

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

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

Խ Մ Բ Ա Գ Ր Ա Կ Ա Ն Գ Ո Լ Ե Գ Ի Ձ

Վանյան Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Ադոնց Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Ալեքսեևսկի Վ. Վ., Զադոյան Մ. Ա., Հակոբյան Ռ. Ե.,
Սարգսյան Յու. Լ., Ստալյան Մ. Գ., Տեր-Ազարե Ի. Ա.,
Փինաջյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ):
Գլխավոր արտատպի քարտուղար Ստեփանյան Զ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

А. В. БЕЛУБЕКЯН, И. А. БЕЛУБЕКЯН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ
СБОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ
ТОННЕЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ

Традиционный способ получения высокопрочного бетона заключается в применении высокоактивного цемента при максимально возможном уменьшении водоцементного отношения. Однако при сравнительно небольшом водоцементном отношении (до 0,3) получаются малоподвижные бетонные смеси. Этот недостаток можно устранить введением в бетонную смесь пластифицирующих добавок. Наибольший технико-экономический эффект достигается при использовании суперпластификаторов, которые позволяют повысить подвижность смесей, увеличить прочность бетона и его водонепроницаемость.

Экспериментальными исследованиями установлено, что применение суперпластификаторов С-3 увеличивает прочность бетона, в среднем, на 20—25% или же при сохранении прочности и исходной подвижности уменьшается расход цемента на 50—100 кг на 1 м³, а также позволяет получать бетоны с высокой степенью водонепроницаемости, что особенно важно при возведении железобетонных обделок в обводненных и мало обводненных грунтах. При этом оптимальный расход суперпластификатора С-3 составляет 0,7—0,8% от массы цемента [1].

Испытывались элементы — блоки круглой сборной железобетонной обделки внутренним диаметром 5,5 м — криволинейные, толщиной 16 см, шириной 100 см, длиной по направляющей на уровне срединной поверхности 219,3 см, армированные стальным каркасом. Рабочая арматура каркаса — стержневая диаметром 10 мм класса А-III, двухрядная, выгнутая по дуге окружности. В поперечном сечении элемента, в каждом ряду содержится по 4 стержня диаметром по 10 мм. Поперечная арматура принята из стержней класса А-I диаметром 6 мм. Было изготовлено шесть образцов из тяжелого бетона. Состав бетона для всех образцов принят одинаковый: щебень базальтовый фракции 5—25 мм — 1120 кг; песок кварцевый — 500 кг; цемент Араратского завода активностью 450—600 кг. Первые два образца (ФТО-1, ФТО-2) были изготовлены без добавки суперпластификатора С-3, остальные четыре с добавкой С-3 в количестве 0,8% от массы цемента. Водоцементное отношение для первых двух образцов составило 0,38, а для остальных че-

тырех — 0,25. Одновременно были изготовлены и испытаны бетонные кубы и призмы. Результаты испытания кубов (R_k) и призм ($R_{пр}$) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний контрольных бетонных
призм и кубов

№ элемента	R_k , МПа	$R_{пр}$, МПа	R_p , МПа	$R_{пр}/R_k$
ФТО-1	40,9	33,8	2,55	0,83
ФТО-2	50,4	42	2,9	0,83
ФТО-3	64	51	3,6	0,8
ФТО-4	57,7	47	3	0,81
ФТО-5	63	50	3,7	0,79
ФТО-6	60,8	50,5	3,3	0,83

Элементы тоннельной обделки испытывали на специально сконструированном стенде по схеме, показанной на рис., имитирующей работу элемента в условиях, идентичных с его работой в сборной железобетонной обделке.

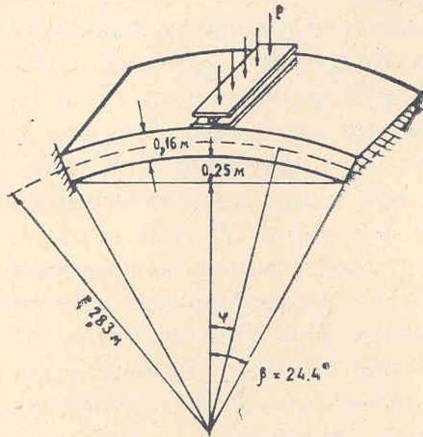


Рис. Схема загрузки элемента сборной тоннельной обделки.

Результаты статических испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытания элементов тоннельной обделки

№ элемента	$P_{гр}$, кН	P_p^0 , кН	P_p^T , кН	P_p^0/P_p^T
ФТО-1	70	360	357	1,01
ФТО-2	70	410	422	0,97
ФТО-3	100	500	494	1,01
ФТО-4	100	490	463	1,06
ФТО-5	100	510	485	1,05
ФТО-6	100	520	491	1,06

По нижней поверхности элементов обделки, под нагрузкой $P_{тр} = 0,18-0,2$ от разрушающей, были обнаружены поперечные, горизонтальные волосяные трещины. По мере повышения уровня нагрузки ширина раскрытия этих трещин увеличивалась. Разрушение всех элементов происходило в ключевой зоне элемента и это сопровождалось дроблением бетона на уровне верхней арматуры и существенным раскрытием трещины в бетоне на уровне нижней арматуры.

В табл. 2 величины разрушающих усилий P_p^0 получены из опыта, прямыми измерениями, а соответствующие расчетные величины P_p^r — по приведенной ниже методике, имея в виду, что испытанные элементы обделки представляют собой короткие, пологие, тонкие цилиндрические (круговые) оболочки. Дифференциальные уравнения оболочки, когда функции перемещений v и w зависят только от угла φ , имеют вид [2]:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 v}{d\varphi^2} \left(1 + \frac{h^2}{12a^2}\right) - \frac{dw}{d\varphi} + \frac{h^2}{12a^2} \frac{d^3 w}{d\varphi^3} &= 0; \\ \frac{1}{a} \frac{dv}{d\varphi} - \frac{w}{a} - \frac{h^2}{12a^3} \frac{d^4 w}{d\varphi^4} - \frac{h^2}{12a^3} \frac{d^3 v}{d\varphi^3} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Искомые функции перемещений v и w должны удовлетворить условиям симметрии:

$$v = 0; \quad \frac{dw}{d\varphi} = 0; \quad Q_\varphi = -\frac{P}{2} \quad \text{при } \varphi = 0 \quad (2)$$

и граничным условиям:

$$v = 0; \quad w = 0; \quad \frac{dw}{d\varphi} = 0 \quad \text{при } \varphi = \beta, \quad (3)$$

где Q_φ — поперечная сила, определяемая по формуле:

$$Q_\varphi = -\frac{D}{a^3} \left(\frac{d^2 v}{d\varphi^2} + \frac{d^2 w}{d\varphi^2} \right);$$

$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ — цилиндрическая жесткость при изгибе.

Интегрируя первое из уравнений (1) по φ с учетом, что $h^2/12a^2 \ll 1$, получаем:

$$\frac{dv}{d\varphi} = w - \frac{h^2}{12a^2} \frac{d^2 w}{d\varphi^2} + B. \quad (4)$$

Подставляя это значение во второе из уравнений (1) и приходим к дифференциальному уравнению относительно функции w

$$\frac{d^4 w}{d\varphi^4} + 2 \frac{d^2 w}{d\varphi^2} = \frac{12a^2}{h^2} B. \quad (5)$$

Общее решение уравнения (5) будет:

$$w = \frac{3a^2}{h^2} B\varphi^2 - \frac{c_1}{2} \cos\sqrt{2}\varphi - \frac{c_2}{2} \sin\sqrt{2}\varphi + c_3\varphi + c_4. \quad (6)$$

Из (4) с учетом (6) получаем выражения перемещения v :

$$v = \frac{B}{2} \left(\frac{2a^2}{h^2} \varphi^3 + \varphi \right) - \frac{c_1}{2\sqrt{2}} \sin \sqrt{2} \varphi - \frac{c_2}{2\sqrt{2}} \cos \sqrt{2} \varphi + \\ + c_3 \frac{\varphi^2}{2} + c_4 \varphi + D_0 \quad (7)$$

Удовлетворяя условиям (2) и (3), находим значения постоянных интегрирования:

$$c_1 = 0,989 \frac{Pa^3}{D}; \quad c_2 = 0,3525 \frac{Pa^3}{D}; \quad c_3 = 0,25 \frac{Pa^3}{D}; \\ c_4 = 0,4845 \frac{Pa^3}{D}; \quad B = -0,0005504 \frac{Pa^3}{D}; \quad D_0 = -0,125 \frac{Pa^3}{D}.$$

Зная выражения перемещений оболочки v и w , можно по следующим формулам вычислить величины изгибающего момента и нормальной силы в любом сечении оболочки:

$$M_\varphi = -\frac{D}{a^2} \left(\frac{dv}{d\varphi} + \frac{d^2w}{d\varphi^2} \right); \quad N_\varphi = -\frac{dQ}{d\varphi}. \quad (8)$$

В силу (6) — (8), между нагрузкой P , действующей на элемент обделки (рис. 1), и внутренними усилиями имеются следующие соотношения: в ключевом сечении элемента ($\varphi = 0$) —

$$M_\varphi = M_0 = 0,0544 Pa; \quad N_\varphi = N_0 = 2,02P; \quad (9)$$

в опорном сечении элемента ($\varphi = \beta$) —

$$M_\varphi = M_\beta = 0,0286 Pa; \quad N_\varphi = N_\beta = 2,04P.$$

Приведенные выше расчетные данные по характеру разрушения элементов обделки под нагрузкой согласуются с полученными опытными данными. Действительно, по расчетным данным $M_0 > M_\beta$, а $N_0 \approx N_\beta$, т. е. опорные участки элемента обделки — свода оболочки являются менее напряженными, чем ключевой участок и поэтому последний участок являлся наиболее вероятной зоной разрушения при заданной схеме нагружения (рис.).

Расчетную величину продольной силы в ключевом сечении свода оболочки, приложенной согласно (9) с эксцентриситетом $e_0 = M_0/N_0 = 0,00269$ ($a = 283$ см — радиус срединной поверхности цилиндрического свода), вычисляли по формулам [3] при $R_b = R_{np}$, принятого по табл. 1: $R_s = 365$ МПа; $A_s = 4\varnothing 10 = 3,14$ см²; $b = 100$ см; $h_0 = 14$ см. По вычисленным для каждого из шести испытанных элементов обделки значениям N_0 , согласно (9), определяли расчетные значения разрушающей нагрузки $P_p^r = \frac{N_0}{2,02}$, представленные в табл. 2.

Данные, приведенные в последней графе этой таблицы, свидетельствуют о совпадении расчетных и экспериментальных данных.

ԵրՊԻ իմ. Կ. Մարքս

19. IV. 1985

Ա. Վ. ԲԵԼՈՒԲԵԿՅԱՆ, Ի. Ա. ԲԵԼՈՒԲԵԿՅԱՆ

**ԵՐԱՔՐԵՏՈՆԵ ԹՈՒՆԵԼԱՅԻՆ ԵՐԵՍԱՐԿՄԱՆ ՀԱՎԱՔՈՎԻ ՏԱՐՐԵՐԻ
ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Ա մ փ ո փ ու մ

Ուսումնասիրվում է Ս—3 սուպերպլաստիֆիկատորի օգտագործմամբ բարձր ամրությամբ «ծոված ամրանավորված ծանր բետոնից երեսարկման տարրերի ստատիկ ամրությունը: Ցույց է տրված, որ ցեմենտի զանգվածի 0,8% չափով սուպերպլաստիֆիկատորի օգտագործումը միջին հաշվով 25 %-ով մեծացնում է երեսարկման տարրերի ամրությունը: Հայտնաբերված է բավարար համապատասխանություն փորձարարական և հաշվողական արդյունքների միջև:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Белубекян А. В., Вардеванян К. Г., Мкртумян С. С. Экспериментальные исследования сопротивления высокопрочного бетона на основе суперпластификатора. — Промышленность Армении, № 11, 1986, с. 39—41.
2. Тимошенко С. П. Пластинки и оболочки. — М., Физматгиз, 1963. — 635 с.
3. СНиП 2-03-01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции». — М.: Стройиздат, 1985. — 79 с.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Р. С. МИНАСЯН

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕСУЩИХ СТЕН И ОСНОВАНИЯ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ

Выявление действительного напряженно-деформированного состояния несущих стен крупнопанельного здания в основном зависит от взаимной работы несущей стены с основанием.

Предлагается достаточно точный и доступный метод определения реактивных усилий вдоль поверхности основания стены, которыми выражается взаимная работа стены и основания. В качестве исходного положения допускаем, что основным критерием совпадения действительного распределения усилий на основание стен фундамента с соответствующими теоретическими решениями является отсутствие больших пластических деформаций в зоне подошвы в пределах эксплуатационных нагрузок. Изложенный метод расчета полностью сохраняет предпосылки теории упругости, но одновременно свободен от громоздких вычислений, свойственных всем методам теории упругости. Приняты следующие дополнительные допущения, касающиеся расчетной схемы грунтового основания здания.

1. Здание поддерживается линейно-деформируемым бесконечным полупространством. Применение этой гипотезы оправдывается в данном случае тем, что нагрузки на фундамент обычно невелики и при обжатии и сдвиге основания фундамент работает как линейно-деформируемое простирающееся тело.

2. В вертикальном и горизонтальном направлениях грунт основания считается однородным.

Расчетная схема взаимодействия стены и основания приведена на рис. а.

