{60})\, dx_1 \cdots dx_6$$

достигает своего максимума при следующих значениях смещений математических ожиданий управляющих параметров:

$x_{10} = 0{,}12$; $x_{20} = 1{,}3$; $x_{30} = 0{,}6$; $x_{40} = 0{,}5$; $x_{50} = -0{,}8$; $x_{60} = 1{,}1$.

В предложенном оптимальном режиме в выходных пирогазах концентрация ацетилена увеличилась от 7,4 до 7,5%.

Градиентным методом определения экстремума целевой функции были решены некоторые задачи распознавания образов, адаптивной фильтрации, идентификации объектов, надежности, исследования операции, теории игр и т. д. [5].

* Т. е. обработки уже накопленных в процессе производства статистических данных, без проведения „активного", специально поставленного, поиска.

Но очень часто функция $I(\mathbf{x})$ аналитически не задана (часто очень трудно ее определить) или недифференцируема. Последнее условие имеет место, например, тогда, когда вместо непрерывной функции стоимости $b(\mathbf{x})$ рассматривается дискретная функция b_ν, где ν — порядковый номер области многомерного пространства. Такие функции получены в [2, 4].

В этих случаях величину градиента функции $I(\mathbf{x})$ можно приближенно определить [5, 6, 8] согласно выражению

$$\nabla I(\mathbf{x}) \approx \frac{I_+(\mathbf{x}, a) - I_-(\mathbf{x}, a)}{2a}, \tag{7}$$

где

$$I_\pm(\mathbf{x}, a) = \{I(\mathbf{x} \pm ae_1), I(\mathbf{x} \pm ae_2), \cdots, I(\mathbf{x} \pm ae_n)\}. \tag{8}$$

Здесь через e_i обозначены орты вида

$$e_1(1, 0, \cdots, 0), \; e_2(0, 1, \cdots, 0), \cdots, \; e_n(0, 0, \cdots, 1).$$

Тогда (7) примет следующий вид:

$$\mathbf{x}[m] = \mathbf{x}[m-1] + \gamma[m] \cdot \frac{I_+(\mathbf{x}[m]a[m]) - I_-(\mathbf{x}[m]a[m])}{2a[m]}. \tag{10}$$

Если предположить, что функция $I(\mathbf{x})$ не детерминированная, а случайная $I(\mathbf{y}/\mathbf{x})$ (где $\mathbf{y} = y(y_1, y_2, \cdots, y_n)$ представляет собой вектор состояния стационарного случайного процесса с плотностью распределения вероятностей $P(\mathbf{y})$ при воздействующих параметрах, определяющих случайным вектором $\mathbf{x}$), то ищется экстремум ее математического ожидания:

$$I(\mathbf{x}) = \int_G \cdots \int I(\mathbf{y}/\mathbf{x}) P(\mathbf{y}) \, d\mathbf{y} = M_y\{I(\mathbf{y}/\mathbf{x})\}. \tag{11}$$

Как и выше, оптимальное значение вектора $\mathbf{x}_0$ определяется из условия

$$\nabla I(\mathbf{x}) = M_y\{\nabla_x I(\mathbf{y}/\mathbf{x})\} = 0. \tag{12}$$

Однако, при этом задача оптимизации может быть решена только в том случае, когда заранее известна плотность распределения $P(\mathbf{y})$, т. е. можно заранее определить математическое ожидание $M_y\{I(\mathbf{y}/\mathbf{x})\}$.

При оптимизации реальных процессов представляет практический и теоретический интерес возможность ускорить введение оптимальной программы, устанавливая ее с определенным приближением в процессе накопления статистических данных, когда с достаточной достоверностью еще неизвестны плотность распределения и его характеристики, в частности, математическое ожидание.

В таких случаях определение оптимального вектора $\mathbf{x}_0$ возможно также при помощи градиентного метода, но по отношению не к математическому ожиданию, а к реализациям градиента $\nabla_x I(\mathbf{y}/\mathbf{x})$. Это возможно при помощи метода стохастической аппроксимации [5, 8, 9],

согласно которой алгоритм определения оптимального вектора $\mathbf{x}_0$ можно представить в виде:

$$\mathbf{x}[m] = \mathbf{x}[m-1] + \gamma[m] I(\mathbf{y}[m]/\mathbf{x}[m-1]). \tag{13}$$

Когда $I(\mathbf{y}/\mathbf{x})$ аналитически не задана или недифференцируема, алгоритм принимает следующий вид:

$$\mathbf{x}[m] = \mathbf{x}[m-1] + \frac{\gamma[m]}{2a[m]} \{I(\mathbf{y}[m]/\mathbf{x}[m-1], a[m]) - I(\mathbf{y}[m]/\mathbf{x}[m-1], a[m])\}. \tag{14}$$

Алгоритм (14) является стохастическим, в котором, в отличие от детерминированного алгоритма (13), фигурирует реализация стационарной случайной величины, кроме полезной информации часто содержащей также шумы и помехи.

Сходимость алгоритма (14) доказана в [10, 11], где приведены также необходимые и достаточные условия сходимости стохастического алгоритма.

Аналогично дискретным поисковым алгоритмам можно получить и непрерывные алгоритмы. Так, при предельном переходе от разностных уравнений (13, 14) к дифференциальным, дискретному стохастическому алгоритму (14) соответствует следующий непрерывный алгоритм:

$$\frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} = \gamma(t) \nabla_x I(\mathbf{y}(t)/\mathbf{x}(t)). \tag{15}$$

Таким образом, получается, что для определения экстремума функционала алгоритмы (13), (14) и (15) дают возможность заменять целевые функции линейной комбинацией некоторых линейно независимых функций и определять оптимальный вектор коэффициентов, вместо трудоемкого метода последовательных приближений.

Так как процессы обучения и адаптации также характеризуются определением оптимального вектора коэффициентов (с учетом накапливаемого опыта), то можно предложенный способ нахождения оптимума номинала (оптимального вектора $\mathbf{x}_0$) также считать адаптивным и использовать арсенал этих методов для значительного ускорения и облегчения поиска оптимума номинала.

Следует добавить, что приведенные алгоритмы применимы для одноэкстремального случая целевой функции, что практически чаще встречается при определении оптимума номинала. В случае многоэкстремальной целевой функции можно пользоваться алгоритмом, предложенным, например, в [12].

Ереванский политехнический
институт им. К. Маркса
Московский институт инженеров транспорта

Поступило 11.XI.1969.

Դ. Վ. ՍՎԵՑԱՐՆԻԿ, Հու. Մ. ԴԱՎԹՅԱՆ, Ռ. Ա. ՆԱԼՉԱՋՅԱՆ

ՆՈՄԻՆԱԼԻ ՕՊՏԻՄՈՒՄԻ ԱԴԱՊՏԻՎ ՓՆՏՐՈՒՄ

Ամփոփում

Հոդվածում բերվում է նոմինալի օպտիմումի որոշման խնդրի առաջադրանքն ընդհանուր դեպքում, որտեղ նպատակային ֆունկցիան կազմվում է բազմաչափ վեկտորի տեսքով։ Այդ վեկտորի օպտիմումի որոշման համար առաջարկվում է կիրառել գրադիենտային մեթոդը։ Բերվում են օպտիմալ վեկտորի որոշման ալգորիթմները պարամետրերի հավանականությունների բաշխման օրենքների անալիտիկորեն առաջադրված կամ չառաջադրված դեպքերի համար։

Ավելի բարդ դեպքերում, երբ անհրաժեշտ է նոմինալի օպտիմումը որոշել վիճակագրական տվյալների հավաքման ընթացքում, օպտիմալ վեկտորի որոշման համար առաջարկվում է կիրառել հավանականային ալգորիթմը, որը համընկնում է ուսուցման և ադապտացիայի պրոցեսների ալգորիթմների հետ։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Свечарник Д. В.* „Труды института машиноведения АН СССР", № 10, 1957.
2. *Горелова Г. В.* „Известия высших учебных заведений. Электромеханика", № 3, 1966.
3. *Налчаджян Т. А.* „Известия АН Арм. ССР (серия ТН)", т. XXI, № 2, 1968.
4. *Налчаджян Т. А.* Кандидатская диссертация, ЕрПИ, 1968.
5. *Цыпкин Я. З.* Адаптация и обучение в автоматических системах. Изд. „Наука", 1968.
6. *Поляк Б. Т.* Кандидатская диссертация, МГУ, 1963.
7. *Демидович Б. П., Марон И. А.* Основы вычислительной математики. Физматгиз, 1963.
8. *Robbins H., Monro S.* Ann. Math. Statistics, v. 22, № 1, 1951.
9. *Гладышев Е. Г.* „Теория вероятностей и ее применение" т. 10, № 2, 1965.
10. *Blum J. A.* Ann. Math. Statistics, v. 25, № 2, 1954.
11. *Dvoretzky A.* 3-rd Berceley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, v. 1, 1956.
12. *Вайсборд Э. М., Юдин Д. Б.* „Известия АН СССР. Техническая кибернетика", № 5, 1968.
13. Метод оптимума номинала и его применение. Под ред. Свечарника Д. В. Изд. „Энергия", 1970.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXIII, № 4, 1970 Серия технических наук

ГИДРАВЛИКА

В. Г. АВАНЕСЯН

УСТАНОВИВШЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ БИНГАМОВСКИХ ПЛАСТИКОВ И ПСЕВДОПЛАСТИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ТРУБОПРОВОДЕ

Теоретические и экспериментальные исследования установившегося движения бингамовских пластиков и псевдопластичных жидкостей проводились на стойких нефтяных эмульсиях, которые по одним свойствам относятся к пластикам, по другим — близки к псевдопластичным неньютоновским жидкостям [5, 6, 10, 11, 12]. Их аналогичность с бингамовскими пластиками объясняется наличием в них предела текучести [12—14]. В отличие от стойких эмульсий у бингамовских пластиков кажущаяся структурная вязкость не зависит от скорости сдвига. Псевдопластичная неньютоновская жидкость и стойкие нефтяные эмульсии сходны тем, что у обеих с увеличением скорости сдвига уменьшается структурная вязкость, что у бингамовских пластиков не наблюдается [12—14]. Авторы работ [2, 4] результаты своих экспериментально-теоретических исследований, проведенных на глинистых и цементных растворах, распространяли на исследованные жидкости и рекомендуемые ими формулы применимы только для последних [3, 8]. Так как стойкие нефтяные эмульсии по некоторым своим физико-механическим свойствам отличаются от глинистых и цементных растворов [10, 14], то возникает необходимость экспериментальных и теоретических исследований их свойств. В статье приводятся результаты проведенных автором экспериментально-теоретических исследований движения стойких нефтяных эмульсий.