Учитывая значительную жесткость здания и трение основания фундамента с грунтом, контактное условие принимается в виде:

$$V_0(x)|_{z=0} = K_0 x + K_1, \quad U_0(x)|_{z=0} = \text{const}, \quad (1)$$

где K_1 — поступательное перемещение основания вдоль оси oz ; K_0 — тангенс угла поворота здания относительно поверхности основания; $V_0(x)$ и $U_0(x)$ — соответственно вертикальное и горизонтальное перемещения поверхности основания, которые определяются из известных

выражений теории упругости для упругого полупространства [1]. В безразмерных координатах они соответственно имеют вид:

$$\begin{aligned}
 V_0(\xi) = & -\frac{1+\nu_0}{\pi E_0} a \int_{-1}^{+1} R(\bar{\xi}) [2(1-\nu_0) \ln |\xi - \bar{\xi}| + 1] d\bar{\xi} + \\
 & + \frac{(1+\nu_0)(1-2\nu_0)}{2E_0} a \left[\int_{-1}^{\xi} q(\bar{\xi}) d\bar{\xi} - \int_{\xi}^{+1} q(\bar{\xi}) d\bar{\xi} \right] d\xi + b_1; \\
 U_0(\xi) = & -\frac{(1+\nu_0)(1-2\nu_0)}{2E_0} a \left[\int_{-1}^{\xi} R(\bar{\xi}) d\bar{\xi} - \int_{\xi}^{+1} R(\bar{\xi}) d\bar{\xi} - \right. \\
 & \left. - \frac{1+\nu_0}{\pi E_0} a \int_{-1}^{+1} q(\bar{\xi}) [2(1-\nu_0) \ln |\xi - \bar{\xi}| + 1] d\bar{\xi} - b_2 \xi + b_3, \quad (2)
 \end{aligned}$$

где $\xi = \frac{x}{a}$; $\bar{\xi} = \frac{t}{a}$; b_1 , b_2 и b_3 — временно неизвестные постоянные, определяющие из граничных условий задачи; $R(\xi)$ и $q(\xi)$ — соответственно нормальные и сдвигающие условия, которые в качестве исходных функций удобно представить в виде бесконечных четных и нечетных степенных рядов [2]:

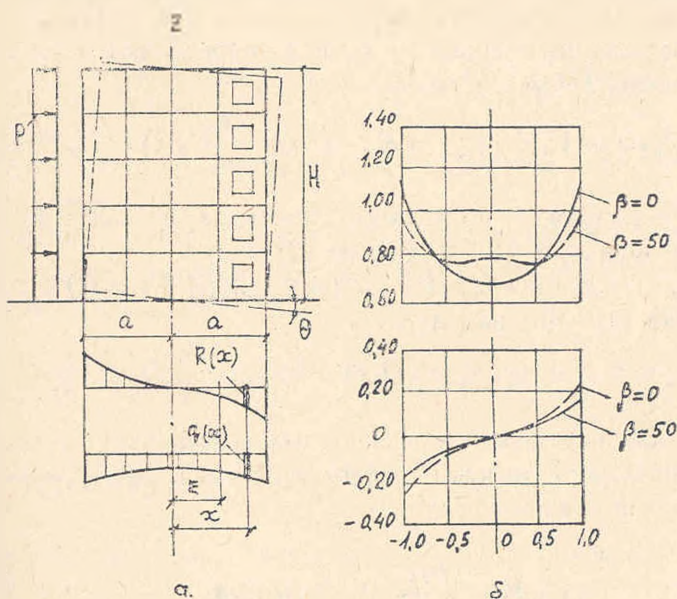


Рис.

$$q(\xi) = \sum_{n=0}^{\infty} D_{2n} p_{2n}(\xi); \quad R(\xi) = \sum_{n=0}^{\infty} c_{2n+1} p_{2n+1}(\xi), \quad (3)$$

где $p_{2n}(\xi)$ и $p_{2n+1}(\xi)$ — полиномы Лежандра I рода.

Дальнейшее решение задачи сводится к определению значений коэффициентов полинома Лежандра c_{2n+1} и D_{2n} . Для этого подставляем в уравнение (2) значения $q(\xi)$ и $R(\xi)$ из (3) и, выполняя интегрирование, получаем значения вертикальных $V_0(\xi)$ и горизонтальных $U_0(\xi)$ перемещений через бесконечные степенные ряды:

$$V_0(\xi) = -\frac{2(1-\nu_0^2)}{\pi E_0} \alpha \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} c_{2n+1} \frac{2}{4n+3} [(Q_{2n+2}(\xi) - Q_{2n}(\xi))] \right\} + \\ + \frac{(1+\nu_0)(1-2\nu_0)}{2E_0} \alpha \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} D_{2n} \frac{2}{4n+1} [p_{2n-1}(\xi) - p_{2n+1}(\xi)] \right\} + b_1; \quad (4)$$

$$U_0(\xi) = -\frac{2(1-\nu_0^2)}{\pi E_0} \alpha \left\{ D_0 [(1+\xi) \ln |\xi+1| + (1-\xi) \ln |\xi-1| - 2] + \right. \\ \left. + \sum_{n=0}^{\infty} D_{2n} \frac{2}{4n+1} [Q_{2n+1}(\xi) - Q_{2n-1}(\xi)] \right\} - \\ - \frac{(1+\nu_0)(1-2\nu_0)}{2E_0} \alpha \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} c_{2n+1} \frac{2}{4n+3} [p_{2n+2}(\xi) - p_{2n}(\xi)] \right\} b_2 \xi + b_3,$$

где $p_{2n}(\xi)$ и $Q_{2n}(\xi)$ — соответственно полиномы Лежандра I и II рода.

Для упрощения последующих вычислений задачи можно для практических целей ряды ограничить конечным числом членом, вследствие чего определение искомых коэффициентов c_{2n+1} и D_{2n} сводится к решению соответствующей конечной системы уравнений.

Неизвестные постоянные b_1 , b_2 и b_3 определяются из следующих условий относительных деформаций:

$$\bar{V}_0(\xi) = [V_0(\xi) - V_0(0)]|_{\xi=0} = K_0; \quad \bar{U}_0(\xi) = [U_0(\xi) - U_0(0)]|_{\xi=\pm 1} = 0. \quad (5)$$

Если сохраняем в полиномах Лежандра первые три члена, то неизвестные функции $q(\xi)$ и $R(\xi)$ из (3) будут:

$$q(\xi) = D_0 + D_2 p_2(\xi) + D_4 p_4(\xi); \quad R(\xi) = c_1 p_1(\xi) + c_3 p_3(\xi) + c_5 p_5(\xi). \quad (6)$$

Согласно (4) — (6) находим:

$$b_1 = b_2 = 0; \quad b_3 = 2D_0(1 - \ln 2) + \frac{1}{3} D_2 + \frac{1}{10} D_4. \quad (7)$$

Теперь для определения неизвестных коэффициентов c_1 , c_3 , c_5 , D_2 и D_4 необходимо составить шесть уравнений. Два уравнения получаем из условий равновесия статки:

$$\int_{-1}^{+1} q(\xi) d\xi = \frac{PH}{a}; \quad \int_{-1}^{+1} \xi R(\xi) d\xi = \frac{PH^2}{2a^2}. \quad (8)$$

Остальные четыре уравнения можно составить, исходя из требования тождества

$$\bar{V}_0(\xi) = K_0 \xi, \quad \bar{U}_0(\xi) \equiv 0 \quad (9)$$

методом редукции или коллокации. Здесь удобно использовать метод коллокации, для реализации которого уравнения (4) подставляем в условия (9). Причем, полученные равенства удовлетворяют только конечному номеру разъединенных точек « ξ ».

Необходимые вычисления были произведены для вертикальных и горизонтальных точек 0,4 и 0,8. К полученным четырем уравнениям прибавляем еще два уравнения статики (8), которые также будут содержать искомые неизвестные коэффициенты.

Отметим, что в предлагаемой методике определение коэффициентов полинома Лежандра остается еще сложным. Для радикального упрощения определения коэффициентов, при котором не надо составлять и решать систему уравнений, вводим в уравнения системы аппроксимирующие функции и, решив их относительно c_1 , c_3 , c_5 , D_2 и D_4 , получим простые выражения для искомых коэффициентов (с ошибкой менее 1,5%):

$$c_1 = \frac{3,1 + 0,5\beta}{5 + \beta} \alpha \frac{PH}{2a}; \quad c_3 = \frac{4,5 + 0,82\beta}{5 + \beta} \alpha \frac{PH}{2a};$$

$$c_5 = \frac{1,3 + 0,27\beta}{5 + \beta} \alpha \frac{PH}{2a}; \quad D_0 = \frac{PH}{2a}; \quad (10)$$

$$D_2 = \frac{26,5 - \beta}{41,8 + 1,2\beta + 0,03\beta^2} \cdot \frac{PH}{2a}; \quad D_4 = \frac{12,5 + \beta}{41,8 + 1,2\beta + 0,03\beta^2} \cdot \frac{PH}{2a},$$

где

$$\alpha = \frac{\pi(1 - 2\nu_0)}{4(1 - \nu_0)}; \quad \beta = \frac{6\pi(1 - \nu^2)}{1 - \nu_0^2} \left(\frac{E_0}{E} \right) \left(\frac{a}{H} \right)^3;$$

E_0 , ν_0 и E , ν — соответственно упругие характеристики грунта основания и стены здания.

Реактивные усилия $q(\xi)$ и $R(\xi)$ определяются формулами (6). Если подставить значения функции полиномов Лежандра из [3], то окончательный вид формул будет:

$$R(\xi) = c_1\xi + \frac{1}{2} c_3\xi(5\xi^2 - 3) + \frac{1}{8} c_5\xi(63\xi^4 - 70\xi^2 + 15);$$

$$q(\xi) = D_0 + \frac{1}{2} D_2(3\xi^2 - 1) + \frac{1}{8} D_4(35\xi^4 - 30\xi^2 + 3). \quad (11)$$

Эпюры нормальных и сдвигающих усилий приведены на рис. 6.

На основании предложенной методики можно сравнительно точно определить неизвестные контактные усилия между подошвой фундамента и поверхностью грунта, что является важным фактором при установлении напряженно-деформированного состояния несущих стен и их стыков крупнопанельного здания.

Предлагаемые формулы (10) и (11) были использованы при проектировании крупнопанельных зданий серии 129С, разработанной Армгоспроектom.

Арм СХИ

2 . XII. 1985

Ռ. Ս. ՄԻՆՍՅԱՆ

ԽՈՇՈՐԱՊԱՆԵԼ ՇԵՆՔԵՐԻ ԿՐՈՂ ՊԱՏԵՐԻ ԵՎ ՀԻՄՔԻ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՀՈՐԻԶՈՆԱԿԱՆ ՈՒԺԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ս. մ փ ո փ ու մ

Իրտարկվում է հիմքի հատակում հակազդող ուժերի մեծությունների որոշումը հորիզոնական ուժերի ազդեցության դեպքում: Շարադրվող մեթոդում պահանջվում են առաձգականության տեսության բոլոր նախադրյալները: Որոշվող նորմալ և սահքի ուժերը վերլուծվում են կեժանդրի բազմանդամի: Լուծումը պարզեցնելու նպատակով շարքերը սահմանափակվում են վերջավոր թվով: Շարքերի անհայտ գործակիցները որոշվում են ստատիկայի հավասարակշռության հավասարումներից, հիմքերի և նրա հատակի տեղափոխումների հավասարության պայմանից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Галин Л. А. Контактная задача теории упругости.— М.: Гостехиздат, 1953.— 37 с.
2. Минасян Р. С. Определение давления вдоль поверхности основания несущих стен крупнопанельного здания.— Промышленность Армении, 1986, № 1, с. 75—77.
3. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений.— М.: Ф. М., 1962.— 585 с.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

К. В. АЛЕКСАНДРЯН, А. И. ЦАТУРЯН, А. А. ТОРУНЯН

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ
НАПРЯЖЕНИЯ В ТВЕРДОМ ДИЭЛЕКТРИКЕ

При рассмотрении электрического пробоя и разрушения твердых диэлектриков механическое действие электрического поля сводится к давлению на диэлектрик, численно равному плотности энергии электрического поля [1]. Давление электрического поля вызывает механические напряжения в диэлектрике, величина которых перед пробоем может превосходить пределы текучести и прочности материала [2]. В таком случае электрическому разрушению будет предшествовать механическое разрушение материала [2].

Однако экспериментальные результаты по этому вопросу интерпретируются без учета предварительных напряжений, обусловленных внешними нагрузками или остаточными деформациями. Между тем практический интерес представляет анализ влияния электрического поля на механические напряжения в диэлектрике при напряженном состоянии последнего.

Предлагаемая ниже методика определения механических напряжений в твердом диэлектрике при воздействии электрического поля может быть принята как удобное средство для практических расчетов и для правильной интерпретации экспериментальных результатов, полученных в различных условиях.

В объеме рассматриваемого однородного диэлектрика мысленно выделим кубический элемент и главные механические напряжения на элементе обозначим через σ_1 , σ_2 и σ_3 [3] (рис.).

Пусть в рассматриваемом элементе действует электрическое поле с направляющими $\cos\alpha$, $\cos\beta$ и $\cos\gamma$ в системе xyz .

Механическое действие электрического поля на рассматриваемый элемент может быть представлено в виде натяжения по направлению поля $W_{||}$ (максвеллово натяжение) и давления $W_{\perp}$ (фарадеево давление), перпендикулярного направлению поля [4]. Эти формальные силы упругости численно равны объемной плотности электрической энергии взаимодействия при отсутствии стрикционных сил [4]:

$$W_{||} = W_{\perp 1} = W_{\perp 2} = W, \quad (1)$$

где $W_{\perp 1}$ и $W_{\perp 2}$ взаимно перпендикулярны с направлением поля.

Для упрощения рассмотрения направим $W_{\text{эл}}$ перпендикулярно оси z . Тогда с учетом упругих сил электрического поля компоненты напряжений на гранях элемента будут:

$$\begin{cases} \sigma_x = \sigma_1 + W \cos 2\alpha; & \tau_{xy} = 2W \cos \alpha \cdot \cos \beta; \\ \sigma_y = \sigma_2 + W \cos 2\beta; & \tau_{yz} = 2W \cos \beta \cdot \cos \gamma; \\ \sigma_z = \sigma_3 + W \cos 2\gamma; & \tau_{zx} = 2W \cos \gamma \cdot \cos \alpha, \end{cases} \quad (2)$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ — нормальные напряжения по осям x, y, z , а $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ — касательные напряжения на гранях элемента.