Для исследования вопроса о стационарном движении бингамовских пластиков (стойких нефтяных эмульсий) в трубе с радиусом R возьмем участок длиной l между сечениями I и II (рис. 1). Поскольку по мере удаления от оси трубы скорость частиц v уменьшается ($dv/dr < 0$), то уравнение Шведова-Бингама примет вид:

$$\tau = -\eta \frac{dv}{dr} + \tau_0, \tag{1}$$

где τ — касательное напряжение сдвига; τ_0 — предельное напряжение сдвига; η — структурная вязкость.

Движение возможно только при $\tau > \tau_0$. При $r = R$ напряжения τ равны предельному напряжению сдвига τ_0 и (1) принимает вид:

$$-\eta\frac{dv}{dr}=0,$$

т. е. $dv/dr=0$ и $v=\text{const}$. Отсюда следует, что цилиндрическая область с радиусом r_0 (ядро потока) движется как твердое тело. Радиус ядра определим, исходя из условия равновесия сил давления ($\pi r_0^2\Delta P$), действующих на торцовых площадках ядра потока, и силы трения, действующей на поверхности ядра потока, равной $2\pi r_0 l\tau_0$, т. е.

$$\pi r_0^2\Delta P=2\pi r_0 l\tau_0,$$

откуда

$$r_0=\frac{2l\tau_0}{\Delta P}. \qquad (2)$$

При $\tau<\tau_0$ жидкость в трубе не двигается и $dv/dr=0$.

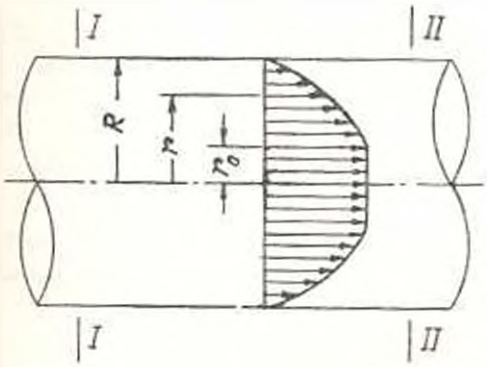

Рис. 1.

Когда $r_0=R$, то при $\tau=\tau_0$ наступает предельное равновесие и значение перепада давления ΔP_0 определяется по формуле:

$$\Delta P_0=\frac{2l\tau_0}{R}. \qquad (3)$$

Движение эмульсии возможно, когда действующий на торцовых площадках ядра перепад давления ΔP больше начального перепада ΔP_0, обусловленного предельным напряжением сдвига τ_0.

Уравнение равновесия сил давления и сил трения для произвольной части потока будет:

$$2\pi rl\tau=\pi r^2\Delta P,$$

откуда

$$\tau=\frac{r\Delta P}{2l}. \qquad (4)$$

Используя (4), уравнение (1) примет вид:

$$-\eta\frac{dv}{dr}+\tau_0=\frac{r\Delta P}{2l}. \tag{5}$$

Интегрируя (5), получим выражение для скорости:

$$v=-\frac{\Delta P}{4l\eta}r^2+\frac{\tau_0}{\eta}r+C. \tag{6}$$

Постоянное C находим из условия, что при $r=R$, $v=0$

$$C=\frac{\Delta P}{4l\eta}R^2-\frac{\tau_0}{\eta}R. \tag{7}$$

Подставляя (7) в (6), получим:

$$v=\frac{\Delta P}{4l\eta}(R^2-r^2)-\frac{\tau_0}{\eta}(R-r). \tag{8}$$

Это уравнение применимо вне ядра, т. е. при $r_0\leqslant r\leqslant R$.
Скорость движения ядра потока v_0 находим из (8), подставляя в него $r=r_0$ и $v=v_0$.

$$v_0=\frac{\Delta P}{4l\eta}(R^2-r_0^2)-\frac{\tau_0}{\eta}(R-r_0). \tag{9}$$

Полный расход стойких эмульсий по трубе состоит из расхода ядра потока Q_0 и расхода Q_r градиентного слоя — кольца от r_0 до R.
Расход ядра потока:

$$Q_0=\pi r_0^2 v_0. \tag{10}$$

Расход градиентного слоя в кольцевом пространстве вокруг ядра определим по выражению:

$$Q_r=2\pi\int_{r_0}^{R}vrdr. \tag{11}$$

Расход всего потока:

$$Q=Q_0+Q_r=\pi r_0^2v_0+2\pi\int_{r_0}^{R}vrdr. \tag{12}$$

Используя (2), (3), (8) и (9), после интегрирования выражение (12) примет вид:

$$Q=\frac{\pi R^2\Delta P}{8l\eta}\left(1-\frac{4r_0}{3R}+\frac{r_0^4}{3R^4}\right). \tag{13}$$

Средняя скорость потока будет:

$$v_{ср}=\frac{Q}{\pi R^2}=\frac{R^2\Delta P}{8l\eta}\left(1-\frac{4r_0}{3R}+\frac{r_0^4}{3R^4}\right). \tag{14}$$

Заменяя в (13) r/R через $\Delta P_0/\Delta P$ и отбрасывая последний член как малую величину, получим:

$$Q = \frac{\pi R^4}{8l\eta}\left(\Delta P - \frac{4}{3}\Delta P_0\right), \tag{15}$$

откуда

$$\Delta P = \frac{32\eta v_{cp}}{d^2}\left(1 + \frac{1}{6}\frac{\tau_0 d}{\eta v_{cp}}\right). \tag{16}$$

В (16) первый член показывает потери напора для ньютоновских жидкостей при ламинарном режиме движения, а второй — учитывает увеличение гидравлических потерь за счет пластических свойств эмульсионных смесей. При предельном напряжении сдвига ($\tau_0 = 0$) выражение (16) превращается в формулу Пуазеля для обыкновенных жидкостей:

$$\Delta P = \frac{32 l \eta v_{cp}}{d^2}. \tag{17}$$

Для определения коэффициента гидравлического сопротивления λ используем формулу Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{d}\frac{v^2}{2g}\gamma. \tag{18}$$

Приравнивая (17) и (18), получим:

$$\lambda = \frac{64 g\left(1 + \frac{\tau_0 d}{6\eta v_{cp}}\right)\eta}{v_{cp}\gamma d}.$$

Обозначим

$$\frac{d\gamma v_{cp}}{\eta g}\cdot\frac{1}{1 + \frac{d\tau_0}{6\eta v_{cp}}} = Re^*$$

и назовем его *обобщенным числом Рейнольдса*. Тогда для коэффициента гидравлического сопротивления при структурном режиме движения бингамовских пластиков получим:

$$\lambda = \frac{64}{Re^*}. \tag{19}$$

Впервые обобщенный параметр Рейнольдса Re^* был получен Бабитом и Колдуэлом для очень малых значений отношения r_0/R, когда силы пластичности очень малы по сравнению с силами вязкости.

Экспериментальное исследование движения стойких нефтяных эмульсий нами было проведено на специально смонтированной опытной установке. Методика исследования, описание опытной установки и свойства исследуемых жидкостей даны в [10—14].

Результаты исследования приведены на рис. 2. Характеристики исследуемых жидкостей даны в табл. 1.

Таблица 1

Номера кривых по рис. 2	Характеристики эмульсий		Значения коэффициента λ при $Re=1000$		Расхождение между расчетным и опытным значениями λ
	τ_0, *мг/см²*	$Re_{кр}$	по формуле (20)	опытные	
1	142	3300	0,1180	0,1100	0,0080
2	189	—	0,0650	0,0650	0
3	50	3000	0,0865	0,0867	0,0002
4	98	3200	0,1031	0,1000	0,0031
5	чистая нефть ($\tau_0=0$)	—	—	—	—

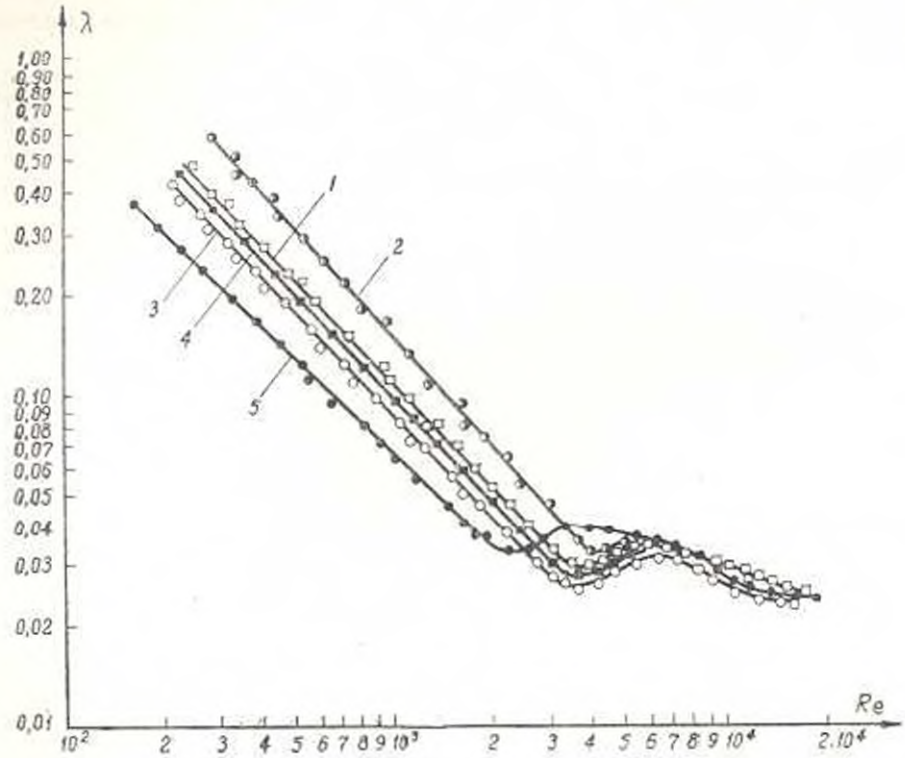

Рис. 1.

Обработав методом наименьших квадратов опытные зависимости $\lambda(Re)$ (рис. 2), для структурного и квазиламинарного режима движения стойких эмульсий рекомендуем эмпирическую формулу:

$$\lambda = \frac{64}{Re} + a^{0,2}\frac{\tau_0^{0,9}}{Re^{1,07}}. \qquad (20)$$

Сравнивая результаты, полученные по выражению (19), с результатами, получаемыми по эмпирической формуле (20) [5, 6] и теоретической формуле

$$\lambda = \frac{64}{Re} + \frac{10{,}66}{Re_c^{0{,}9}}, \tag{21}$$

выведенной нами из уравнения расхода Г. Генки [7], приходим к выводу, что максимальное расхождение между ними колеблется в пределах 5—6%, что практически допустимо.

В формулах (20) и (21):

$Re = \frac{vd}{\nu}$ — обыкновенное число Рейнольдса; $Re^{*} = \frac{\rho v_{cp}^2}{\tau_0}$;

$a^{0,9}$ — постоянный коэффициент, равный 1,01 $(см^2/мг)^{0,9}$; τ_0 — предельное напряжение сдвига в $мг/см^2$; ρ — плотность жидкости; η — структурная вязкость; ν — кинематическая вязкость; v_{cp} — средняя скорость потока.