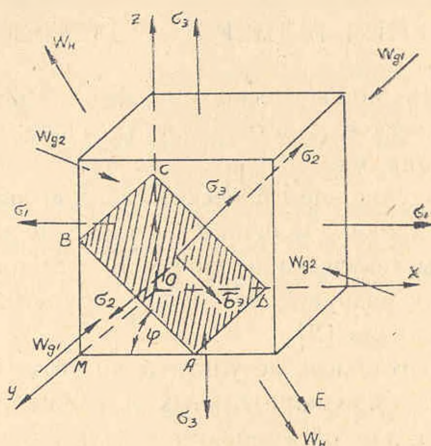


Рис. Схематическое изображение элемента объема напряженного диэлектрика в электрическом поле.

Появление на гранях рассматриваемого элемента касательных напряжений согласно (2) указывает, что под действием электрического поля направления x, y, z перестают быть главными.

Определение нового положения главных площадок и соответственно значения главных напряжений для объемного напряженного состояния материала производится с использованием трех инвариантных характеристик напряженного состояния [5]. Однако это решение невозможно представить в явном виде, что лишает наглядности рассматриваемую методику. Поэтому рассмотрим частный случай, когда напряженность электрического поля параллельна к одному из плоскостей принятой координатной системы, например, плоскости xoz . Для этого частного случая имеем:

$$\beta = \frac{\pi}{2}; \quad \gamma = \frac{\pi}{2} - \alpha.$$

Тогда система (2) принимает вид:

$$\begin{cases} \sigma_x = \sigma_1 + W \cos 2\alpha; & \tau_{xy} = 0; \\ \sigma_y = \sigma_2 - W; & \tau_{yz} = 0; \\ \sigma_z = \sigma_3 - W \cos 2\alpha; & \tau_{zx} = W \sin 2\alpha. \end{cases} \quad (3)$$

Учитывая, что натяжение W_{11} и давление W_{12} не вызывают никаких напряжений в плоскости xoz , получаем: $\sigma_{23} = \sigma_y = \sigma_2 - W$.

Из кубического элемента выделим треугольную призму $ABCDOM$, площадка $ABCD$ которой наклонена к плоскости xoy под углом φ . Компоненты напряжения на этой площадке обозначим через σ_φ и τ_φ .

Из уравнений равновесия треугольной призмы $ABCDOM$ следует, что

$$\sigma_\varphi = (\sigma_1 - W \cos 2\alpha) \sin^2 \varphi + (\sigma_3 - W \cos 2\alpha) \cos^2 \varphi - W \sin 2\alpha \sin 2\varphi, \quad (4)$$

$$\tau_\varphi = \left(W \cos 2\alpha - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right) \sin 2\varphi + W \sin 2\alpha \cos 2\varphi. \quad (5)$$

Площадка $ABCD$ окажется главной при $\tau_\varphi = 0$ и тогда из (4) можно определить соответствующее этому условию значение угла наклона одной из главных площадок:

$$\operatorname{tg} 2\varphi_1 = \frac{W \sin 2\alpha}{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} + W \cos 2\alpha}. \quad (6)$$

Вторая главная площадка, очевидно, соответствует наклону с углом $\varphi_1 + \frac{\pi}{2}$.

Значения главных напряжений σ_{13} и σ_{33} определяются из уравнения (4) при углах φ_1 и $\varphi_1 + \frac{\pi}{2}$:

$$\sigma_{13} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right)^2 + 2W \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right) \cos 2\alpha + W^2}; \quad (7)$$

$$\sigma_{33} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right)^2 + 2W \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right) \cos 2\alpha + W^2}. \quad (8)$$

Максимальное значение касательного напряжения можно вычислить из (5). Оно имеет место для угла φ_2 , определяемого из выражения

$$\operatorname{tg} 2\varphi_2 = \frac{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} + W \cos 2\alpha}{-W \sin 2\alpha}, \quad (9)$$

и равно

$$\tau_{m3} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right)^2 + 2W \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right) \cos 2\alpha + W^2}. \quad (10)$$

Из сравнения выражений (6) и (9) очевидно, что

$$\operatorname{tg} 2\varphi_1 \operatorname{tg} 2\varphi_2 = -1, \quad \text{т. е.} \quad \varphi_2 = \varphi_1 + \frac{\pi}{4}. \quad (11)$$

Из (11) следует, что как и при отсутствии электрического поля площадки максимальных касательных напряжений (площадки сдвига) смещены по отношению главных площадок на угол $\pi/4$.

Из выражений (7), (8) и (10) можно определить механические напряжения в диэлектрике при различных значениях угла α . Предельные значения этих напряжений соответствуют углам $\alpha = 0$ и $\alpha = \pi/2$:

$$\alpha = 0 - \sigma_{13} = \sigma_1 + W, \quad \sigma_{33} = \sigma_3 - W, \quad \tau_{m3} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} + W;$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \sigma_{13} = \sigma_1 - W, \quad \sigma_{33} = \sigma_3 + W, \quad \tau_{m3} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} - W.$$

Заметим, что для $\alpha = 0$ и $\alpha = \frac{\pi}{2}$ положения главных площадок не изменяются.

Опираясь существующими гипотезами определения прочности материалов [3], нетрудно установить, что независимо от вида напряженного состояния при $\alpha = 0$ прочность диэлектрика уменьшается, а

при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ — повышается. Например, при оперировании гипотезой

максимальных касательных напряжений для $\alpha = 0$ и $\alpha = \frac{\pi}{2}$ соответственно имеем:

$$\tau_{m3} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} + W \quad \text{и} \quad \tau_{m3} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} - W.$$

Приведенный анализ показывает, что влияние электрического поля на напряженное состояние диэлектрика прежде всего определяется направлением электрического поля. Для рассматриваемого случая касательное напряжение, вызывающее разрушение диэлектрика, увеличивается на величину W при $\alpha = 0$ и уменьшается на ту же величину при $\alpha = \frac{\pi}{2}$.

В импульсных электрических полях с напряженностью более 10^8 В/м для сегнетоэлектриков (титанат бария, сегнетова соль, фосфорнокислый калий и др.) плотность упругих сил электрического поля достигает десятков тысяч $\kappa\text{Па}$, т. е. может превышать напряжения предела прочности диэлектрика. Однако в зависимости от предварительного напряженного состояния диэлектрика и направления электрического поля эти силы могут способствовать разрушению диэлектрика или наоборот — предотвратить диэлектрик от разрушения. При этом предварительные напряжения в диэлектрике могут быть обусловлены как внешними нагрузками, так и остаточными явлениями. К числу последних относятся остаточные напряжения, возникающие при предварительном воздействии на диэлектрик электрического поля.

ՊԻՆԴ ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿՈՒՄ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ա մ փ ո փ ու մ

Էլեկտրական դաշտի մեխանիկական տեսության հիման վրա դիտարկվում է պինդ դիէլեկտրիկի մեջ առաջացած լարումների փոփոխությունը: Յույց է տրվում, որ էլեկտրական դաշտի ազդեցության աստիճանը կախված է էլեկտրական դաշտի լարվածության և գլխավոր մեխանիկական լարումների փոխադարձ դիրքից: Էլեկտրական դաշտը առավել քայքայիչ դեր է կատարում, երբ էլեկտրական դաշտը ուղղված է ամենամեծ գլխավոր լարման ուղղությամբ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Заводовская Е. К. Механические усилия в диэлектриках в сильных электрических полях.— ДАН СССР, 1951, т. 81, с. 541—542.
2. Воробьев А. А. Воробьев Г. А. Электрический пробой и разрушение твердых диэлектриков.— М.: Высшая школа, 1966.— 224 с.
3. Беляев Н. М. Сопротивление материалов.— М.: ГИФМЛ, 1962.— 856 с.
4. Тамм И. Е. Основы теории электричества.— М.: Наука, 1976.— 614 с.
5. Смирнов-Аляев Г. А. Сопротивление материалов пластическому деформированию.— М.: ГНТИМЛ, 1961.— 296 с.



ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

А. П. КАЗАНЧЯН, А. Т. ОГАНЕСЯН, А. А. ОГАНЕСЯН, А. Д. САДОЯН

ЛОКАЛЬНО РАВНОВЕСНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ
ВТОРИЧНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ДИЭЛЕКТРИКАХ

1. *Безловушечный диэлектрик во внешнем электрическом поле.* Известно [1], что существенное влияние на перенос электронов проводимости в диэлектрике оказывают локальные электронные состояния диэлектрика, связанные с примесями и структурными дефектами. В настоящей работе использована безловушечная модель диэлектрика. Предполагается наличие доноров, обладающих столь малой энергией связи электрона, которые не могут выступать в роли ловушек для электрона. Но с другой стороны эти доноры могут термически генерировать свободные электроны с определенной равновесной концентрацией $\bar{n}$.

Пусть в начальный момент времени к диэлектрику с помощью плоских металлических обкладок прикладывается постоянное напряжение U_0 , вызывающее прохождение электрического тока. Тогда уравнение неразрывности с учетом диффузии имеет следующий вид:

$$\frac{dn}{dt} + \operatorname{div}(\vec{n}\vec{u} - D \operatorname{grad} n) = 0, \quad (1)$$

где n — концентрация электронов; $\vec{u}$ — скорость дрейфа электронов под воздействием электрического поля; D — коэффициент диффузии. Выразив среднюю скорость $\vec{u}$ через подвижность b и напряженность электрического поля $\vec{E}$, уравнение (1) в случае одномерного тока, проходящего через плоскую структуру, примет вид:

$$\frac{dn}{dt} + b \frac{d}{dx}(En) - D \frac{d^2 n}{dx^2} = 0. \quad (2)$$

Решение уравнения (2) ищем в локально-равновесном виде:

$$n(x, t) = n_0 \exp \left| \frac{e\varphi(x, t)}{KT} \right|, \quad (3)$$

где e — абсолютная величина заряда электрона; $\varphi(x, t)$ — потенциал электрического поля; K — постоянная Больцмана; T — абсолютная температура. Используя выражение (3) для $n(x, t)$, уравнение (2) примет вид:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \left(D - \frac{bKT}{e} \right) \left[\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{e}{KT} \left(\frac{d\varphi}{dx} \right)^2 \right]. \quad (4)$$

Полученное уравнение для потенциала $\varphi(x, t)$ дает два различных условия стационарности. Это классическое соотношение Эйнштейна—Нернста между подвижностью и коэффициентом диффузии

$$D = bKT/e, \quad (5)$$

обеспечивающее равенство нулю стационарного тока, и уравнение для стационарного потенциала $\varphi_{st}(x)$

$$\frac{d^2\varphi_{st}}{dx^2} + \frac{e}{KT} \left(\frac{d\varphi_{st}}{dx} \right)^2 = 0, \quad (6)$$

обеспечивающее некоторое постоянное значение стационарного тока. В последствии предполагается, что соотношение Эйнштейна—Нернста не выполняется, т. к. в реальных диэлектриках всегда имеется отличный от нуля стационарный ток. Пренебрегая толщиной контактных слоев по отношению к толщине диэлектрика, имеем следующие граничные условия:

$$\varphi_{st}(0) = 0; \quad \varphi_{st}(d) = KU_0, \quad (7)$$

где d — толщина диэлектрика, а K — безразмерный множитель, удовлетворяющий условию: $0 < K < 1$.

С учетом граничных условий (7) получим выражение для стационарного потенциала:

$$\varphi_{st}(x) = \frac{KT}{e} \ln \left\{ \left[\exp \left(-\frac{eKU_0}{KT} \right) - 1 \right] \left(\frac{x}{d} \right) + 1 \right\}. \quad (8)$$

Если ток обусловлен положительно заряженными частицами, то легко получить несколько видоизмененное выражение для φ_{st}^+ :

$$\varphi_{st}^+(x) = -\frac{KT}{e} \ln \left\{ 1 - \left[1 - \exp \left(-\frac{eKU_0}{KT} \right) \right] \left(\frac{x}{d} \right) \right\}. \quad (9)$$

Для получения стационарного потенциала при наличии свободных отрицательных и положительных носителей заряда можно использовать обычную суперпозицию. В [2, 3] стационарное распределение потенциалов было определено экспериментальным путем, используя метод зондов.

Подставляя выражение (8) для $\varphi_{st}(x)$ в формулу (3) и воспользовавшись условием нормировки

$$\int n_{st}(x) dv = \bar{n}V, \quad (10)$$

где V — объем диэлектрика, получаем окончательное выражение для стационарной концентрации электронов

$$n_{st}(x) = \frac{2\bar{n}}{\exp\left(\frac{eKU_0}{KT}\right) + 1} \left\{ \exp\left(\frac{eKU_0}{KT}\right) - 1 \right\} \left(\frac{x}{d} + 1 \right). \quad (11)$$

Выражения для стационарного потенциала $\varphi_{st}(x)$ и концентрации $n_{st}(x)$ позволяют найти и плотность стационарного тока. Действительно, подставляя выражения для $\varphi_{st}(x)$ и $n_{st}(x)$ в формулу для плотности тока (1) и принимая неравенство

$$bKT/e > D, \quad (12)$$

получаем выражение для плотности электрического тока, который не зависит от координаты x :

$$j_{st} = \frac{2\bar{n}e}{d} \left(\frac{bKT}{e} - D \right) \operatorname{th} \left(\frac{eKU_0}{2KT} \right). \quad (13)$$

Формула (13) указывает также на границы применимости закона Ома для безловушечного диэлектрика. Если

$$eKU_0/2KT \ll 1, \quad (14)$$

заменяя гиперболический тангенс своим аргументом, получаем выражение для удельной электропроводности диэлектрика:

$$\gamma = e\bar{n} \left(b - \frac{De}{KT} \right). \quad (15)$$

Если же имеет место обратное неравенство, то j_{st} приближается к своему максимальному значению, которое не зависит от приложенного напряжения U_0 , если пренебречь зависимостью подвижности и коэффициента диффузии от напряженности поля.