Для переходной области от структурного и квазиламинарного режима движения эмульсий в квадратичную область сопротивления в пределах значений $Re = 3000 \div 12000$ рекомендуется следующая эмпирическая формула для определения коэффициента гидравлического сопротивления:

$$lg\,\lambda = 3{,}082 - 2{,}42\,lg Re + 0.312\,(lg\,Re)^2. \tag{22}$$

Таблица 2

Re	Значения λ в переходной области		Расхождение между расчетным и опытным значениями λ
	по формуле (22)	опытные	
3000	0,0253	0,0255	0,0002
3500	0,0246	0,0250	0,0004
5000	0,0290	0,0290	0
10000	0,0252	0,0254	0,0002
12000	0,0253	0,0252	0,0001

Вязкость исследуемых эмульсий колебалась в пределах 0,5 ÷ 10,8 *пуаз*, плотность — 0,9097 — 0,9791 $г/см^3$, скорость — 0,2 — 8,0 *м/сек*, влагосодержание — 10 ÷ 70%.

Из таблиц 1 и 2 видно, что предлагаемые эмпирические формулы (21) и (22) достаточно точны.

Необходимо отметить, что в области движения глинистых растворов при бурении скважин много сделано Б. И. Мительманом [8] и Б. С. Филатовым [9]; ими даны конкретные и ценные рекомендации, на основе которых многие ученые продолжают исследовать движение других жидкостей. Неньютоновские жидкости имеют много разновидностей (бингамовские пластики, псевдопластичные, дилатантные, тиксотропные, реопектические жидкости и т. д.), каждая из которых обладает своими специфическими особенностями. Поэтому рекомендовать

одну общую формулу, применимую для всех указанных разновидностей, практически не осуществимо [9].

Ереванский
зоотехнически-ветеринарный
институт

Поступило 10.X.1969.

Վ. Գ. ԱՎԱՆԵՍՅԱՆ

ՊԼԱՍՏԻԿՈՒՆԵՐԻ ԵՎ ՊՍԵՎԴՈՊԼԱՍՏԻԿ ՀԵՂՈՒԿՆԵՐԻ ԿԱՅՈՒՆԱՑԱՆ ՇԱՐԺՈՒՄԸ ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐՈՒՄ

Ամփոփում

Հոդվածում փորձ է արվում լուծել խողովակաշարում ոչ-նյուտոնյան հեղուկի ֆայլանացած շարժման որոշ մասնավոր խնդիրներ՝ խողովակաշարի հատվածում արագության բաշխման օրենքը, կլոր խողովակում արագության միջին ու մաքսիմալ արժեքների, ինչպես նաև ոչ-նյուտոնյան միջավայրի կլոր գրաֆիկի արագությունների հիման վրա առաջարկվում են էմպիրիկ արտահայտություններ՝ կայուն նավթային էմուլսիաների հիդրավլիկական դիմադրության գործակցի արժեքները ստրուկտուրային-կվազիպլաստիկական տուրբուլենտ ռեժիմների դեպքում որոշելու համար։ Ընդ որում, տուրբուլենտ ռեժիմի բանաձևը օգտագործելի է $Re = 3000 - 12000$ սահմաններում։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воларович М. П.* Экспериментальное исследование в области реологической кинематики дисперсных систем. „Коллоидный журнал", т. XIX, № 5, 1947.
2. *Шишенко Р. И.* Гидравлика глинистых растворов. Азнефтеиздат, 1951.
3. *Шишенко Р. И., Есьман Б. И.* Практическая гидравлика в бурении. Изд. „Недра", 1966.
4. *Мирзаджанзаде А. Х.* Вопросы гидравлики вязко-пластичных и вязких жидкостей в нефтедобыче. Азнефтиздат, 1959.
5. *Аванесян В. Г.* Определение коэффициента гидравлического сопротивления при движении вязко-пластичных жидкостей. „Промышленность Армении", № 9—10, 1967.
6. *Аванесян В. Г.* Потери напора при движении ньютоновских жидкостей. „Промышленность Армении", № 12, 1968.
7. *Генки Г.* О модельных стационарных течениях в пластических телах с приложениями к прокатке, штамповке и волочению. Сб. „Теория пластичности", изд. иностр. литературы, 1948.
8. *Мительман Б. И.* Справочник по гидравлическим расчетам в бурении. Гостоптехиздат, 1963.
9. *Филатов Б. С.* Определение реологических свойств суспензий глины в условиях установившегося движения. „Коллоидный журнал", т. XVI, № 2, 1954.
10. *Аванесян В. Г.* К вопросу исследования движения нефтяных эмульсий. „Известия ВУЗ. Нефть и газ", № 8, 1964.
11. *Абдурашитов С. А., Аванесян В. Г.* Экспериментальное исследование физических свойств эмульсионных нефтей. „Известия ВУЗ. Нефть и газ", № 1, 1964.

12. *Аванесян В. Г.* Определение физико-механических свойств неньютоновских жидкостей. „Промышленность Армении", № 6, 1969.
13. *Аванесян В. Г.* Реологические характеристики вязко-пластичных жидкостей. „Промышленность Армении", № 3, 1970.
14. *Аванесян В. Г.* и *Аванесян Я. Г.* Экспериментальное исследование структурно-механических свойств эмульсионных нефтей. Сб. „Нефтепромысловое дело", ВНИИОЭНГ, № 12, 1969.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXIII, № 4, 1970 Серия технических наук

ГИДРАВЛИКА

С. М. ИСААКЯН

О СВОБОДНОМ ПАДЕНИИ ШАРИКА В ВЯЗКОЙ СРЕДЕ

1°. Свободным называется падение шарика в неограниченной среде жидкости. При $Re < 25$ оно совершается скольжением по вертикали, а при $Re > 25 \div 50$ — и по извилистой траектории [1]. Нами в [2] показано, что траектория падения шарика извилиста и при малых числах Рейнольдса ($Re = 0.001$), извилистость траектории носит пространственный характер и геометрические параметры извилин соответствуют таковым для устойчивой вихревой системы. На основании этого сделан вывод, что извилистость траектории является механическим следствием гидродинамического сопротивления среды движению шарика и поэтому неотъемлемым свойством его падения.

В настоящей статье приводятся результаты экспериментально-теоретических исследований, проведенных с целью проверки этого вывода. Вывод проверен многочисленными опытами, охватывающими широкую область числа Рейнольдса (до 6000), и с помощью теоретического решения Г. Ламба установлена зависимость числа Струхаля от числа Рейнольдса, моделирующая свободное падение шарика в вязкой среде.

2°. Методика экспериментирования была та же, что и в [2]; в прозрачный цилиндрический сосуд (размеры которого варьировались в пределах: диаметр — от 80 до 150 *мм*, длина — от 1 до 6 *м*), заполненный водой или водно-глицериновым раствором разной концентрации, опускался стальной шарик диаметром 1 ÷ 9 *мм* и, освещая концентрированным светом, на темном экране фотографировалась его траектория вместе с линейным и временным масштабами. В качестве временного масштаба служил периодический обрыв следа шарика с помощью обтюратора. В зависимости от изменения температуры предварительно измерялись плотность и вязкость среды. Было произведено около 150 опытов (при необходимости с 10 — 15-кратным повторением). Произведены четыре серии опытов, отличающиеся концентрацией среды, размерами экспериментального сосуда, освещенностью среды и степенью увеличения объекта.

3°. Экспериментальные значения длины шага колебания траектории и скорости падения шарика определены при 15-кратном увеличении снимков. Частота колебания шарика определена как отношение средней скорости шарика к длине шага его траектории. При этом об-

наружены одинарная и двойная извилистости траектории падения (рис. 1).

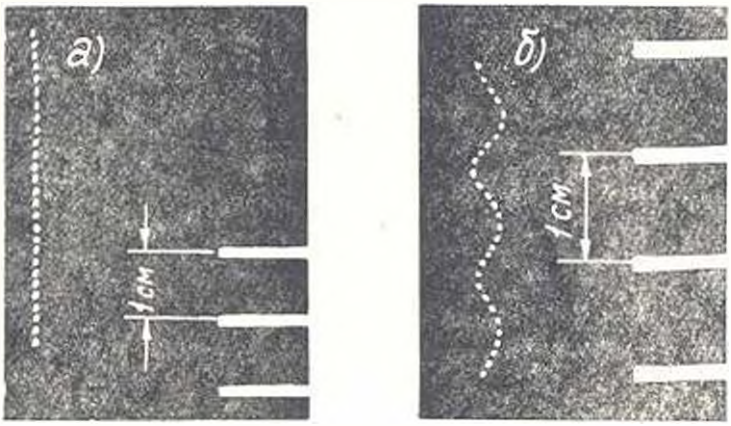

Рис. 1. Траектории падения шарика: *а* — с одинарной извилистостью; *б* — с двойной извилистостью.

В результате обработки выявлено: наличие колебания у всех шариков в рассмотренном диапазоне изменения числа Рейнольдса (0,001 ÷ 6000); независимость частоты колебания от вязкости среды и от числа Рейнольдса; неоднозначность частоты при постоянстве остальных параметров. В качестве иллюстрации в табл. 1 приводятся данные, полученные для шарика с диаметром 0,555 *см*.

Таблица 1

$N_э$	Re	$N_к$	n
74,0	63,4	75,3	24
75,8	1000,0	75,3	24
80,0	4400,0	80,0	25
91,3	487,0	89,5	27
94,2	63,4	94,5	28
100,0	507,0	100,0	29
100,0	4400,0	100,0	29

В табл. 1 $N_э$ — экспериментальное значение частоты колебания в *гц*; $Re = vd/\nu$ — число Рейнольдса; d — диаметр шарика в *см*; v — скорость падения; ν — кинематическая вязкость.

4°. Анализ экспериментально полученных данных произведен на основании теоретического решения задачи о колебании шара в упругой среде [3], при котором для частоты колебания шара получено выражение:

$$N_к = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{8n(n+1)(n-1)(n+2)T}{[(n+1)\rho + n\rho_0]d^3}}, \qquad (1)$$

где T — поверхностное натяжение между шаром и средой; ρ и ρ_0 — соответственно плотности шара и среды; $n = 2, 3, 4, \cdots$ — порядок колебания, причем, $n = 2$ соответствует основному колебанию.

По выражению (1) вычислены значения $N_к$ и сопоставлены с экспериментальными значениями $N_э$. Поскольку в литературе отсутствуют значения поверхностного натяжения для твердого тела, находяще-

гося в контакте с жидкостью, то оно нами определено косвенным путем. Для этого была построена зависимость числа Струхаля $St = v/Nd = l/d$ (где l — шаг колебания) от числа Рейнольдса, моделирующая колебательное падение шарика в вязкой среде для капли воды, падающей в воздухе ($T_{вода-воздух} = 72{,}75$ *дин/см* при $t = 20°C$ [4]). При этом принято $n = 2$, а скорость падения определена по Лященко [4].

Используя кривую $St = f(Re)$, изображенную на рис. 2, формулу (1) для частоты колебания стальных шариков в воде при $n = 2$ (экспериментальные условия) и кривую Лященко для определения скорости падения стальных шариков в воде, определено значение поверхностного натяжения между сталью и водой $T = 2{,}9$ *дин/см*. По найденному значению T вычислены значения $St = f(Re)$ для стальных шариков, и, как видно из рис. 2, зависимости $St = f(Re)$ для стальных шариков,

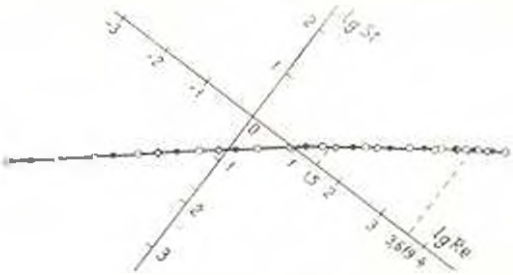

Рис. 2. График зависимости $St = f(Re)$: ● — для водяных шариков, падающих в воздухе; □ — для стальных шариков, падающих в воде; ○ — для кварцевых шариков, падающих в воде.

падающих в воде, и водяных капель, падающих в воздухе, идентичны. В табл. 1 и на рис. 3 приведены значения частоты колебания шарика, полученные экспериментально и вычисленные по (1) при $T = 2{,}9$ *дин/см* и $n = 2 \div 35$. Как видно, экспериментальные и расчетные значения частот дают хорошую сходимость, тем самым подтверждается приемлемость принятого метода определения T, а также независимость частоты от Re.

На рис. 3 сплошными линиями изображена зависимость $N_n = f(d)$ по формуле (1) для стальных шариков, падающих в воде (n — в качестве параметра), точками обозначены экспериментальные значения частоты колебания шариков. Как видно из рисунка, экспериментальные точки в основном совпадают с теоретической кривой. Причем, лучшую сходимость дают значения N, полученные при чистой воде; при водно-глицериновых растворах наблюдается некоторое снижение частоты — это результат того, что поверхностное натяжение для глицирина (до 66 *дин/см*) несколько меньше, чем для воды.

Косвенная проверка полученного значения T для стали с водой, произведенная при колебаниях цилиндрического столба жидкости, находящейся в стальной трубе, также дала убедительные результаты [5].

5*. Кривая зависимости $St = f(Re)$, приведенная на рис. 2, аппроксимируется следующими выражениями *:

$$\begin{aligned} &\text{а) при } Re = 0 \div 32 && St = 0{,}1585\, Re^{0.[illegible]}; \\ &\text{б) при } Re = 32 \div 4000 && St = 0{,}2331\, Re^{0.7103}; \\ &\text{в) при } Re = 4000 \div 10000 && St = 0{,}4797\, Re^{0.[illegible]}; \end{aligned} \tag{2}$$

откуда для скорости падения шарика получается:

$$\begin{aligned} &\text{а) } v = 0{,}002758 \left(\frac{T}{3\rho + 2\rho_0}\right)^{2.[illegible]} d^{1.[illegible]}\, \nu^{-1.613}; \\ &\text{б) } v = 0{,}101766 \left(\frac{T}{3\rho + 2\rho_0}\right)^{1.7225} d^{0.[illegible]}\, \nu^{-2.443}; \\ &\text{в) } v = 1{,}1676 \left(\frac{T}{3\rho + 2\rho_0}\right)^{1.3287} d^{0.[illegible]}\, \nu^{-1.[illegible]}, \end{aligned} \tag{3}$$

при тех же пределах применимости. Заметим, что в (3) учитывается влияние поверхностного натяжения между шариком и средой на ско-

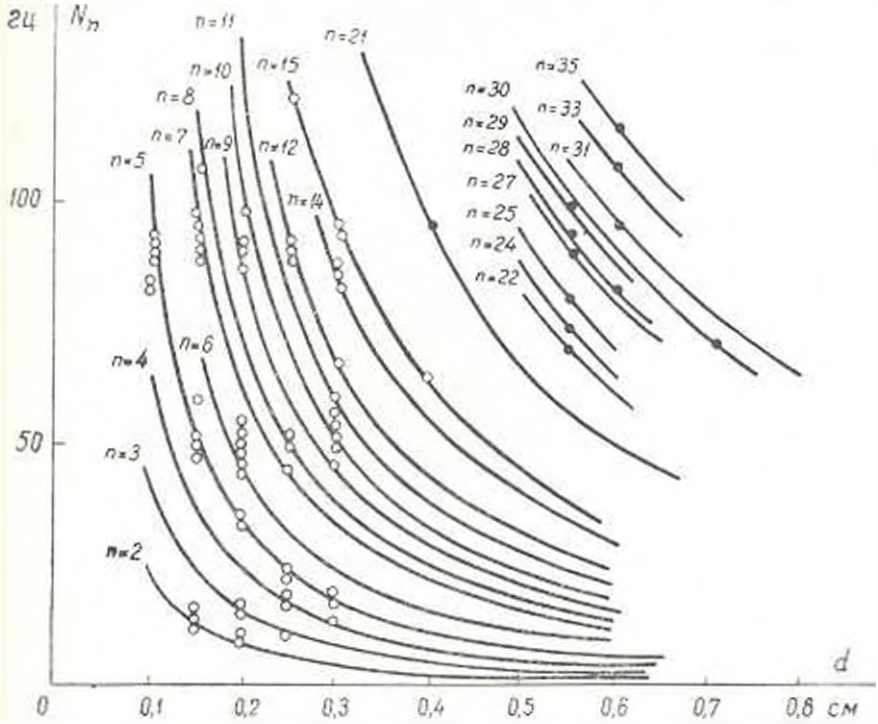

Рис. 3. Сопоставление экспериментальных и вычисленных по формуле (1) значений частот колебаний шариков. ○ — водно-глицериновые растворы; ● — чистая вода.

* В (2) пределы применимости показаны округленно. На рис. 2 указаны их точные значения — 31,62 и 4159, соответствующие минимуму среднеквадратичных отклонений от кривой.

рость его падения.

Небезынтересно отметить, что при подстановке в выражение числа Струхаля $St = v/Nd$ значение N по формуле (1) оно превращается в число Вебера в степени 0,5.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В диапазоне изменения числа Рейнольдса $Re = 0{,}001 \div 6000$ свободное падение шарика в вязкой среде носит колебательный характер.

2. Падение шарика в жидкости описывается выражениями (2), учитывающими силу сцепления между шариком и средой (поверхностное натяжение).

3. Частота колебания предопределяется силой сцепления между шариком и средой, плотностью шарика и среды, диаметром шарика. Она не зависит от вязкости среды и скорости падения шарика.

Институт органической химии
АН Арм. ССР

Поступило 6.VI.1969

Ս. Մ. ԻՍԱԱԿՅԱՆ

ՄԱԾՈՒՅԿ ՄԻՋԱՎԱՅՐՈՒՄ ԳՆԴԻԿԻ ԱԶԱՏ ԱՆԿՈՒՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Ամփոփում

Ցույց է տրված, որ մածուցիկ միջավայրում գնդիկի ազատ անկումը տեղի է ունենում ոլորապտույտ հետագծով, որը հետևանք է միջավայրի դիմադրության: Գնդիկի ոլորապտույտների հաճախությունը համընկնում է նրա ազատ տատանումների հաճախության հետ և ունի (1) բանաձևով բնորոշվող բազմարժեքություն: Անկման հետագծի բնութագիրը ներկայացված է Ստրուխալի թվով, որը կախման մեջ է դրված Ռեյնոլդսի թվից, և քանակորեն բնորոշվում է նկ. 2-ում բերված կորով կամ (2) բանաձևերով: Այն ընդունելի է տարբեր հեղուկների մեջ տարբեր նյութերից պատրաստված գնդիկների անկման համար:

ЛИТЕРАТУРА

1. *Биркгоф Г., Сарантонелло Э.* Струи, следы и каверны. Изд. ИЛ, 1964.
2. *Исаакян С. М., Гаспарян А. М.* О механизме взаимодействия твердых тел с жидкостью. Сообщение 2. „Известия АН Арм. ССР (серия Т.Н.)", т. XVII, №6, 1965.
3. *Ламб Г.* Гидродинамика, ОГИЗ, 1947.
4. Справочник химика, т. I, 1963, стр. 1011; т. III, стр. 799.
5. *Исаакян С. М.* „Доклады АН Арм. ССР", т. L, № 1, 1970.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXIII, № 4, 1970 Серия технических наук.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

К. А. ГУЛГАЗАРЯН

УПРАВЛЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРОННЫМ ПОТОКОМ В ФОТОУМНОЖИТЕЛЯХ ВНЕШНИМ ЭЛЕКТРОДОМ

Освоение оптического диапазона открывает новые возможности в системах связи, локации, дальнометрии и т. д. Эти возможности могут быть полностью использованы, если в качестве модулирующих частот использовать сверхвысокочастотные колебания (СВЧ). При этом по одному лучу можно обеспечить одновременные телефонные переговоры населению всего земного шара, измерить расстояния и скорости движения объектов с высокой точностью и т. д. В связи с этим появилась проблема приема оптических сигналов, модулированных СВЧ колебаниями. В видимой и ближней инфракрасной областях спектра электромагнитных колебаний самым чувствительным приемником является фотоумножитель (ФЭУ). Однако частотный предел ФЭУ, выпускаемых промышленностью, ограничен частотой порядка нескольких десятков мегагерц. Более высокочастотные ФЭУ сложны по конструкции и пока не вышли из стадии лабораторных разработок. Поэтому повышение частотного предела ФЭУ, выпускаемых промышленностью, представляет определенный интерес. Решение данной задачи сводится к модуляции фотоэлектронного потока высокими и сверхвысокими частотами.

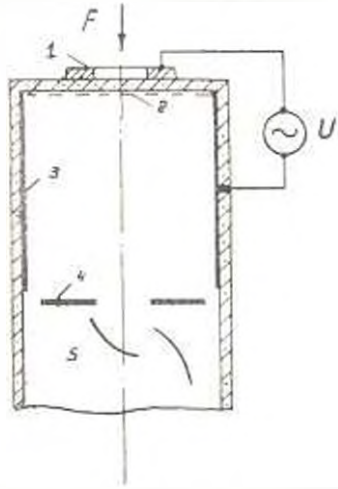

Рис. 1. ФЭУ с внешним электродом. *1* — внешний кольцевой электрод; *2* — полупрозрачный фотокатод; *3* — катодный цилиндр; *4* — диафрагма; *5* — умножительная система; *F* — модулированный оптический поток.