2. *Процесс восстановления напряжения и оценка параметра κ .* Наиболее последовательная оценка параметра κ может быть произведена, исходя из микроскопического рассмотрения контактных явлений на границе металл-диэлектрик. Для этой цели использовано явление восстановления напряжения в диэлектрике. После установления стационарного состояния в диэлектрике, металлические обкладки кратковременно замыкают накоротко, а далее исследуют зависимость максимального восстановленного напряжения U_r от первоначального напряжения U_0 . Вычислим обусловленный перераспределением свободных зарядов средний по объему диэлектрика вектор поляризации по формуле:

$$\vec{P} = \frac{e}{U} \int \vec{r}' [\bar{n} - n_{st}] dv'. \quad (16)$$

Если воспользоваться формулой (11), то для вектора поляризации получим:

$$P = \frac{e\bar{n}d}{6} \operatorname{th} \left(\frac{eKU_0}{2KT} \right). \quad (17)$$

Проведя аналогию с известной зависимостью между вектором поляризации и поверхностной плотностью поляризационных зарядов, можно получить величину заряда q_z , связанного на обкладках, вследствие миграционной поляризации:

$$q_z = \frac{e\bar{n}V}{6} \operatorname{th}\left(\frac{eKV_0}{2KT}\right). \quad (18)$$

После замыкания металлических обкладок накоротко на них остается только заряд q_z , который после восстановления U_{vc} перераспределяется в соответствии с уравнением

$$q_z = q_0 + q' + q'_z, \quad (19)$$

где q_0 — свободный заряд; q' — связанный заряд, обусловленный быстрыми видами поляризации; q'_z — связанный заряд, обусловленный миграционной поляризацией при U_z . Подставляя выражения для q_z и q'_z в соответствии с (18) и заменяя

$$q_0 + q' = \varepsilon C_0 U_v, \quad (20)$$

где ε — статическая диэлектрическая проницаемость; C_0 — геометрическая емкость, окончательно получаем:

$$\operatorname{th}\left(\frac{eKV_0}{2KT}\right) = \frac{6\varepsilon_0\varepsilon}{e\bar{n}d^2} U_v + \operatorname{th}\left(\frac{eKU_v}{2KT}\right). \quad (21)$$

Уравнение (21) позволяет оценить порядок параметра K по измеренным данным U_0 и U_v , если имеется порядок величины для концентрации свободных носителей $\bar{n}$. Для нахождения зависимости $U_v = U_v(U_0)$, при $\bar{n} = 10^{20} \text{ м}^3$ [5] и заданных значениях $d = 6 \cdot 10^{-5} \text{ м}$, $\varepsilon = 4$ уравнение (21) решено на ЭВМ. Экспериментально установлено [4], что зависимость $U_v = U_v(U_0)$ носит характер насыщения, когда U_0 меняется в интервале: $100 \text{ В} \leq U_0 \leq 2000 \text{ В}$. Уравнение (21) дает вышеуказанный характер зависимости $U_v = U_v(U_0)$, если аргумент гиперболического тангенса удовлетворит неравенству

$$eKU_0/2KT \leq 2. \quad (22)$$

Неравенство (22) следует из табличной зависимости гиперболического тангенса от своего аргумента. При комнатных температурах и $U_0 \leq 2000 \text{ В}$ неравенство (22) будет удовлетворено, если $K \sim 10^{-4}$. Такое малое значение K обусловлено выбором безловушечной модели диэлектрика.

Таким образом, получены аналитические выражения для стационарного потенциала и тока. Учтено искажение электрического поля в диэлектрике, позволяющее реально оценить рабочую напряженность в кабельной и конденсаторной изоляции и прогнозировать их срок службы.

ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿԱԵՐՈՒՄ ԵՐԿՐՈՐԴԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄԱՍԻՐՄԱՆ
ՏԵՂԱՅԻՆ-ՀԱՎԱՍԱՐԱԿՇՈՎԱԾ ՄՈՏԵՑՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Ստատիկ ֆիզիկայում օգտագործվող տեղային-հավասարակշռված մոտեցումով ընդլայնված է դիէլեկտրիկի կայունացված էլեկտրական վիճակի հասկացողությունը: Ենթադրվում է, որ շարժունության և դիֆուզիայի գործակցի միջև էյնշտեյն-Ներնստի հարաբերակցությունը չի ապահովվում: Կայունացված պոտենցիալի և հոսանքի համար ստացված են վերլուծական արտահայտություններ: Հաշվի է առնված մերձէլեկտրոդային բևեռացման շնորհիվ դիէլեկտրիկում էլեկտրական դաշտի աղավաղումը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Many A., Rakavy C. — Phys. Rev., 1962, 126, p. 1980—1988.
2. Электрические свойства полимеров /Под ред. Б. И. Сажина.— Л.: Химия, 1970.— 376 с.
3. Сажин Б. И., Шуваев В. И., Скурихина В. С. Электропроводность полимерных диэлектриков в зависимости от напряженности электрического поля.— Высокомолекулярные соединения, 1970, т. (А), XII, № 12, с. 2728—2735.
4. Оганесян А. Т. Исследование абсорбции зарядов в электрических конденсаторах.— Дис. ... канд. техн. наук.— Л., 1965.— 138 с.
5. Сажин Б. И., Шуваев В. И., Будтов В. П. Ионные инжекционные токи в полимерных диэлектриках.— Высокомолекулярные соединения, 1970, т. (А), XII, № 11, с. 2393—2399.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

С. В. ГАНДИЛЯН

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
СОВМЕЩЕННОЙ МАГНИТО-ЭЛЕКТРОИНДУКЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ

В работах [1, 2] на базе критического анализа физических процессов энергообмена, происходящих в индуктивных и емкостных электрических машинах, с точки зрения инверсно-сопряженной системы уравнения электродинамики и электромеханики была установлена возможность реализации совмещенной индуктивно-емкостной электрической машины, в одном рабочем объеме которой будут совмещены магнитоиндукционная (индуктивная) и электроиндукционная (емкостная) машины и соответственно в них при энергообменных процессах существенную роль будут играть как магнитное, так и электрическое потосцепление.

С целью экспериментального исследования физических закономерностей процессов миграции энергии от ротора к статору в воздушном зазоре машины (в пространстве абсолютного вакуума) разработана конструкция совмещенной электрической машины как сложная электромеханическая система, состоящая из объединенных на одном валу синхронных магнитоиндукционных и электроиндукционных машин, между статорных и роторных электрических цепей которых имеется жесткая механическая связь и общий воздушный зазор.

Рассматриваемая совмещенная машина состоит из четырех контурных электрических цепей: две статорные трехфазные цепи (S — индуктивная, R — емкостная) и соответственно две роторные цепи возбуждения постоянного магнитного — F и электрического — P поля (рис. 1).

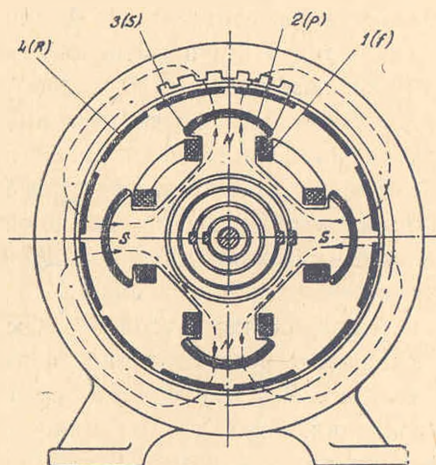


Рис. 1.

Возбуждение постоянного магнитного потока $\left(\Phi = \int B ds\right)$ (в. с.)

магнитоиндукционной части осуществляется с помощью обмотки возбуждения f , питаемой постоянным током, а возбуждение постоянного электрического потока $\left(Q^* = \int D^* ds^*\right)$ (а. с.) реализуется с помощью

дипольных электродов, питание которых осуществляется через специальные контактные кольца от источника постоянного высокого напряжения. При реализации конструкций совмещенной машины была обеспечена надежность работы двух подобластей машины (между индуктивными и емкостными фазными цепями на статоре и цепями возбуждения на роторе была осуществлена слойная изоляция в цилиндрической форме) [3].

Основной вывод, который можно сделать на основании результатов экспериментального исследования совмещенной машины, состоит в том, что если магнитоиндукционные и электроиндукционные подсистемы совмещенной машины не являются электрически связанными, то их совместная работа в генераторном режиме идентична к их независимым режимам. При этом закон магнитоэлектрической индукции $\theta = -\frac{d\psi}{dt}$ и закон электромагнитной индукции $\theta^* = -\frac{dQ^*}{dt'}$, кото-

рые в совмещенной машине действуют в одном рабочем объеме, в энергообменных процессах энергетически не взаимосвязаны. Это подтверждает реальность основных теоретических принципов инверсно-сопряженной трактовки электродинамики и электромеханики.

В машинах индуктивного типа, в условиях сверхпроводимости фазных обмоток статора $R = 0$, при замыкании контура энергообмен между ротором и статором невозможен вследствие поляризации магнитного потока возбуждения. В сверхпроводящих статорных обмотках возникает такой противодействующий поток (поток без тока), что взаимный поток магнитного поля равен нулю (силовые линии магнитного поля возбуждения обходят статорные обмотки). Для осуществления энергообмена необходимо в статорной цепи машины образовать $C \neq 0$ или $R \neq 0$ (нагрузка магнитоиндукционной подсистемы должен носить активно-емкостной характер).

Совершенно другой процесс происходит в емкостных генераторах. При размыкании статорной цепи машины (т. е. в условиях абсолютной изоляции $R = \infty$) происходит поляризация электрического потока возбуждения. В емкостных машинах, фазные цепи которых образованы электродами, в разомкнутой статорной цепи возникает такой противодействующий электрический поток (поток реакции без напряжения), что взаимный поток сцепления электрического поля равен нулю. Для осуществления энергообмена необходимо в статорной цепи образовать $L \neq 0$ или $R \neq 0$ (нагрузка в электроиндукционных генераторах должна носить активно-индуктивный характер).

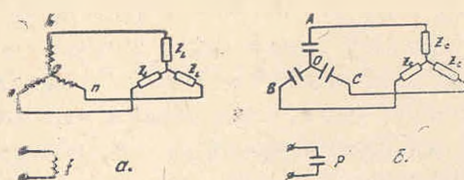


Рис. 2.

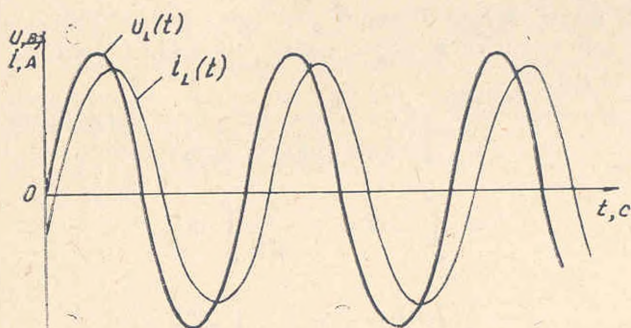
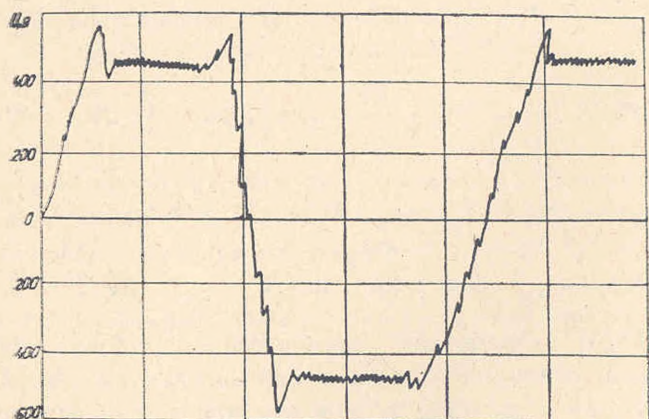
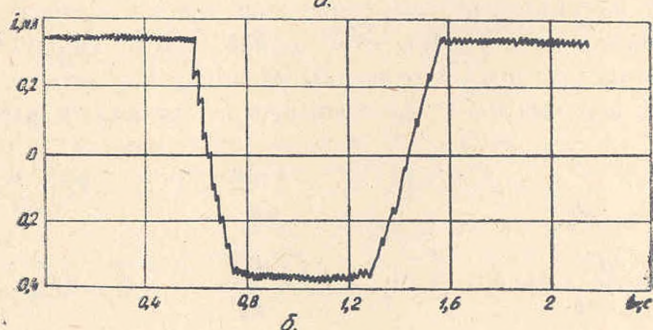


Рис. 3.



а.



б.

Рис. 4.

На рис. 3 и 4 приведены временные характеристики токов и напряжении для магнитоиндукционных и электроиндукционных подсистем совмещенной машины в генераторном режиме (соответственные схемы

на рис. 2). При этом нагрузка магнитондукционной части носит активно-индуктивный характер $\cos\varphi = 0,8$, а нагрузка электрондукционной части — активный характер $R = 1$ кОм. Из анализа полученных для электрондукционной части осциллограмм напряжения и тока следует, что емкостные генераторы имеют малые рабочие токи, но обеспечивают высокое напряжение с малой постоянной времени ($\tau_e \ll \tau_m$). Это позволяет использовать их без предварительных повышающих трансформаторов (в ускорительной технике, для зарядки конденсаторных накопителей энергии в различных процессах электронно-ионной технологии и т. п.).

Действие совмещенной машины описывается уравнениями инверсно-сопряженной системы электродинамики и электромеханики:

$$\theta = \oint Edt = - \frac{d}{dt} \int Bds; \quad (1)$$

$$i = \oint Hdl = \int jds + \int \frac{\partial D}{\partial t} ds; \quad (2)$$

$$t^* = \oint H^* dl^* = - \frac{d}{dt'} \int D^* ds^*; \quad (3)$$

$$v = \oint E^* dl^* = \int a ds^* + \int \frac{\partial B^*}{\partial t'}; \quad \int D ds = \int \rho_e d\Omega, \quad \text{div } B = 0;$$

$$\int B^* ds^* = \int \rho_m d\Omega; \quad D = \text{rot } k;$$

$$\text{div } D = \rho_e; \quad B = \text{rot } A; \quad \text{div } B^* = \rho_m; \quad \text{div } D^* = 0. \quad (4)$$

В работе [5] разработана аналитическая теория электроиндукционных машин переменного тока с использованием общей методологии, принятой при исследовании индуктивных машин переменного тока (синхронный электромагнитный генератор представляется уравнениями электрических цепей). При этом полной модели синхронной совмещенной машины относительно системы координатных осей $d, q, 0$, жестко связанных с ротором FP , соответствует следующая система:

$$\begin{aligned} \frac{d\Psi_0}{dt} + J_0 R = U_0; & \quad \frac{dQ_0^*}{dt'} + V_0 G = J_0; \\ -\frac{d\Psi_i}{dt} + J_i R_i = U_i; & \quad \frac{dQ_f^*}{dt'} + V_f G_f = J_f; \\ -\frac{d\Psi_d}{dt} - \omega \Psi_q - J_d R = U_d; & \quad -\frac{dQ_d^*}{dt'} - \omega Q_q^* - V_d G = J_d; \\ -\frac{d\Psi_q}{dt} + \omega \Psi_d - J_q R = U_q; & \quad -\frac{dQ_q^*}{dt'} - \omega Q_d^* - V_q G = J_q. \end{aligned} \quad (5)$$

Эти уравнения следует дополнить уравнением движения ротора

$$M_b = (T_e + T_m) \frac{d^2\gamma}{dt^2} + k \frac{d\gamma}{dt} + (V_d Q_q^* - Q_q^* V_q) + (J_d \Psi_q - \Psi_d J_q),$$

где $\gamma = \int_0^t \omega dt$ — определяет положение ротора относительно статора.

Совмещенная машина после доработки и усовершенствования ее конструкции, которое во многом зависит от создания материалов, обладающих сегнетоэлектрическими свойствами в электрических полях большой напряженности и, одновременно, ферромагнитными свойствами в магнитных полях также большой напряженности, и освоения технологии изготовления найдет широкое применение в различных отраслях техники.

ИРФЭ АН АрмССР

24. IV. 1986

Ս. Վ. ՂԱՆԻՋԱՆ

ՀԱՄԱՅՆՎԱԾ ՄԱԳՆԻՍԱՌԻՆԱԿԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Ա. Վ. Փ. Ն. Փ. Ա. Ի. Մ.

Էներգափոխանակման պրոցեսների ֆիզիկական օրինաչափությունների առանձնաբերման համար մշակված է կոնստրուկցիա և համապատասխան տեղադրված հիմունքներ՝ համատեղված մագնիսառականային էլեկտրական մեքենայի համար:

Բերված են փորձնական հետազոտման արդյունքները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Иосифьян А. Г. О принципах теоретической электромеханики.— ДАН АрмССР, 1970, т. 11, № 4, с. 33—43.
2. Иосифьян А. Г. О принципах энергообмена в электромагнитном осцилляторе.— ДАН АрмССР, 1978, т. 57, № 4, с. 83—93.
3. Иосифьян А. Г. Вопросы электромеханики.— М.: Энергия, 1974.— 226 с.
4. Латам Р. В. Вакуумная изоляция установок высокого напряжения.— М.: Энергия, 1985.— 185 с.
5. Иосифьян А. Г., Аресян Г. Л. Основы теории синхронных емкостных машин переменного тока.— ДАН АрмССР, 1981, т. 73, № 1, с. 103—110.
6. Бессонов А. А. Линейные электрические цепи.— М.: Высшая школа, 1983.— 333 с.

ЭНЕРГЕТИКА

Л. Г. АСАТЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СРЕДСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ
НЕРАВНОМЕРНОСТИ И РЕЗЕРВИРОВАНИЯ В ГАЗОСНАБЖЕНИИ
С УЧЕТОМ ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ВЗАИМОСВЯЗИ

Газоснабжающая система, представляющая собой одну из быстро-развивающихся систем энергетики, призвана бесперебойно обеспечивать потребителей природным газом в соответствии с переменной во времени потребностью. В силу наличия жесткой технологической связи между потребителями, промыслами и газопроводами производственные мощности системы вынуждены работать в режиме потребления. А т. к. режим газопотребления носит крайне неравномерный характер, то мощности элементов системы будут незагружены, что в конечном итоге снизит эффективность капитальных вложений в систему газоснабжения. В борьбе с нежелательными последствиями неравномерности газопотребления проводится ряд мероприятий по регулированию неравномерности в газоснабжении — создание подземных хранилищ газа (ПХГ), пиковых установок (ПУ) по снижению и регазификации природного газа (СПГ) и других средств. В соответствии с [1, 2] для каждого значения пропускной способности газопровода существуют соответствующие значения объемов регулирования неравномерности и аварийных недопоставок газа потребителю. Следует отметить также, что пропускная способность газопровода и объем регулирования находятся в зависимости от потребного объема резервирования. Эта зависимость обусловлена возможностью создания (закачки) резервного объема газа в средство.

Такая возможность многоцелевого использования элементов системы и существование функциональной взаимосвязи между параметрами регулирования и резервирования в газоснабжении обуславливают комплексное решение этих задач [3]. Успешное решение комплексной задачи требует разработки и применения экономико-математической модели, отражающей разнохарактерность функционирования элементов газоснабжающей системы, внутренние и внешние связи их параметров.

В настоящей работе предлагается экономико-математическая модель комплексной задачи по оптимизации параметров элементов системы, предназначенных для регулирования неравномерности и компенсации аварийных недопоставок газа в газоснабжении с учетом их взаимосвязи.

Рассматриваемая система газоснабжения — фрагмент единой газоснабжающей системы — представляется в виде множеств: узлов $j \in D$ — потребления, точек ветвления газопроводов, промыслов; участков газопроводов (УГ) $k \in \Gamma$, расположенных между узлами; средств (ПХГ, ПУ по СПГ и др.) $i \in S$, предназначенных для регулирования и резервирования в газоснабжении.

Задача сводится к определению, при минимуме приведенных затрат по системе, значений параметров ее элементов, способствующих регулированию неравномерности добычи и транспорта газа и обеспечивающих заданный уровень газопотребления при уровне надежности (коэффициента производительности) H :

$$\Phi = \sum_{k \in \Gamma} 3_k^r(V_k^r, Q_k^{rp}) + \sum_{j \in n \in D} 3_j^a(V_j^a + Q_j^a(1-H)) + \\ + \sum_{i \in S} 3_i^r(G_i^r, Q_i^{rp}) \rightarrow \min.$$

Параметры элементов системы, обеспечивающие поставленную цель, взаимосвязаны уравнением материального баланса в каждом узле системы

$$\sum_{k \in \Gamma_j^+} V_{kj}^r - \sum_{k \in \Gamma_j^-} V_{kj}^r + T_p \sum_{i \in S_j} G_{ij}^{cR} + V_j^a + \sum_{k \in M_j} \sum_{l \in D_{kj}} Q_{kl}^n - \\ - \sum_{k \in M_j} \sum_{l \in D_{kj}} Q_{kl}^{rp} - \sum_{i \in S_j} Q_{ij}^{cp} - V_j^n - Q_j^n(1-H) = 0, \quad j \in D.$$

На переменные налагаются ограничения:

$$\sum_{k \in n_j} V_{kj}^r \leq V_j^a \leq \min \left\{ V_j^{aT}, \sum_{l \in D_j} V_l^n \right\}, \quad j \in n \in D;$$

$$V_{kj}^r \leq V_{kj}^r \leq \sum_{l \in n_{kj}} V_l^n, \quad D_{kj} \subseteq D, \quad k \in \Gamma_j^+ \cup \Gamma_j^-;$$

$$0 \leq G_{ij}^{cR} \leq \min \left\{ G_{ij}^{cr}, \sum_{l \in D_{ij}} \hat{G}_l^n - \sum_{k \in \Gamma_j^+} G_{kj}^r \right\}, \quad i \in S_j \subseteq S, j \in D, \quad D_{ij} \subseteq D;$$

$$0 \leq Q_{ij}^{cp} \leq \min \left\{ Q_{ij}^{cr} - Q_{ij}^{cR}, \sum_{k \in M_j} \sum_{l \in D_{kj}} Q_{kl}^n - Q_j^n(1-H) \right\},$$

$$\sum_{k \in \Gamma_j^+} V_{kj}^r - \sum_{k \in M_j} \sum_{l \in D_{kj}} Q_{kl}^n \leq 0, \quad i \in S_j \subseteq S, \quad j \in D;$$

$$0 \leq Q_{kj}^{rp} \leq \sum_{l \in D_{kj}} Q_{kl}^n - Q_j^n(1-H), \quad k \in \Gamma_j^+, \quad j \in D.$$

Принятые обозначения: $\Gamma_j^+, \Gamma_j^- \subseteq \Gamma$ — множество соответственно входящих и выходящих УГ у j -го узла; $D_j \subseteq D$ — множество узлов, питающихся j -ым узлом (промыслом); $D_{kj}, D_{ij} \subseteq D$ — множество узлов, питающихся соответственно k -ым УГ и i -ым средством у j -го узла; $S_j \subseteq S$ — множество средств у j -го узла; $n \subseteq D$ — множество промыслов в системе газоснабжения; $M_j \subseteq \Gamma$ — множество k -ых УГ, технологически связанных между собой и питающих j -ый и после него расположенные узлы потребления; $n_j \subseteq \Gamma$ — множество k -ых УГ, питающихся j -ым промыслом; V_{kj}^r — объем неравномерной работы k -го УГ без учета его аварии у j -го узла; Q_j^n — объем газопотребления j -го узла за расчетный период; V_j^n — объем неравномерности газопотребления j -го узла; T_p — продолжительность (365 сут) расчетного периода (года) планирования; V_j^A — объем неравномерной работы j -го промысла; G_{ij}^{cR} — производительность по отбору (регазификации) i -го средства у j -го узла, предназначенная для регулирования; H — коэффициент обеспечения потребителей газом — уровень надежности (относительное значение удовлетворения спроса); Q_{kj}^a — объем аварийной недопоставки газа k -ым УГ j -му узлу потребления; Q_{kj}^{an} — объем аварийной недопоставки газа k -ым УГ в провал l -го газопотребления; Q_{ij}^{cr} — объем резервирования i -го средства у j -го узла для компенсации аварийных недопоставок газа; Q_{kj}^{rp} — компенсируемый объем недопоставок газа за счет создания резервных мощностей на k -ом УГ у j -го узла; Q_{kj}^r — минимальное значение пропускной способности k -го УГ у j -го узла, обеспечивающей закачку (снижение) максимального объема газа для регулирования неравномерности с учетом аварии на газопроводе; V_{kj}^2 — минимальное значение объема неравномерности k -го УГ с учетом его аварии у j -го узла, соответствующее G_{kj}^r ; Z_k^r, Z_i^c, Z_j^A — соответственно приведенные затраты на сооружение и эксплуатацию k -го УГ, i -го средства, j -го промысла; Q_{ij}^{cT} — технически допустимый объем i -го узла; G_{ij}^{cT} — технически возможная производительность по отбору газа i -го средства у j -го узла; Q_j^A — годовой объем добычи газа на j -ом промысле; V_j^{AT} — объем неравномерности, соответствующий разности технически допустимого и фактического (годового) объемов добычи газа ($V_j^{AT} = Q_j^{AT} - Q_j^A$); G_l^n — максимально-суточный за расчетный период расход газопотребления l -го узла.

Таким образом, разработана экономико-математическая модель совместной оптимизации параметров элементов системы, предназначенных для регулирования неравномерности и компенсации аварийных недопоставок газа в газоснабжении с учетом их функциональной взаимомо-

связи. Использование разработанной модели при планировании и проектировании развития газоснабжающих систем позволит сэкономить материальные средства в результате совмещенной оптимизации функции элементов системы для целей регулирования неравномерности и резервирования в газоснабжении.

ЕКО ВНИИЭГазпрома

17. IV. 1985.

1. 2. ԱՍՍՏՐՅԱՆ

ԳԱՋԱՄԱՏԱԿԱՐԱՐՄԱՆ ԱՆՀԱՎԱՍԱՐԱՋԱՓՈԹՅԱՆ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՈՒ ՊԱՀԵՏԱԿՈՐՄԱՆ ՏԱՐՐԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՕՊՏԻՄԻԶԱՑԻԱՆԸ ՆՐԱՆՅ ՓՈԽԱԳԱՐՋ ՖՈՒՆԿՑԻՈՆԱԼ ԿԱՊԻ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Բերված է գազամատակարարման անհավասարաչափությունը կարգավորող և վթարից առաջացած գազի թերի մատակարարումը փոխհատուցող դադառար համակարգի տարրերի համատեղ օպտիմիզացման տնտեսա-մաթեմատիկական մոդելը՝ հաշվի առնելով նրանց միջև գոյություն ունեցող փոխադարձ ֆունկցիոնալ կապը: Մշակված մոդելի կիրառումը դադառամատակարարող համակարգերի դարգացման, պլանավորման և նախագծման ընթացքում հնարավորություն կստեղծի տնտեսել նյութական միջոցներ, ի հաշիվ դադառամատակարարման անհավասարաչափությունը կարգավորող և պահեստավորում ստեղծող համակարգի տարրերի ֆունկցիաների համատեղ օպտիմիզացման:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Вольский Э. Л., Гарляускас А. И., Герчиков С. В. Надежность и оптимальное резервирование газовых промыслов и магистральных газопроводов.— М.: Недра, 1980.— 279 с.
2. Временные методические положения по расчету оптимального регулирования сезонной неравномерности в газоснабжении. / М. А. Валесян, И. Я. Фурман, Л. Г. Асатрян и др. — М.: ВНИИЭГазпром, 1978.— 62 с.
3. Мелентьев Л. А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетик.— М.: Высшая школа, 1976.— 336 с.

С. С. МАРКОСЯН, Н. Н. ГОНЧАРОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПРИВОДА ЧЕСАЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ХЛОПКА

Рассмотрим процесс пуска высокопроизводительной чесальной машины нормального габарита с различными системами приводов, построенными по следующим схемам.