До недавних пор эта задача решалась путем подачи модулирующего сигнала на вакуумные электроды фотоумножителя. Так, например, фотоэлектронный поток, вышедший из фотокатода *2* (рис. 1), модулировался подачей напряжения на диафрагму *4* и фотокатод *2*. Однако из-за большого расстояния между фотокатодом и диафрагмой, а также экранирующего влияния катодного цилиндра *3*, напряженность поля на поверхности катода получается небольшой, что затрудняет модуляцию потока на высоких и сверхвысоких частотах. С

другой стороны, из-за паразитных индуктивностей выводов электродов и паразитных емкостей между электродами управляющее напряжение, приложенное к ФЭУ, только частично доходит к электродам *1*, *2* и уменьшается с повышением частоты. Поэтому для модуляции фотоэлектронного потока СВЧ колебаниями необходима большая мощность. Например, при частоте 3000 *Мгц* необходимы сотни киловатт. На низких частотах для модуляции необходимо напряжение величиной порядка ста вольт.

Статья посвящена описанию ранее нами предложенного [1] способа повышения частотного предела ФЭУ.

1. Сущность предложенного метода. Сущность предложенного метода, лишенного указанных выше недостатков, заключается в том, что управление электронным потоком осуществляется электродами, находящимися вне вакуумного баллона прибора. При этом управляющее переменное напряжение U подается между внешним электродом *1* (рис. 1), выполненным в виде кольца, которое плотно прикладывается к торцевому стеклу ФЭУ, и полупрозрачным фотокатодом *2*. Из-за конечной проводимости фотокатода во входной камере ФЭУ, состоящей из фотокатода, диафрагмы *4* и цилиндра *3*, возникает электрическое поле, которое и управляет электронным потоком.

Качественное объяснение явления проникновения поля через фотокатод заключается в следующем. Между внешним электродом и фотокатодом имеется емкость, а фотокатод имеет большое активное сопротивление. Емкость и сопротивление включены последовательно и питаются напряжением U. Падение напряжения на сопротивление фотокатода, которое увеличивается с повышением частоты, создает поле во входной камере ФЭУ. Расчет полей и поверочный эксперимент, проведенный автором, показывают, что напряженность поля у поверхности фотокатода, созданная данным способом (при существующих конструкциях входных камер ФЭУ) в сто и более раз превышает напряженность, которую можно получить путем подачи такого же напряжения между фотокатодом и диафрагмой. При этом способе практически исключается влияние указанных паразитных параметров системы. Благодаря этим преимуществам, данной способ уже нашел практическое применение; в частности, в отечественном светолокационном дальномере ГД—314 [2].

2. Прием оптических сигналов, модулированных СВЧ колебаниями. Для повышения частотного предела ФЭУ, выпускаемых промышленностью, пользуются принципом гетеродинирования; фотоэлектронный поток модулируется колебаниями местного генератора, в результате чего появляется фототок с разностной частотой (разность между частотами модуляции оптического потока и местного генератора), который усиливается умножительной системой.

Для модуляции фотоэлектронного потока частотой до десятков и сотен мегагерц можно пользоваться схемой, представленной на

рис. 1, при этом, напряжение, необходимое для глубокой модуляции, имеет величину порядка в несколько вольт. С повышением частоты величина этого напряжения возрастает. Поэтому на более высоких частотах (сотни и тысячи мегагерц) целесообразнее использовать объемные и полосковые резонаторы, т. к. при вводе одинаковой мощности напряженность поля в резонаторе получается значительно большей, чем в обычной линии передачи. На рис. 2 представлены различные

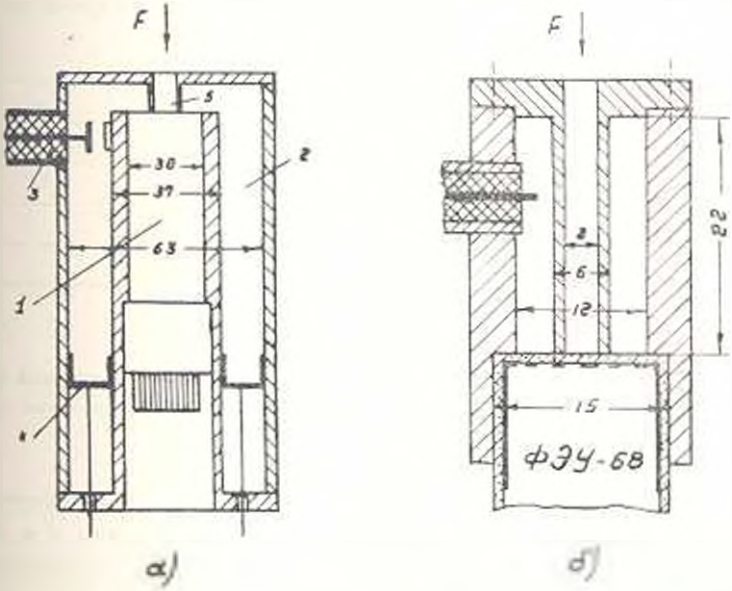

Рис. 2. Сочетание ФЭУ с коаксиальным резонатором. *а*—приемник оптических сигналов, модулированных частотами 400÷1800 *Мгц*; *б*—приемник оптических сигналов, модулированных частотой 10000 *Мгц*. *1*—ФЭУ—51; *2*—коаксиальный резонатор; *3*—линия для ввода энергии в резонатор; *4*—настроечный поршень; *5*—трубка; *F*—модулированный оптический поток.

конструктивные варианты сочетания коаксиальных резонаторов с ФЭУ [1]. Выбор той или иной конструкции зависит от частоты модуляции, оптико-механической системы устройства и т. д. При мощности местного генератора 1 *вт* удалось модулировать фототок ФЭУ—51 частотой до 3000 *Мгц*. Возможность использования резонансных и нерезонансных систем, в которых исключается влияние паразитных индуктивностей и емкостей, также является достоинством данного способа.

3. Электродинамическое управление фотоэлектронным потоком. В электронных приборах СВЧ широко применяется электродинамическое управление электронным потоком. В этих приборах электронный поток модулируется по скорости. Несмотря на известные преимущества данного способа по сравнению с электростатическим управлением (например, управление потоком в обычных электронных лампах, в вышерассмотренном устройстве и т. д.), электродинамическое управление до сих пор не применяется в фотоэлектронных приборах.

На рис. 3, *а* представлена схема экспериментального ФЭУ, в котором возможно осуществить электродинамическое управление. Рассмотрим движение одного электрона, вышедшего из фотокатода *1*. В области, заключенной между фотокатодом и ускоряющим электродом *2*, электрон ускоряется напряжением U_0 и приобретает энергию eU_0. Между ускоряющим электродом и диафрагмой *3*, соединенной с сеткой *4*, приложено напряжение $-(U_0 - U_y)$, поэтому в этой области электрон тормозится, теряя энергию $e(U_0 - U_y)$. Энергия электрона на поверх-

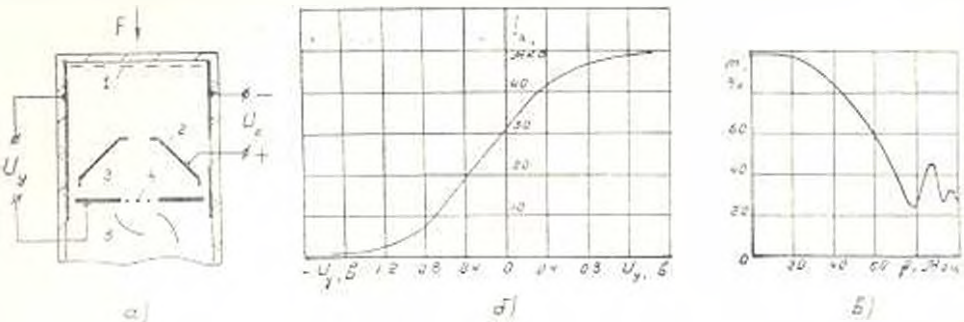

Рис. 3. Экспериментальный ФЭУ и его характеристики. *1*—полупрозрачный фотокатод; *2*—ускоряющий электрод; *3*—диафрагма; *4*—сетка; *5*—умножительная система; *F*—оптический поток

ности сетки *4* будет $eU_0 - (eU_0 - U_y) = -eU_y$. Если эта энергия больше нуля, то электрон проходит через отверстия сетки *4* и попадает в умножительную систему. Когда из катода выходит электронный поток, управляющее напряжение U_y синусоидальное, а время пролета между электродами *2* и *4* значительно меньше периода колебаний, то электроны попадут в умножительную систему при ускоряющих полупериодах и не попадут—при тормозящих полупериодах, т. е. фотоэлектронный поток на выходе оказывается модулированным. Присутствие объемного заряда и проникновения полей первых диодов через сетку *4* приводит к тому, что для управления потоком необходимо некоторое небольшое напряжение.

Для экспериментального ФЭУ была снята зависимость выходного тока I_a от управляющего напряжения U_y (рис. 3, *б*). Из рис. 3, *б* видно, что для полного управления током ФЭУ необходимо напряжение порядка 1 *в*. Была снята также частотно-модуляционная характеристика, т. е. зависимость глубины модуляции *m* фотоэлектронного потока от частоты управляющего сигнала *f* (рис. 3, *в*).

Анализ, проведенный нами, показывает, что спад и неравномерность характеристики обусловлены не пролетными явлениями, а влиянием паразитных индуктивностей и емкостей, и можно создать новые конструкции фотоумножителей, способные работать вплоть до миллиметрового диапазона управляющего сигнала.

4. Электродинамическое управление внешним электродом. Рассмотренные выше способы управления электронным потоком позволя-

ют создать фотоумножители, работающие в диапазоне СВЧ, без значительных изменений существующих конструкций. Для примера на рис. 4 представлена одна из возможных конструкций фотоумножителя, в которой исключается влияние паразитных параметров устройства, показанного на рис. 3, *а*. Разность потенциалов между фотокатодом *2* и отсекающей сеткой *7* является управляющей. Высокочастотный

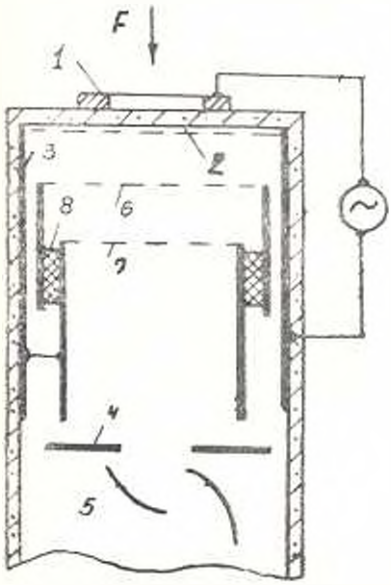

Рис. 4. ФЭУ с электродинамическим управлением. *1*—внешний кольцевой электрод; *2*—полупрозрачный фотокатод; *3*—катодный цилиндр; *4*—диафрагма; *5*—умножительная система; *6*—ускоряющий электрод; *7*—отсекающая сетка; *8*—диэлектрик; *F*—оптический поток.