1. Привод без пусковых устройств, выполненный в двух вариантах — с прямой передачей движения от двигателя на главный барабан и с предварительным разгоном узла приемного барабана.

2. С установкой пускового устройства (например, центробежной муфты): в узле приемного барабана с предварительным его разгоном: на валу главного барабана.

Соответствующие динамические модели представлены на рис. 1 (1—масса—рогор приводного электродвигателя, 2—главный барабан, 3—приемный барабан, 4—ведущая полумуфта, 5—ведомая полумуфта).

Законы изменения угловых скоростей масс и нагрузок в упругих звеньях динамической модели (рис. 1а) в пусковом режиме с учетом электромагнитных переходных процессов в приводном двигателе описываются системой нелинейных неоднородных дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} \ddot{\varphi}_{x_1} &= U_{m0} \cos \gamma - \omega_0 \dot{\varphi}_{x_1} + \omega_0 \dot{\varphi}_{x_1} K_r \dot{\varphi}_{x_1} - \omega_0 \dot{\varphi}_{x_1}^2 \\ \ddot{\varphi}_{y_1} &= U_{m0} \sin \gamma - \omega_0 \dot{\varphi}_{y_1} + \omega_0 \dot{\varphi}_{y_1} K_r \dot{\varphi}_{y_1} + \omega_0 \dot{\varphi}_{x_1} \\ \ddot{\varphi}_{x_2} &= -\omega_0 \dot{\varphi}_{x_2} + \omega_0 \dot{\varphi}_{x_2} K_s \dot{\varphi}_{x_2} + (\omega_0 - \omega) \dot{\varphi}_{y_1} \\ \ddot{\varphi}_{y_2} &= -\omega_0 \dot{\varphi}_{y_2} + \omega_0 \dot{\varphi}_{y_2} K_s \dot{\varphi}_{y_2} + (\omega_0 - \omega) \dot{\varphi}_{x_1} \\ M_s &= 1,5 p \omega_0 \frac{k_r}{X_{1r}} (\dot{\varphi}_{x_1} \dot{\varphi}_{y_1} - \dot{\varphi}_{x_2} \dot{\varphi}_{y_2}) \\ J_1 \ddot{\omega}_1 + c_{11} (\varphi_1 - \varphi_2) + \beta_{11} (\omega_1 - \omega_2) &= M_1 - M_2 \\ J_2 \ddot{\omega}_2 - c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) - \beta_{12} (\omega_1 - \omega_2) + c_{23} (\varphi_2 - \varphi_3) + \beta_{23} (\omega_2 - \omega_3) &= -M_2 \\ J_3 \ddot{\omega}_3 - c_{23} (\varphi_2 - \varphi_3) - \beta_{23} (\omega_2 - \omega_3) &= -M_3 \\ \varphi_1 = \omega_1; \quad \varphi_2 = \omega_2; \quad \varphi_3 = \omega_3. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где M_d, M_i — моменты двигателя и сопротивления вращению соответствующих масс; ω_i, J_i — угловая скорость и моменты инерции соответствующих масс; c_{ij}, β_{ij} — коэффициенты жесткостей и демпфирования связей.

Для динамической модели, представленной на рис. 1б, аналогично пишем:

$$\begin{cases} J_1 \dot{\omega}_1 + c_{13}(\varphi_1 - \varphi_3) + \beta_{13}(\omega_1 - \omega_3) = M_d - M_1; \\ J_3 \dot{\omega}_3 - c_{13}(\varphi_1 - \varphi_3) - \beta_{13}(\omega_1 - \omega_3) + c_{23}(\varphi_3 - \varphi_2) + \beta_{23}(\omega_3 - \omega_2) = -M_3; \\ J_2 \dot{\omega}_2 - c_{23}(\varphi_3 - \varphi_2) - \beta_{23}(\omega_3 - \omega_2) = -M_2; \\ \dot{\varphi}_1 = \omega_1; \quad \dot{\varphi}_2 = \omega_2; \quad \dot{\varphi}_3 = \omega_3. \end{cases} \quad (2)$$

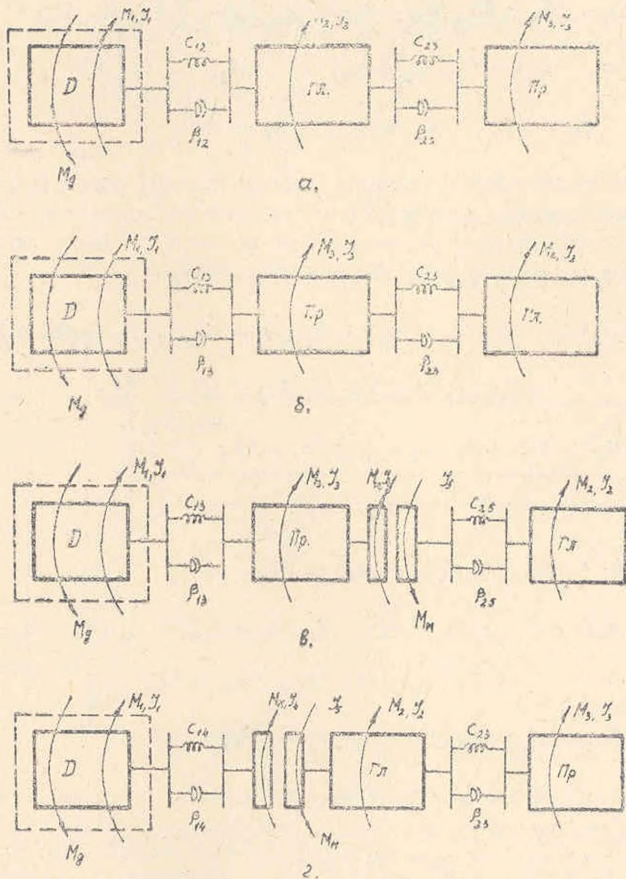


Рис. 1. Динамические модели возможных схем построения главного вала привода.

Пуск системы по динамической модели (рис. 1в или 1г) осуществляется в два этапа. На первом этапе полумуфты в пусковом устройстве разомкнуты и разгон механической части привода для динамиче-

ских моделей описывается следующими системами дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} J_1 \dot{\omega}_1 + c_{13}(\varphi_1 - \varphi_3) + \beta_{13}(\omega_1 - \omega_3) &= M_x - M_1; \\ (J_3 + J_4) \dot{\omega}_3 - c_{13}(\varphi_1 - \varphi_3) - \beta_{13}(\omega_1 - \omega_3) + M_x &= -M_3 - M_4; \\ J_5 \dot{\omega}_5 + c_{25}(\varphi_5 - \varphi_2) + \beta_{25}(\omega_5 - \omega_2) - M_M &= -M_5; \\ J_2 \dot{\omega}_2 - c_{25}(\varphi_5 - \varphi_2) - \beta_{25}(\omega_5 - \omega_2) &= -M_2; \\ \dot{\varphi}_1 = \omega_1; \quad \dot{\varphi}_2 = \omega_2; \quad \dot{\varphi}_3 = \omega_3; \quad \dot{\varphi}_5 = \omega_5; \end{aligned} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{aligned} J_1 \dot{\omega}_1 + c_{14}(\varphi_1 - \varphi_4) + \beta_{14}(\omega_1 - \omega_4) &= M_x - M_1; \\ J_4 \dot{\omega}_4 - c_{14}(\varphi_1 - \varphi_4) - \beta_{14}(\omega_1 - \omega_4) + M_M &= -M_4; \\ (J_2 + J_5) \dot{\omega}_2 - M_M + c_{23}(\varphi_3 - \varphi_3) + \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) &= -M_2; \\ J_3 \dot{\omega}_3 - c_{23}(\varphi_2 - \varphi_3) - \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) &= -M_3; \\ \dot{\varphi}_1 = \omega_1; \quad \dot{\varphi}_2 = \omega_2; \quad \dot{\varphi}_3 = \omega_3; \quad \dot{\varphi}_4 = \omega_4. \end{aligned} \right. \quad (4)$$

После полного сцепления муфты разгон систем для этих же динамических моделей можно записать:

$$\left\{ \begin{aligned} J_1 \dot{\omega}_1 + c_{13}(\varphi_1 - \varphi_3) + \beta_{13}(\omega_1 - \omega_3) &= M_x - M_1; \\ (J_3 + J_4 + J_5) \dot{\omega}_3 - c_{13}(\varphi_1 - \varphi_3) - \beta_{13}(\omega_1 - \omega_3) + c_{25}(\varphi_3 - \varphi_2) + \\ &+ \beta_{25}(\omega_3 - \omega_2) = -M_3 - M_4 - M_5; \\ J_2 \dot{\omega}_2 - c_{25}(\varphi_3 - \varphi_2) - \beta_{25}(\omega_3 - \omega_2) &= -M_2; \\ \dot{\varphi}_1 = \omega_1; \quad \dot{\varphi}_2 = \omega_2; \quad \dot{\varphi}_3 = \omega_3; \end{aligned} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{aligned} J_1 \dot{\omega}_1 + c_{14}(\varphi_1 - \varphi_4) + \beta_{14}(\omega_1 - \omega_4) &= M_x - M_1; \\ (J_2 + J_4 + J_5) \dot{\omega}_4 - c_{14}(\varphi_1 - \varphi_4) - \beta_{14}(\omega_1 - \omega_4) + c_{23}(\varphi_4 - \varphi_3) + \\ &+ \beta_{23}(\omega_4 - \omega_3) = -M_2 - M_4; \\ J_3 \dot{\omega}_3 - c_{23}(\varphi_4 - \varphi_3) - \beta_{23}(\omega_4 - \omega_3) &= -M_3; \\ \dot{\varphi}_1 = \omega_1; \quad \dot{\varphi}_3 = \omega_3; \quad \dot{\varphi}_4 = \omega_4. \end{aligned} \right. \quad (6)$$

Все величины в системах (1—6), характеризующие параметры привода чесальной машины, приведены к валу приводного электродвигателя.

Решение составленных систем дифференциальных уравнений для динамических моделей (рис. 1а, б, в, г) производились на ЭЦВМ ЕС-1022 методом Рунге-Кутты четвертого порядка с начальными условиями:

$$\dot{\varphi}_{x1} = \dot{\varphi}_{y1} = \dot{\varphi}_{x2} = \dot{\varphi}_{y2} = 0; \quad \omega_i = 0; \quad \varphi_i = 0 \quad \text{для систем (1) — (4),}$$

а для систем (5), (6) начальными условиями являлись конечные условия первого этапа. Результаты анализа динамики пуска чесальной машины с различными конструкциями приводов представлены в таблице и иллюстрируются на рис. 2 для случая разгона машины без пускового устройства и на рис. 3 — для машины с пусковым устройством, установленным в узле приемного барабана.

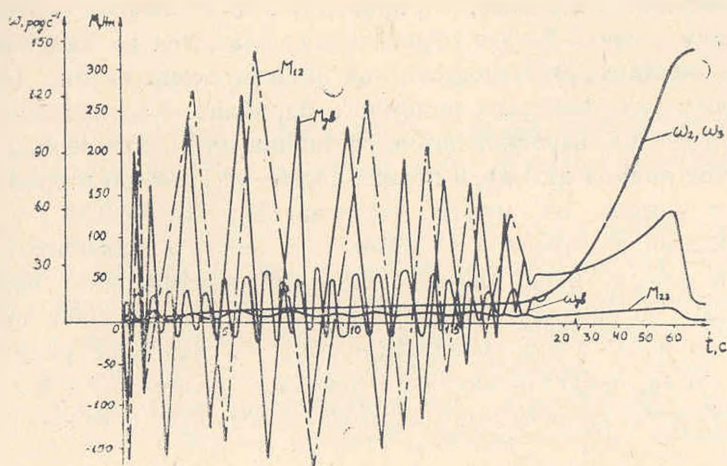


Рис. 2. Изменение угловых скоростей масс и динамических моментов в связях главного привода при пуске электродвигателя мощностью 5,5 кВт без пускового устройства.

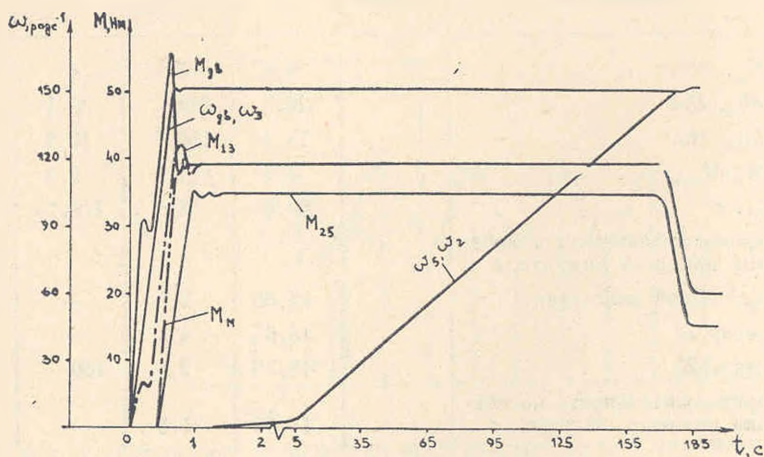


Рис. 3. Изменение угловых скоростей масс и динамических моментов в связях главного привода при пуске электродвигателем мощностью 4 кВт с центробежной фрикционной муфтой на валу приемного барабана.

Как следует из рис. 2, через 5,35 с момент на двигателе становится равным 271,6 Нм и имеет интенсивные знакопеременные колебания в течение 18,65 с. На такое же время продолжается колебательный процесс в первой связи, причем пиковое значение момента равно 326,4 Нм. Момент во второй связи достигает максимума через 58,3 с и испыты-

васт колебания в течение 19,35 с. Колебания скорости двигателя продолжают в течение 18,25 с, а весь период пуска — 63,05 с. Учитывая, что коэффициент перегрузки в этом случае достигает 7,3, подобная схема привода в динамическом отношении крайне неудачна.

Недостатком построения главного привода, динамическая модель которого представлена на рис. 1г, является нерациональное разделение масс на ведущие и ведомые, что приводит к длительному колебательно-му процессу в связи 2—3 и отрицательно скажется на надежности работы всей машины. Этих недостатков лишена схема на рис. 1в с предварительным разгоном узла приемного барабана. Как видно из рис. 3, моменты в связях выравниваются, составляя на двигателе 56,2 Нм (через 0,75 с от начала пуска), в первой связи—42,1 Нм, во второй связи—35,4 Нм, а момент на муфте достигает 38,9 Нм за 0,85 с от начала пуска. Колебания моментов в связях и скорости практически отсутствуют. В целом, пуск длится 176,3 с при коэффициенте перегрузки, равном 2,21. Из сравнения всех рассмотренных выше схем построения главного привода можно констатировать, что наиболее рациональной является схема, представленная на рис. 1в, с разделением масс привода центробежной фрикционной муфтой на ведущую и ведомую.

Таблица

Результаты расчетов пусковых характеристик главного привода
по динамическим моделям

№№ пп	Параметр	Схема	1а	1б	1г	1в
1	N_d , кВт		5,5	5,5	4	4
2	M_{12} , Нм		326,4	148	39,1	42,1
3	M_{23} , Нм		15,3	156,7	10,8	35,4
4	$M_d/M_{ном}$		7,3	4,3	2,3	2,21
5	t_n , с		63,05	53,6	176,15	176,3
6	продолжительность колеба-					
7	ния процесса момента, с					
	приводной двигатель		18,65	2,6	—	—
	связь 12		18,65	4,3	—	—
	связь 23		19,35	2,8	160	1,45
8	продолжительность колеба-					
	ния процесса скорости, с		18,25	1,8	—	1,25

Лен. фил. ЕРПИ им. К. Маркса

20. III. 1985

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Соколов И. М. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе.— М.: Энергия, 1968.— 328 с.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

М. А. ГРИГОРЯН, М. В. КАСЬЯН, В. С. МАРКОСЯН

КИНЕМАТИКА ПРОЦЕССА ПРОФИЛИРОВАНИЯ
ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ АЛМАЗНЫМИ РОЛИКАМИ

Внедрение высокопроизводительного и высокоэффективного метода профилирования червячных зубошлифовальных кругов алмазными многониточными роликами [1] требует вывода некоторых кинематических соотношений этого процесса, имеющих определенные практические и теоретические значения для анализа тепловых явлений, силовых и энергетических затрат, необходимых при автоматизации процесса профилирования и косвенном диагностировании степени изнашивания инструмента.

Особенностью процесса профилирования многониточным роликом является одновременная работа конических поверхностей угловых кольцевых витков и цилиндрических поверхностей [2], имеющих разные окружные скорости.

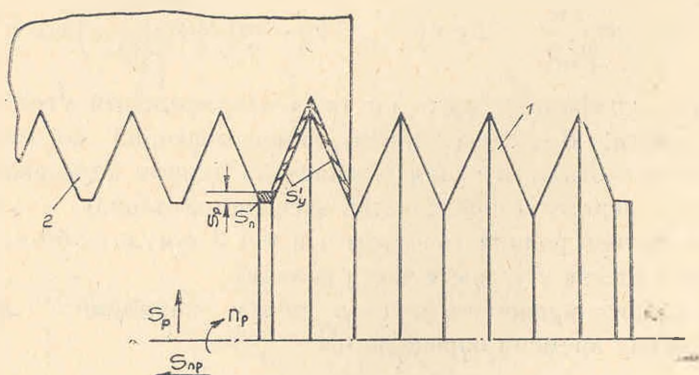


Рис. 1. Схема правки червячного шлифовального круга алмазным многониточным роликом (1 — ролик, 2 — круг).

Через каждый проход правки (рис. 1), за счет радиальной подачи S_p ролик входит в круг и снимает определенный объем W абразивного слоя, причем общая площадь контактной зоны F между роликом и кругом и общая площадь поперечного сечения S снимаемого абразивного слоя суммируются из их соответствующих цилиндрических (F_n и S_n) и конических (F_y и S_y) составляющих:

$$F = F_n + F_y; \quad S = S_n + S_y. \quad (1)$$

Согласно схемам на рис. 2 и рис. 3:

$$F_n = L_n b_n; \quad S_n = t_n b_n; \quad (2)$$

$$F_y = F_y^1 \left(1 + \sum_{i=1}^n k_i \right); \quad S_y = S_y^1 \left(1 + \sum_{i=1}^n k_i \right), \quad (3)$$

где F_y^1, S_y^1 — площади контактной зоны и боковой поверхности первого углового кольцевого витка:

$$F_y^1 = L_y b_y; \quad S_y^1 = 2t_y b_y; \quad (4)$$

L — длина дуги контакта между роликом и кругом:

$$L_n = \frac{\pi r_n}{180} \varphi_n; \quad L_y = \frac{\pi r_y}{180} \varphi_y;$$

φ — угол контакта, зависящий от величины геометрических параметров процесса:

$$\varphi_n = \arccos \frac{2r_n^2 + t_n^2 + 2(Rr_n - Rt_n - r_n t_n)}{2r_n(R + r_n - t_n)};$$

$$\varphi_y = \arccos \frac{2r_y^2 + t_y^2 + 2(Rr_y - Rt_y - r_y t_y)}{2r_y(R + r_y - t_y)};$$

r, R — радиусы ролика и круга; t — глубина правки: $t_n = S_p$; $t_y = S_p \sin \alpha$; b — ширина контактной зоны между роликом и кругом:

$$b_n = m \left(\frac{\pi}{2} - 2\lg \alpha \right); \quad b_y = m \left(1 + \frac{\pi}{4\lg \alpha} \right) / \cos \alpha;$$

m — модуль профилируемого круга; α — профильный угол кольцевых витков ролика; k_i — коэффициент, показывающий во сколько раз уменьшается соответствующая площадь на данном кольцевом витке по сравнению с первым (определяется экспериментально); n — количество кольцевых витков ролика (индексы n и y в формулах обозначают соответственно плоские и угловые части ролика).

При частоте вращения круга n_k объем снимаемого абразивного слоя в единицу времени определяется:

$$W = 2\pi R n_k S. \quad (5)$$

Для выяснения степени различия работы конической и цилиндрической частей ролика в качестве характерного показателя процесса правки был принят объем абразива, снимаемого этими участками. Установлено [3], что мощность N , расходуемая на профилирование, пропорциональна объему W снимаемого абразива: $N = k_N W$. С целью сравнения мощностей с использованием объема абразива, снимаемого коническим (W_y) и цилиндрическим (W_n) частями, берем отношение: $W_n/W_y = 1/2,73$.

первом проходе нарезки первый кольцевой виток снимает абразивный слой площадью S_1 (рис. 4в) поперечного сечения, второй виток — S_2 , а последний — S_n . При втором проходе нарезки (рис. 4б) ширина контактной линии для первого кольцевого витка является AK_1 , для второго — AK_2 , для последнего — AK_n . Как видно, законы изменения контактных линий в интервалах углов $0 - \beta_2$ и $\beta_2 - \alpha$ отличаются друг от друга.

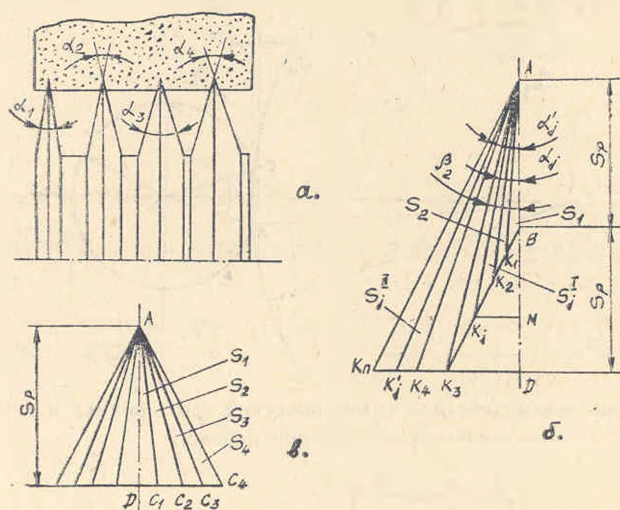


Рис. 4. Схема нарезки алмазным четырехзубчатым роликом: а) первый проход; б) второй проход; в) площади поперечных сечений снимаемого абразивного слоя (S_1, S_2, S_3, S_4) при первом проходе.

После некоторых математических преобразований получаем формулу для определения общей площади контактной зоны для j -ого кольцевого витка при i -ом проходе нарезки:

$$F_i = \frac{\pi r_y}{180} \varphi_y S_p \left[\operatorname{tg} \alpha \sum_{j=1}^{n_j} \frac{1}{\cos \alpha_j (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha_j)} + i \sum_{j=n_j}^n \frac{1}{\cos \alpha'_j} \right], \quad (6)$$

где n_j — число кольцевых ветков, имеющих профильные углы меньше или равно β_j ($\operatorname{tg} \beta_j = i \operatorname{tg} \alpha / (i + 1)$); α_j и α'_j — текущие значения профильного угла в интервалах $0 - \beta_j$ и $\beta_j - \alpha$.

Общая площадь поперечного сечения и объем снимаемого абразивного слоя при i -ом проходе нарезки определяется:

$$S_i = (2i - 1) S_p^2 \operatorname{tg} \alpha; \quad W_i = 2\pi R n_k S_i. \quad (7)$$

От прохода к проходу нарезки F_i , S_i и W_i увеличиваются, достигая своих максимальных значений при последнем проходе.

Имея значения F , W и N , на основании [4] можно определить контактную температуру в зоне правки:

$$T_n = \frac{N}{1,182F(b_p + b_k) + WC_k \gamma_k} + T_0, \quad (13)$$

где b_p и b_k — коэффициенты аккумуляции тепла для ролика и шлифовального круга; C_k — удельная теплоемкость шлифовального круга; γ_k — плотность шлифовального круга; T_0 — начальная температура.

Выведенные геометрические соотношения дают возможность исследования тепловых явлений процесса профилирования, обуславливающих в определенной степени изнашивание алмазного ролика.

ЕфВНИИЛтекмаш

5. IX. 1985

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Касьян М. В., Григорян М. А. Приспособление и инструмент для профилирования червячных кругов. — Станки и инструмент, 1978, № 6, с. 26—27.
2. Касьян М. В., Григорян М. А. Нарезка и правка червячных кругов алмазными фрезерными роликами. — В сб.: «Алмазы и сверхтвердые материалы», НИИмаш, 1977, вып. 11, с. 13—14.
3. Григорян М. А., Маркосян В. С. Эффективная алмазная обработка. — В сб.: «Тез. докл. XXII научн.-техн. конф. асп. обществ. аспирантуры», Ереван, РСНТО АрмССР, 1985, с. 122—134.
4. Касьян М. В., Григорян М. А. Приближенный метод расчета поверхностной температуры при зубошлифовании. — Станки и инструмент, 1977, № 8, с. 29—31.

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

«ՀՍՍՀ ԳԱ տեղեկագիր (տեխնիկական գիտությունների սերիա)»
հասնդեսի 39-րդ հատորի

Մ Ե Ք Ե Ն Ա Շ Ի Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

- Կ. Ա. Արխանյան, Հ. Լ. Արտեմյան, Ա. Ս. Սիշենկո, Ֆ. Վ. Գալյուսյան: Փոքր հզորության ասինխրոն էլեկտրաշարժիչների ուսանցքակալային հանգույցների արագացված փորձարկման մեթոդ 5— 9
- Վ. Հ. Առաֆևյան: Մեխանիզմների լրիվ գլխամիկական հավասարակշռումը զանգվածների փոխարինման մեթոդով 5— 3
- Յու. Լ. Սարգսյան, Ռ. Պ. Ջավախյան, Հ. Հ. Կասամանյան, Ջ. Ա. Հակոբջանյան, Ա. Գ. Արեշյան: Տարածական քառօղակ լծակային մեխանիզմների կինեմատիկական ուսումնասիրության ընդհանրացված մոտեցում 2— 3

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ՄԵԽԱՆԻԿԱ, ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐ

- Ա. Վ. Բելուբեկյան, Ի. Ա. Բելուբեկյան: Երկաթբետոնե թունելային երեսարկման հավաքովի տարրերի ամրության փորձարարական ուսումնասիրությունը 6— 3
- Յու. Ա. Գասպարյան, Ա. Գ. Մանուշարյան: Ներքին առաձգական հենված միջադիրով ռեզոնանսային ձայնակայնիչի ձայնագիտական բնութագրերը 4—20
- Ս. Ս. Դարբինյան, Ա. Ա. Հովսեփյան: Սեյսմիկ ազդեցությունների տակ կառուցումների հաշվարկն ըստ երկրաշարժերի սեյսմոգրամների և վելոսիգրամների 4— 3
- Ս. Գ. Իոնենիսյան, Հ. Հ. Դյուլգասյան: Բնական ծակոտկեն լցանյութերով բետոններից խառը ամրանավորված էլեմենտների նորմալ հատվածքների ամրությունը 4—14
- Վ. Ռ. Խաբեյան, Կ. Հ. Քաբամյան, Բ. Գ. Խաբեյան: Հրաբխածին ապակու փքման ընթացքի մեխանիզմը 1— 9
- Է. Ե. Խաչիյան, Վ. Ա. Համբարձումյան, Հ. Գ. Սարգսյան: Սեյսմիկ ազդեցությունների ժամանակ հիմնատակի և կառույցի փոխազդեցության հաշվառման մի պարզագույն մեթոդ 4— 9
- Ա. Պ. Կիրիլով, Ս. Վ. Մինասյան: Երկրաշարժական հարվածների և հրումների ազդեցությունը երկրաշարժի հարմարվող համակարգի վրա 1— 3
- Ռ. Ս. Մինասյան: Խոշորապանել շենքերի արտաքին պատերի լարվածային և ղեֆորմացիոն վիճակը 4—25
- Ռ. Ս. Մինասյան: Խոշորապանել շենքերի կրող պատերի և հիմքի փոխազդեցությունը հորիզոնական ուժերի ազդեցության դեպքում 6— 8