потенциал подается на фотокатод через внешний электрод *1*. Для исключения влияния паразитных параметров ускоряющего электрода *6* и его вывода, электрод *6* соединен с катодом через емкость, состоящей из диэлектрика *8* и электродов *6* и *7*. Электростатическое поле между электродами *4* и *7* обеспечивает попадание фотоэлектронов на нужный участок первого диода умножительной системы *5*.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 31.X.1969.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гулазарян К. А., Скибарко А. П.* Авторское свидетельство № 243086. Бюллетень № 16, 1969.
2. *Гулазарян К. А., Калинин В. И., Попов Ю. В. Скибарко А. П., Утенков Б. И.* Авторское свидетельство № 216054. Бюллетень № 14, 1968.

В. О. ТОКМАДЖЯН

К РАСЧЕТУ ПОДТОПЛЕННЫХ ВОДОСЛИВОВ

1. Водослив практического профиля. Расход подтопленных водосливов практического профиля (рис. 1) и водосливов с тонкой стенкой (рис. 2) определяется по формуле:

$$Q = \sigma m b \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \tag{1}$$

где m — коэффициент расхода неподтопленного водослива; b — ширина фронта водослива; g — ускорение силы тяжести; H_0 — полный напор водослива:

$$H_0 = H + \frac{\alpha v_0^2}{2g}; \tag{2}$$

H — напор водослива; v_0 — подходная скорость; σ — коэффициент подтопления, учитывающий уменьшение расхода.

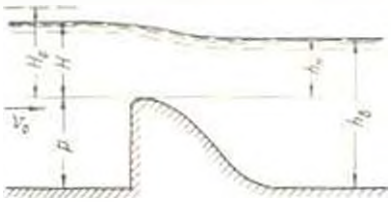

Рис. 1.

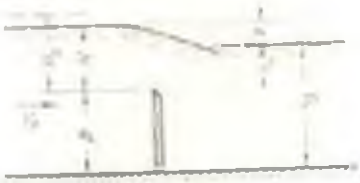

Рис. 2.

Для водослива практического профиля σ зависит от отношения $k_n = h_n/H_0$ (где h_n — превышение уровня воды нижнего бьефа над порогом водослива). Значения коэффициента подтопления определяются эмпирическим путем. В табл. 1 приведены значения σ, заимствованные из [1].

Таблица 1

$k_n = \frac{h_n}{H_0}$	σ	$A(k_n)$	$k_n = \frac{h_n}{H_0}$	σ	$A(k_n)$	$k_n = \frac{h_n}{H_0}$	σ	$A(k_n)$
0,00	1,000	∞	0,50	0,972	2,750	0,85	0,70	0,894
0,10	0,998	31,50	0,60	0,950	2,040	0,90	0,59	0,691
0,20	0,996	11,15	0,70	0,890	1,518	0,95	0,41	0,443
0,30	0,991	6,03	0,75	0,850	1,308	1,00	0	0
0,40	0,983	3,88	0,80	0,790	1,104			

Обычно при расчете подтопленных водосливов требуется определить напор водослива H при заданных Q, b, высоте стенки p и бытовой глубине h_b.

В литературе эту задачу предлагается решить методом последовательных приближений. В первом приближении водослив рассматривается неподтопленным и определяется полный напор

$$H_0 = \left(\frac{Q}{mb\sqrt{2g}}\right)^{2/3}, \tag{3}$$

по которому устанавливается степень подтопления $k_п = h_п/H_0$ (где $h_п = h_б - p$), а по табл. 1 коэффициент подтопления σ. Во втором приближении полный напор H_0 определяется из формулы (1). Несколькими приближениями, уточняя H_0 и вводя влияние подходной скорости по (2), определяется напор водослива H. Однако такой подход не всегда осуществим: часто H_0 неподтопленного водослива оказывается меньше $h_п$, что не имеет смысла, и дальнейшее решение становится невозможным.

Указанную задачу можно решить также методом подбора. Задаваясь значением H_0, большим $h_п$, определяется $k_п = h_п/H_0$ и соответствующее значение σ, а по (1) — расход. Это продолжается до тех пор, пока полученный расход становится равным заданному. Однако такой метод трудоемок.

Нами предлагается простой метод решения задачи, при котором отпадает необходимость использования метода подбора или последовательных приближений.

Имея в виду, что $H_0 = h_п/k_п$, представим (1) в виде

$$\frac{Q}{mb\sqrt{2g}\,h_п^{3/2}} = \frac{\sigma}{k_п^{3/2}}. \tag{4}$$

Обозначим левую часть (4) через A_0, а правую — через $A(k_п)$. Значения $A(k_п)$ в зависимости от величины $k_п$ приводятся в табл. 1.

Таким образом, по данным задачи определяется величина параметра

$$A_0 = \frac{Q}{mb\sqrt{2g}\,h_п^{3/2}},$$

далее из табл. 1 — значение $k_п$, а по нему — $H_0 = h_п/k_п$. Влияние подходной скорости учитывается обычным способом.

Пример. Определить напор подтопленного водослива практического профиля при следующих данных: $Q = 60$ *м³/сек*; $b = 6$ *м*; $h_б = 8{,}27$ *м*; $p = 4{,}5$ *м*; $m = 0{,}495$.

Имеем $h_п = h_б - p = 8{,}27 - 4{,}50 = 3{,}77$ *м*. Полный напор неподтопленного водослива по (3) будет:

$$H_0 = \left(\frac{Q}{mb\sqrt{2g}}\right)^{2/3} = \left(\frac{60}{6.0{,}495.4{,}43}\right)^{2/3} = 2{,}76\ м < h_п,$$

что не имеет смысла.

Решаем задачу по предлагаемому методу.

Значение параметра A_0 по (5) будет:

$$A_0 = \frac{Q}{bm\sqrt{2g}\,h_п^{3/2}} = \frac{60}{6.0{,}495.4{,}43.3{,}77^{3/2}} = 0{,}621.$$

Этому значению в табл. 1 соответствует $k_\sigma = 0{,}914$.

Тогда
$$H_0 = \frac{3{,}77}{0{,}914} = 4{,}13\ м.$$

Принимая $H \approx H_0$, величина подходной скорости будет:
$$v_0 = \frac{Q}{b(p+H)} = \frac{60}{6(4{,}50+4{,}13)} = 1{,}16\ м/сек.$$

Соответственно
$$\frac{\alpha v_0^2}{2g} = \frac{1{,}1 \cdot 1{,}16^2}{19{,}62} = 0{,}07\ м.$$

Тогда
$$H = H_0 - \frac{\alpha v_0^2}{2g} = 4{,}13 - 0{,}07 = 4{,}06\ м.$$

2. Водослив с тонкой стенкой. Для определения коэффициента подтопления водослива с тонкой стенкой имеется широко известная эмпирическая формула Базена [1]:
$$\sigma = 1{,}05\left(1 + 0{,}2\frac{h_п}{p}\right)\sqrt[3]{\frac{z}{H}}, \tag{6}$$
где $z = H - h_п$ — перепад на водосливе.

Выражая высоту стенки p в долях H, т. е. $p = nH$, формула (6) запишется в виде:
$$\sigma = 1{,}05\left(1 + 0{,}2\frac{k_п}{n}\right)\sqrt[3]{1 - k_п}. \tag{7}$$

Приведенные М. А. Мостковым [2] две формулы для коэффициента σ при разных стадиях подтопления водослива с тонкой стенкой практически не отличаются от (6) (см. рис. 3). Поэтому значения функции

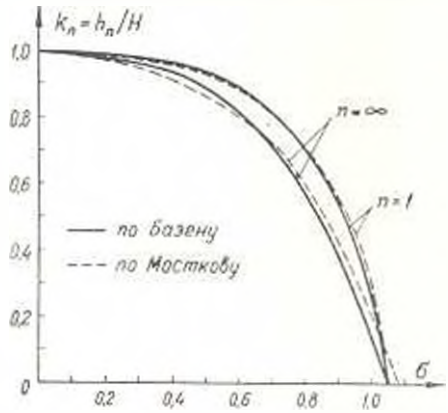

Рис. 3. Зависимости $\sigma(k_п)$ для водослива с тонкой стенкой.

$A(k_п)$ вычислены по формуле (7), не отрицая возможность применения и других формул. Значения $A(k_п)$ приведены в табл. 2, причем, при $k_п = 1$ $A(k_п) = 0$.

Таблица 2

$\frac{h_n}{H}$	Значения $A(k_n)$ при				$\frac{h_n}{H}$	Значение $A(k_n)$ при			
	$n=\infty$	$n=5$	$n=3$	$n=1$		$n=\infty$	$n=5$	$n=3$	$n=1$
0,10	32,00	32,10	32,30	32,70	0,70	1,200	1,228	1,252	1,365
0,20	10,92	10,98	11,02	11,33	0,75	1,020	1,050	1,068	1,170
0,30	5,68	5,73	5,78	6,01	0,80	0,857	0,885	0,903	0,995
0,40	3,50	3,55	3,59	3,77	0,85	0,712	0,738	0,753	0,835
0,50	2,36	2,40	2,43	2,59	0,90	0,572	0,594	0,607	0,675
0,60	1,69	1,73	1,76	1,89	0,95	0,418	0,434	0,444	0,498

Задача решается в следующей последовательности: задаваясь ориентировочным значением n (например: 3, 4 или ∞), определяем k_n и соответствующий H, уточняется n как отношение $n = p/H$, а затем по n уточняется H.

Однако, как видно из данных табл. 2, при $n > 3$ влияние высоты стенки становится столь незначительным, что можно задаваться $n = 3$.

Ереванский политехнический
институт им. К. Маркса

Поступило 20.II.1970.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богомолов А. И., Михайлов К. А.* Гидравлика. М., 1965.
2. *Мостков М. А.* Гидравлический справочник. М., 1954, стр. 191—194.

А. В. ТЕМУРДЖЯН

НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ОБ УСТАНОВЛЕНИИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ИЛИ ЕДИНОГО НОРМАТИВА КОЭФФИЦИЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ*

Эффективность выбранного варианта проекта энергетического объекта определяется критерием экономичности—нормативным сроком окупаемости или нормативным коэффициентом эффективности. При исследовании эффективности капиталовложений возникает следующий принципиальный вопрос: каким должен быть нормативный срок окупаемости, единым для всех отраслей промышленности или дифференцированным по отдельным отраслям производства.

Вопрос сущности нормативного коэффициента эффективности (нормативного срока окупаемости) и методов его определения различными авторами трактуется по-разному. Одни считают, что во всех тех-

* В порядке обсуждения.

Таблица 2

$\frac{h_n}{H}$	Значения $A(k_n)$ при				$\frac{h_n}{H}$	Значение $A(k_n)$ при			
	$n=\infty$	$n=5$	$n=3$	$n=1$		$n=\infty$	$n=5$	$n=3$	$n=1$
0,10	32,00	32,10	32,30	32,70	0,70	1,200	1,228	1,252	1,365
0,20	10,92	10,98	11,02	11,33	0,75	1,020	1,050	1,068	1,170
0,30	5,68	5,73	5,78	6,01	0,80	0,857	0,885	0,903	0,995
0,40	3,50	3,55	3,59	3,77	0,85	0,712	0,738	0,753	0,835
0,50	2,36	2,40	2,43	2,59	0,90	0,572	0,594	0,607	0,675
0,60	1,69	1,73	1,76	1,89	0,95	0,418	0,434	0,444	0,498

Задача решается в следующей последовательности: задаваясь ориентировочным значением n (например: 3, 4 или ∞), определяем k_n и соответствующий H, уточняется n как отношение $n = p/H$, а затем по n уточняется H.

Однако, как видно из данных табл. 2, при $n > 3$ влияние высоты стенки становится столь незначительным, что можно задаваться $n = 3$.

Ереванский политехнический
институт им. К. Маркса

Поступило 20.II.1970.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богомолов А. И., Михайлов К. А.* Гидравлика. М., 1965.
2. *Мостков М. А.* Гидравлический справочник. М., 1954, стр. 191—194.

А. В. ТЕМУРДЖЯН

НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ОБ УСТАНОВЛЕНИИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ИЛИ ЕДИНОГО НОРМАТИВА КОЭФФИЦИЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ*

Эффективность выбранного варианта проекта энергетического объекта определяется критерием экономичности—нормативным сроком окупаемости или нормативным коэффициентом эффективности. При исследовании эффективности капиталовложений возникает следующий принципиальный вопрос: каким должен быть нормативный срок окупаемости, единым для всех отраслей промышленности или дифференцированным по отдельным отраслям производства.

Вопрос сущности нормативного коэффициента эффективности (нормативного срока окупаемости) и методов его определения различными авторами трактуется по-разному. Одни считают, что во всех тех-

* В порядке обсуждения.

нико-экономических расчетах должен применяться единый нормативный коэффициент эффективности [1—5], другие, наоборот — нормативный коэффициент должен быть дифференцированным по отраслям [6—12].

При принятии единого норматива для всех отраслей производства получаются большие искажения в энерго-экономических расчетах. Например, неэффективным могут стать такие уникальные ГЭС, как Братская, Красноярская, Саянская и Усть-Илимская*.

Сторонники дифференцирования нормативных коэффициентов эффективности предлагают установить разные нормативные коэффициенты для различных отраслей народного хозяйства.

Как сторонники единого, так и сторонники дифференцированного нормативного коэффициента эффективности не дают конкретно обоснованного доказательства для принятия того или иного предложения. Нет единства мнений по этому вопросу и в других социалистических странах. Например, в Польше и Венгрии норматив эффективности взят единым для всего хозяйства, а в Чехословакии и Румынии — дифференцированным по отраслям [12].

В капиталистическом хозяйстве существует единый процент на капитал, ибо там стоимость является регулятором развития отдельных отраслей промышленности. Поскольку в социалистическом хозяйстве прибыль или процент на капитал не является регулятором развития отдельных отраслей народного хозяйства, то нет условий для принятия (при всех оценках сравнительной экономичности вариантов) единого срока окупаемости для всех отраслей производства. В качестве исключения единый коэффициент эффективности можно допустить только для тех взаимозаменяемых видов продукции, которые производятся в разных отраслях промышленности. Это исключение не касается гидроэнергетики.

В каждом производстве имеется определенная зависимость себестоимости выпускаемой продукции C от величины капиталовложений K. Как показано в [5], с увеличением капиталовложений в себестоимости продукции возрастает амортизация основных фондов C_{am}, в то время как сумма других составляющих себестоимости ($C_c - V$) обычно уменьшается (C_c — расходы на сырье, топливо и материалы; V — зарплата). С увеличением капиталовложений себестоимость продукции уменьшается до определенного предела C_{min}, после чего она возрастает, так как увеличение амортизационных отчислений происходит быстрее. Следует отметить, что для различных предприятий зависимость $C = f(K)$ имеет неодинаковый характер. Одни предприятия могут требовать значительных капиталовложений, необходимых для работы, и не дать никакого снижения себестоимости продукции. Это особенно характерно для ГЭС, где удельный вес амортизационных отчислений составляет до 80—90%. Другие предприятия, напротив, могут требовать сравнительно больших размеров сырья, топлива, заработной

* По материалам Гидропроекта им. С. Я. Жука.

платы, никак не связанных с величиной основных фондов. Это характерно для ТЭЦ, где в себестоимости решающее значение имеет стоимость топлива.

Однако на всех предприятиях себестоимость в определенном смысле зависит от капиталовложений, и отсюда возникает задача нахождения для каждого из них наилучшего сочетания капитальных и эксплуатационных затрат.

К вопросу снижения себестоимости продукции нужно подойти не с точки зрения интересов одного предприятия, одной отрасли. Необходимо добиться снижения суммарной себестоимости общественной продукции.

Пусть имеем определенную сумму капитальных вложений

$$K = \sum_{i=1}^{l} K_i = \sum_{i=1}^{l} \sum_{j=1}^{m} K_{ij}, \tag{1}$$

где K — капитальные средства, вложенные в народное хозяйство;

K_i — то же, вложенные в i-ую отрасль;

K_{ij} — то же, вложенные в j-ое предприятие i-ой отрасли ($i = 1, 2, \cdots, l$; $j = 1, 2, \cdots, m$).

Докажем, что суммарная себестоимость продукции всех предприятий народного хозяйства

$$C = \sum_{i=1}^{l} C_i = \sum_{i=1}^{l} \sum_{j=1}^{m} C_{ij} \tag{2}$$

может достигнуть минимума лишь при условии применения в расчетах дифференцированного отраслевого коэффициента эффективности. Здесь C_i — себестоимость продукции, производимой в i-ой отрасли; C_{ij} — то же, производимой в j-ом предприятии i-ой отрасли.

Приведем математическую постановку задачи.

Требуется найти минимальное значение функции

$$C = f(K_{11} \cdots K_{1m},\ K_{21} \cdots K_{2m}, \cdots,\ K_{l1} \cdots K_{lm}) \tag{3}$$

при условиях:

$$\left.\begin{array}{c} \Phi_i = (K_{11} \cdots K_{1m},\ K_{21} \cdots K_{2m}, \cdots,\ K_{l1} \cdots K_{lm}) = 0 \\ \min K_{ij} \leqslant K_{ij} \leqslant \max K_{ij} \end{array}\right\}, \tag{4}$$

где $\Phi_i = \sum_{j=1}^{m} K_{ij} - K_i = 0$ — линейные функции, представляющие собой баланс капитальных вложений для каждой i-ой отрасли. Число уравнений равно числу отраслей производства l.

Для доказательства используем метод неопределенных множителей Лагранжа. Поскольку функции C, Φ_1, $\Phi_2, \cdots$, Φ_l непрерывны, в каждой точке рассматриваемой области имеют непрерывные частные производные по всем независимым переменным и ранг матрицы

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial\Phi_1}{\partial K_{11}} \cdots \frac{\partial\Phi_1}{\partial K_{1m}} & \frac{\partial\Phi_1}{\partial K_{21}} \cdots \frac{\partial\Phi_1}{\partial K_{2m}} \cdots \frac{\partial\Phi_1}{\partial K_{l1}} \cdots \frac{\partial\Phi_1}{\partial K_{lm}} \\ \frac{\partial\Phi_2}{\partial K_{11}} \cdots \frac{\partial\Phi_2}{kK_{1m}} & \frac{\partial\Phi_2}{\partial K_{21}} \cdots \frac{\partial\Phi_2}{\partial K_{2m}} \cdots \frac{\partial\Phi_2}{\partial K_{l1}} \cdots \frac{\partial\Phi_2}{\partial K_{lm}} \\ \cdots\cdots\cdots & \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots & \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \frac{\partial\Phi_l}{\partial K_{11}} \cdots \frac{\partial\Phi_l}{\partial K_{1m}} & \frac{\partial\Phi_l}{\partial K_{21}} \cdots \frac{\partial\Phi_l}{\partial K_{2m}} \cdots \frac{\partial\Phi_l}{\partial K_{l1}} \cdots \frac{\partial\Phi_l}{\partial K_{lm}} \end{vmatrix},$$

составленной из частных производных функций Φ_l, для каждой точки области равен l, то по крайней мере один из ее определителей l-го порядка не равен нулю. Например,

$$\frac{D(\Phi_1, \cdots, \Phi_l)}{D(K_{1m}, \cdots, K_{lm})} = \begin{vmatrix} \frac{\partial\Phi_1}{\partial K_{1m}} & \frac{\partial\Phi_1}{\partial K_{2m}} \cdots & \frac{\partial\Phi_1}{\partial K_{lm}} \\ \frac{\partial\Phi_2}{\partial K_{1m}} & \frac{\partial\Phi_2}{\partial K_{2m}} \cdots & \frac{\partial\Phi_2}{\partial K_{lm}} \\ \frac{\partial\Phi_l}{\partial K_{1m}} & \frac{\partial\Phi_l}{\partial K_{2m}} \cdots & \frac{\partial\Phi_l}{\partial K_{lm}} \end{vmatrix} = 1,$$

чем и объясняется независимость условий.

Введем l неопределенных множителей $\lambda_1, \lambda_2, \cdots, \lambda_l$ и, используя (3) и (4), составим следующую вспомогательную функцию:

$$F = \sum_{i=1}^{l} \sum_{j=1}^{m} C_{ij} + \lambda_1\left(\sum_{j=1}^{m} K_{1j} - K_1\right) + \cdots + \lambda_l\left(\sum_{j=1}^{m} K_{lj} - K_l\right).$$

Для достижения минимума функции F необходимо, чтобы ее производные по всем независимым переменным равнялись нулю, т. е.

$$\frac{\partial F}{\partial K_{ij}} = \frac{\partial C_{ij}}{\partial K_{ij}} + \lambda_i = 0, \tag{5}$$

причем, $C_{ij} = f(K_{ij})$ непрерывные функции ($i = 1, 2, \cdots, l$; $j = 1, 2, \cdots, m$).

Получаем систему lm уравнений. Кроме этого, имеем еще l уравнений связи. Таким образом, получается $(lm + l)$ уравнений со столькими же неизвестными. Следовательно, система решается единственным образом. Из системы уравнений (5) получаем:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -\frac{\partial C_{11}}{\partial K_{11}} = -\frac{\partial C_{12}}{\partial K_{12}} = \cdots = -\frac{\partial C_{1m}}{\partial K_{1m}} \\ \lambda_2 &= -\frac{\partial C_{21}}{\partial K_{21}} = -\frac{\partial C_{22}}{\partial K_{22}} = \cdots = -\frac{\partial C_{2m}}{\partial K_{2m}} \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \lambda_l &= -\frac{\partial C_{l1}}{\partial K_{l1}} = -\frac{\partial C_{l2}}{\partial K_{l2}} = \cdots = -\frac{\partial C_{lm}}{\partial K_{lm}}. \end{aligned} \tag{6}$$

Оптимальное соотношение между себестоимостью C_{ij} и капиталовложениями K_{ij} на j-ом предприятии соответствует минимальной величине полных затрат, т. е. связь между этими величинами выражается следующим образом:

$$З_{ij} = C_{ij} + P_{H_{ij}} K_{ij},$$

где $P_{H_{ij}}$ — нормативный коэффициент эффективности j-го предприятия i-ой отрасли.

Минимальные затраты будут при условии:

$$\frac{\partial З_{ij}}{\partial K_{ij}} = \frac{\partial C_{ij}}{\partial K_{ij}} + P_{H_{ij}} = 0,$$

откуда

$$P_{H_{ij}} = -\frac{\partial C_{ij}}{\partial K_{ij}}. \qquad (7)$$

Из выражений (6) и (7) следует, что нормативные коэффициенты эффективности предприятий, входящих в отрасли производства, равны между собой, т. е.

$$P_{H_{11}} = P_{H_{12}} = \cdots = P_{H_{1m}} = \lambda_1$$
$$P_{H_{21}} = P_{H_{22}} = \cdots = P_{H_{2m}} = \lambda_2$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$P_{H_{i1}} = P_{H_{i2}} = \cdots = P_{H_{im}} = \lambda_i.$$

Следовательно, при исследовании эффективности капиталовложений во всех случаях следует пользоваться дифференцированным нормативным коэффициентом эффективности, установленным по отраслям производства.

АрмНИИЭ

Поступило 2.IV.1969.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Белоусов М.* Искусственно запутанный вопрос. „НТО СССР", № 1, 1962.
2. *Воронин А.* Улучшить методику расчета. „НТО СССР", № 10, 1961.
3. *Крицкий С., Менкель М.* „Гидротехническое строительство", № 4, 1960.
4. *Новожилов В.* Изменение затрат и их результатов в социалистическом хозяйстве, применение математики в экономических исследованиях. Соцэкгиз, 1959.
5. *Ваат Л. Л., Захаров С. Н.* Методы экономической оценки в энергетике. 1962
6. *Осепян А. М.* Технико-экономические расчеты в энергетике. Ереван, 1962.
7. *Бузаев Г.* Основные вопросы методики определения экономической эффективности новых технологических процессов, экономическая эффективность капитальных вложений и новой техники. Соцэкгиз, 1959.
8. *Голомбер В.* Экономическая эффективность новой техники. Изд. „Знание", 1958.
9. *Ноткин А.* Вопросы определения экономической эффективности капитальных вложений в промышленности СССР. 1953.
10. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений, М., 1966.
11. *Хачатуров Т.* Экономическая эффективность капитальных вложений, 1964.
12. *Шуксталь Я.* „Вопросы экономики", № 10, 1961.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Մեխանիկական

Դ. Ա. Միհնասյան. Մակերևույթի խորդուբորդությունը ԵԲՄ-1 տիպի անգործ կարիչում շրջատաշելիս 3
Ա. Կ. Պողոսյան. Օփման չարտոտոր փորձարկումների ժամանակ անցման մասշտաբային գործակիցների ստացման հարցի շուրջը 7

Էլեկտրոտեխնիկա

Բ. Պ. Ասատրյան. Անցումային պրոցեսի հաշվարկումը ակտիվ դիմադրության պարունակող կերպափոխիչի շղթայում 13
Ա. Կ. Ոսկյան. Բազմաֆազ ինքնաբերման իեղուկցիոն գեներատորի հաշվարկի վերաբերյալ 21
Դ. Վ. Ալեքսանիկ, Յու. Մ. Գասպարյան, Թ. Ա. Նալչաջյան. Նոմինալի օպտիմումի ադապտիվ փնտրում 30

Հիդրավլիկա

Վ. Գ. Ավանեսյան. Բենդամյան պլաստիկների և պսևդոպլաստիկ հեղուկների կայունացած շարժումը խողովակաշարում 36
Ս. Մ. Իսահակյան. Մածուցիկ միջավայրում գնդիկի ազատ անկման վերաբերյալ . . . 43

Դիտական Բարեր

Կ. Ա. Թորոսգազարյան. Նոտորաղմապատկիչներում ֆոտոէլեկտրոնային հոսքի դեկամորումը արտաքին էլեկտրոդով 49
Վ. Հ. Թոքմաջյան. Ուղղած ցրաթափերի հաշվարկման վերաբերյալ 54
Ա. Վ. Թեմուրյան. Մի քանի դատողություններ էֆեկտիվության գործակցի դիֆերենցված կամ միասնական նորմատիվ սահմանելու վերաբերյալ 57

СОДЕРЖАНИЕ

Машиностроение

Г. С. Минасян. Шероховатость поверхности при точении безвершинным резцом БРМ-1 3
А. К. Погосян. К вопросу получения масштабных коэффициентов перехода при лабораторных испытаниях на трение 7

Электротехника

Т. П. Асатрян. Расчет переходного процесса в цепи преобразователя, содержащей активное сопротивление 13
С. К. Бохян. К расчету многофазного самовозбуждающегося индукционного генератора 21
Д. В. Свечарник, Ю. М. Гаспарян, Т. А. Налчаджян. Адаптивный поиск оптимума поминала 30

Гидравлика

В. Г. Аванесян. Установившееся движение бингамовских пластиков и псевдопластичных жидкостей в трубопроводе 36
С. М. Исаакян. О свободном падении шарика в вязкой среде 43

Научные заметки

К. А. Гулгазарян. Управление фотоэлектронным потоком в фотоумножителях внешним электродом 49
В. О. Токмаджян. К расчету подтопленных водосливов 54
А. В. Темурджян. Некоторые соображения об установлении дифференцированного или единого норматива коэффициента эффективности . . . 57

УДК 621.90.025+621.924.015

Шероховатость поверхности при точении безвершинным резцом БРМ-1. Мнацаян Г. С. «Известия АН АрмССР (серия ТН)», т. XXIII, № 4, 1970, 3—6.

Рассматриваются особенности применения безвершинного резца БРМ-1 с позиции формирования микронеровностей. На основании проведенных экспериментов приводятся фактические характеристики микронеровностей при точении металлов, резко отличающихся по своим физико-механическим свойствам. Эти данные приводятся в сопоставлении двух типов резцов — безвершинного и обычного.

Табл. 1. Илл. 2. Библ. 3 назв.

УДК 539.62+621.891

К вопросу получения масштабных коэффициентов перехода при лабораторных испытаниях на трение. Погосян А. К. «Известия АН АрмССР (серия ТН)», т. XXIII, № 4, 1970, 7—12.

С использованием аппарата теории подобия и размерности рассмотрен вопрос получения масштабных коэффициентов перехода от натуры к модели при испытаниях малогабаритных лабораторных образцов на трение при повторно-кратковременном режиме работы. Приведена общая система критериев подобия, полученная на базе π-теоремы анализа размерностей. Определены группы безразмерных выражений (критериев), полученные так, что в них входят параметры, характеризующие тот или иной основной процесс при трении. Получены масштабные коэффициенты перехода, выраженные через комплекс геометрических размеров натуры и модели.

Табл. 2. Библ. 8 назв.

УДК 517.93+621.314.1/.5

Расчет переходного процесса в цепи преобразователя, содержащей активное сопротивление. Асатрян Т. П. «Известия АН АрмССР (серия ТН)», т. XXIII, № 4, 1970, 13—20.

Рассмотрен вопрос расчета переходного процесса в цепи преобразователя, содержащей активное сопротивление. Ценой допущения о малости времени коммутации по сравнению с временем переходного процесса, задача приведена к интегрированию нелинейного дифференциального уравнения для тока с квадратичной характеристикой, имеющего точное решение.

Табл. 3. Илл. 3. Библ. 5 назв.

УДК 621.3.013.62+621.313.33

К расчету многофазного самовозбуждающегося индукционного генератора. Бохян С. К. «Известия АН АрмССР (серия ТН)», т. XXIII, № 4, 1970, 21—29.

Основываясь на общепринятой методике расчета асинхронных двигателей, с сохранением формы и детальности расчетных формул ВНИИЭМ разработана методика расчета многофазного самовозбуждающегося индукционного генератора. Приведены расчетные формулы, позволяющие их непосредственное применение в инженерных расчетах.

Иллюстр. 4. Библ. 5 назв.

УДК 62—507+512.942

Адаптивный поиск оптимума номинала. Свечарник Д. В., Гаспарян Ю. М., Налчаджян Т. А. «Известия АН АрмССР (серия ТН)», т. XXIII, № 4, 1970, 30—35.

Приводится постановка задачи определения оптимума номинала в общем виде, когда целевая функция дается в виде многомерного вектора. Для определения оптимального вектора предлагается применить градиентный метод поиска экстремума. Приведены алгоритмы определения оптимального вектора в случаях, когда многомерный закон распределения вероятностей параметров аналитически задан или не задан.

В более сложных случаях, когда необходимо установить оптимум номинала в процессе накопления статистических данных, для определения оптимального вектора предлагается стохастический алгоритм, который совпадает с алгоритмами процессов обучения и адаптации.

Табл. 1. Библ. 13 назв.

УДК 621.643.2/.3+532.5

Установившееся движение бингамовских пластиков и псевдопластичных жидкостей в трубопроводе. Авинесян В. Г. «Известия АН Арм. ССР (серия ТН)», т. XXIII, № 4, 1970, 36—43.

Сделана попытка решить некоторые частные задачи установившегося движения неньютоновской жидкости в трубопроводе: закон распределения скорости в сечении трубопровода, определение средней и максимальной скоростей, а также расхода неньютоновской среды в круглой трубе.

Табл. 2. Илл. 2. Библ. 14 назв.

УДК 532.13+539.61

О свободном падении шарика в вязкой среде. Исаакян С. М. «Известия АН Арм. ССР (серия ТН)», т. XXIII, № 4, 1970, 43—48.

Показано, что диапазон изменения числа Рейнольдса Re=0,001—6000 свободное падение шарика в вязкой среде имеет колебательный характер. Получены выражения, описывающие падение шарика в жидкости, в которых учитывается сила сцепления между шариком и средой (поверхностное натяжение). Отмечается, что частота колебания предопределяется силой сцепления между шариком и средой, плотностью шарика и среды, диаметром шарика. Она не зависит от вязкости среды скорости падения шарика.

Табл. 1. Илл. 3. Библ. 5 назв.

УДК 533.5+621.52+621.3032.27

Управление фотоэлектронным потоком в фотоумножителях внешним электродом. Гулканян К. А. «Известия АН АрмССР (серия ТН)», т. XXIII, № 4, 1970, 49—53.

Предложен способ повышения частотного предела фотоэлектронных умножителей, основанный на управлении электронным потоком электродом, находящимся вне вакуумного баллона прибора.

Илл. 4. Библ. 2 назв.

[illegible]