Ն Յ Ո Ւ Թ Ա Գ Ի Տ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

- Վ. Վ. Նսայան, Գ. Գ. Կուրդյումովա, Յու. Վ. Միլման, Ա. Ս. Գուրգարյան: Դիսլոկացիաների ազդեցությունը ծավալակենտրոնացված խորանարդային բյուրեղացանցով մետաղների միկրոպլաստիկության վրա: 5—13

Է Ն Ե Ր Գ Ե Տ Ի Կ Ա

- Լ. Ն. Ասատրյան: Դադանատակարարման անհավասարաչափության կարգավորման ու պահանջատվորման տարրերի պարամետրերի օպտիմիզացումը նրանց փոխազդած ֆունկցիոնալ կապի պայմաններում 6—28
- Մ. Ա. Ավագյան: Անշառիչների միջլեռանորոգման պարբերության նախագուշակումը 2—10
- Ս. Ա. Հարությունյան: Էներգահամակարգի էլեկտրական ցանցերում էներգիայի տեխնոլոգիական ծախսերի հատուկ ուսումնասիրության և իջեցման համար պահանջվող տնտեսություն հիմնավորված խնդրամագիլայի քանակության որոշման մեթոդ 3— 3

Վ. Դ. Աբրահամյան, Գ. Ի. Պիշախի, Ա. Ա. Տերյան: Նյութի էլեկտրահաղորդականություն աղղեցության ուսումնասիրումը էլեկտրափոխանցման վրա «գաղ-պինդ փուլ» երկֆազային համակարգի սարքավորումներում	2—21
Գ. Վ. Ալեքսանդրյան, Ս. Ի. Մատուռյան, Հ. Ա. Թոռունյան: Պինդ դիէլեկտրիկում էլեկտրական դաշտի աղղեցությունը մեխանիկական լարումների վրա	6—13
Գ. Վ. Բաբեղամյան: Հոսանքի դարձափոխման օպտիմալ բնորոշումը ՀԱՏ-ի կառավարման ալգորիթմ	3—8
Է. Մ. Դիլանյան, Կ. Կ. Աստուրյան: Մեկ և բազմաշարժիչների էլեկտրաբանեցումով էլեկտրամոթիլների որոշ հիմնական ցուցանիշները	3—14
Ա. Փ. Ղազանչյան, Ա. Ի. Հովհաննիսյան, Ա. Ա. Հովհաննիսյան, Ա. Գ. Սադոյան: Դիէլեկտրիկներում երկրորդային երևույթների ուսումնասիրման տեղային հավասարակշռված մոտեցում	6—18
Ա. Վ. Ղանդիլյան: Համատեղված մագնիսաուսկային համակարգի էլեկտրադինամիկական բնութագրերը	6—23
Ռ. Հ. Ճևետեհեյան, Օ. Պ. Միխայլով: Խարխախի դիմադրության փոփոխումը և հաստոցների էլեկտրաբանեցման շարժիչների պտույտի անհավասարաչափությունը	5—18
Տ. Ա. Նապլյան, Տ. Մ. Նվմենի, Ռ. Ե. Հակոբյան: Հզոր հիդրոգեններատորի ստատորի շերտային դեֆեկտների հետազոտումը մաթեմատիկական մոդելավորման միջոցով	4—30
Ի. Մ. Նեմենի, Ա. Մ. Պանտելև, Ռ. Ե. Հակոբյան: Ասինխրոն շարժիչի մեխանիկական բնութագրերի վրա կարճ փակված ռոտորի անհամաչափության աղղեցության վերլուծումը	2—25

ՀԻԴՐԱՎԼԻԿԱ, ՀԻԴՐՈՏԵԽՆԻԿԱ

Ա. Մ. Բարխուդյան: Հեղուկի լամինար շրջառաքված շարժման դեպքում ճնշման կոորդատների հարցի մասին	2—42
Գ. Մ. Գաբայան, Ս. Շ. Նուրիջանյան, Վ. Ս. Սարգսյան: Կիսաառհամանալիակ տիրույթում շկայունացված ծծանցում ջրամբարներից և ջրանցքներից	1—30
Ա. Մ. Ղազարյան, Մ. Յու. Կուզնեցով: Խոնավափոխանակումը ալրացիայի և գրունտային ջրերի պտում	4—34
Ա. Մ. Ղազարյան: Բազմաշերտ ծծանցող միջավայրում ջրհորների փոխաղղեցության հաշվարկը	2—36
Վ. Ս. Սարգսյան, Ա. Ժ. Չիտչյան, Ա. Ա. Սարգսյան: Զրազտիչ ֆիլտրերում սուսպենզիաների պարղեցման պրոցեսի հիմնական օրինաչափությունները	5—39

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԿՈՒՆԻՐՆԵՏԻԿԱ

Ա. Մ. Ազանով, Վ. Ռ. Մարտիրոսյան: Անհայտ պարամետրեր ունեցող գծային համակարգերով աղավաղված պատկերների որակի լավացման ալգորիթմը	1—25
Ռ. Ե. Դաւապարյան: Միալի կանոնավորմամբ նվազող ամրացման համակարգի հետազոտումը	3—19
Ս. Ն. Գոսպարյան: Ոչ գծային բազմակապ համակարգերի բացարձակ կայունության հետազոտումը բնութագրող փոխանցման ֆունկցիոնների մեթոդով	5—23
Բ. Ե. Մաֆարով: Անընդհատ լրացվող պահեստամասերի օպտիմալ նորմավորումը նոմոգրամի օգնությամբ	5—30
Ս. Վ. Փամբուխյան, Լ. Ս. Կոստանյան, Ա. Լ. Բեզլարյան: Ֆազային տարածությունում օպտիմալ շարժման դեպքում փոխանցաման մոմենտի որոշումը	1—19

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏՆԵՆՆԻԿԱ

Կ. Ա. Արգարյան, Վ. Ն. Հայրապետյան, Յու. Ն. Հայրապետյան: Ոչ գծային սյարքության համասարման մոտավոր անալիտիկական լուծման դիսկոնտականի օպտիմիզացումը սուլատ տեղափոխվող սահմանի վրա մաթորանտի և միևորանտի համատեղություն միջոցով	2—31
Գ. Ա. Խովկաղալյան: ԷՀՄ-ի տվյալների բաղադրում ղանգվածային սղասարկման համակարգի ինֆորմացիոն-նկարագրական մոդելի կառուցման առանձնահատկությունները	2—26
Է. Ա. Ղազարյան, Ա. Կ. Պեղոսյան, Ի. Ա. Պոզոսյան: Հետադարձ կապով փոխանջատումով միականալ համակարգ	5—35

ԶԱՓՈՂԱԿԱՆ ՏՆԵՆՆԻԿԱ

Ա. Ս. Շաղգամյան: Զհամասարակշռված կամբջականի սխեմայի ջերմաստիճանային սխալի հաշվարկը	1—15
--	------

ԳԻՏԱԿԱՆ ՆՈԹՆԵՐ

Գ. Գ. Ավետիսյան: Ռենտգենային ճառագայթների բեռնացման մեթոդ	4—47
Վ. Ա. Բալայան, Գ. Ա. Ղասարյան, Ն. Հ. Գրիգորյան: Մանրացնող մարմիններով վիրբացիոն աղացների խցերի լցման ղործակցի օպտիմալ արժեքի որոշումը	3—40
Կ. Ս. Գյունաշյան, Վ. Հ. Պապյան, Մ. Կ. Սաղաթելյան: Հեռացված բյուրեղներով ԳԲՀ լույսի մոդուլյատորներ	3—24
Մ. Ա. Գրիգորյան, Մ. Կ. Կասյան, Վ. Ս. Մարկոսյան: Հղկաբարերի ալմաստային հոլովակներով սյրոֆուլավորման պրոցեսի կինեմատիկան	6—37
Է. Վ. Թաղևոսյան, Ն. Խ. Հակոբյան, Ա. Ն. Սարգսյան: Ռոտորի իներցիայի կենտրոնական առանցքի շեղման որոշումը կենտրոնավորմամբ հափասարակշեյու դեպքում	1—43
Լ. Ս. Թաղևոսյան, Վ. Ա. Վաթիկ, Ս. Ս. Ավաղյան: Գործ լուգունների հղկանյութային և կորոգիոն կալունության հետաղոտումը	5—47
Ջ. Ս. Թորոսյան: Կենտրոնախույ ափսեավոր գատիչ մեքենաների մոդելավորումը	5—43
Հ. Վ. Խոմաշյան: Ծնշման բաշխման օրենքի ճշտումը կոր հատակով ջրանցքներում	3—28
Ա. Հ. Կառանթիլյան: Հատակագծում կորագիծ ջրաթափերի սյրոֆիլի հաշվարկի հարցի մասին	3—31
Է. Վ. Կառսյան, Վ. Գ. Ալեխանյան: Բազմաշափ ալոտմատ կառավարման համակարգերի նկարագրումն ու հետաղոտումը գլխավոր փոխանուման ֆունկցիաների և ուղղությունների հիման վրա	1—38
Է. Վ. Կառսյան, Ս. Ն. Ջիմիշկյան: Բազմաշափ բացարձակ կալուն ոչ գծային ալոտմատ կառավարման համակարգերի մի դասի սինթեզի մասին	4—43
Ս. Ա. Մարկոսյան, Ի. Պ. Գեոշարով: Բամբակ ստերոդ մեքենաների շարժարերի ղկալունացված աշխատանքային ռեմիմի ուտումնասիրումը	6—32
Ա. Գ. Միրզախանյան, Ռ. Ն. Հակոբյան: Պոլիդիսպերս նյութերի հիդրավլիկական բաժանման պրոցեսի մաթեմատիկական մոդելավորումը	1—35
Ս. Ն. Մկրտչյան, Ս. Ս. Գրիգորյան: Տրամբանական սարքերի սինթեզումը իմպլիկատորների վրա	3—44
Ռ. Բ. Շառվորյան: Ալմաստային գործիքի մատրիցիայի մեջ հատիկների բաշխման ծրարերի ընտրությունը	4—40
Ռ. Մ. Ռաֆայելյան: Հակադարձ փականի և եռարաշխիկի կորուստի գործակիցների որոշումը հոսքերի միացման դեպքում	3—36

СОДЕРЖАНИЕ

XXXIX тома журнала «Известия АН АрмССР
(серия технических наук)»

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- К. А. Алиханян, А. С. Артемьян, Г. Л. Сыченко, Ф. В. Давтян. Метод ускоренных испытаний подшипниковых узлов асинхронных электродвигателей малой мощности 5— 8
- В. Г. Аракелян. Полное динамическое уравнивание механизмов методом замещения масс 5— 3
- Ю. Л. Саркисян, Р. П. Джавахян, А. А. Касиманян, Э. А. Акопджанян, А. Г. Арешян. Обобщенный подход к кинематическому исследованию пространственных четырехзвенных рычажных механизмов 2— 3

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА, СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

- А. В. Белубекян, Н. А. Белубекян. Экспериментальное исследование прочности сборных элементов железобетонной тоннельной обделки 6— 3
- Ю. А. Гаспарян, А. Г. Манучарян. Акустические характеристики резонансного звукопоглотителя с внутренней упруго оперной панелью 4—20
- С. С. Дарбинян, А. А. Овсепян. К расчету сооружений на сейсмические воздействия по сейсмограммам и велосиграммам землетрясений 4— 3
- С. Г. Ионнисян, А. А. Гюльзадян. Прочность нормальных сечений смешанно-армированных элементов из бетонов на естественных пористых заполнителях 4—14
- В. Р. Израелян, К. О. Каримян, Б. Г. Израелян. Механизм процесса вспучивания вулканического стекла 1— 9
- А. П. Кириллов, А. В. Минасян. Воздействие сейсмических толчков и ударов на комбинационно-сейсмоадаптивные системы 1— 3
- Р. С. Минасян. Напряженно-деформированное состояние наружных стен крупнопанельного здания 4—25
- Р. С. Минасян. Взаимодействие несущих стен и основания крупнопанельных зданий при горизонтальном воздействии нагрузки 6— 8
- Э. А. Хачиян, В. А. Амбарцумян, А. С. Саркисян. Упрощенный способ учета взаимодействия сооружения с основанием при сейсмических воздействиях 4— 9

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- В. В. Есаян, Г. Г. Курдюмова, Ю. В. Мильман, А. А. Дургарян. Влияние дислокаций на ОЦК металлы 5—13

ЭНЕРГЕТИКА

- М. А. Авакян. Прогнозирование межремонтных периодов выключателей 2—10
- А. А. Арутюнян. Методика определения экономически оправданного количества информации для анализа и снижения технологического расхода энергии в электрических сетях энергосистемы 3— 3
- Л. Г. Асатрян. Оптимизация параметров средств регулирования неравномерности и резервирования в газоснабжении с учетом их функциональной взаимосвязи 6—28

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- В. К. Абрамян, Г. И. Пичахчи, С. А. Терян.* Исследование влияния электропроводности продуктов на электроперенос в аппаратах с двухфазными системами «газ—твердая фаза» 2—21
- К. В. Александрян, А. И. Цигурян, А. А. Торунян.* Влияние электрического поля на механические напряжения в твердом диэлектрике 6—13
- Г. В. Барегамян.* Алгоритм управления НПЧ с оптимальным выбором момента реверса тока 3—8
- С. В. Гандилян.* Электродинамические характеристики совмещенной магнитоэлектрондукционной системы 6—23
- Р. Г. Джентерсджян, О. П. Михайлов.* Вариа́ция сопротивления якоря и неравномерность вращения исполнительных двигателей станочных электроприводов 5—18
- Э. М. Диланян, Г. К. Астабатьян.* Некоторые основные показатели однодвигательных и многодвигательных электроприводов электромобилей 3—14
- А. П. Казанчян, А. Т. Оганесян, А. А. Оганесян, О. Д. Садоян.* Локально равновесный подход к изучению вторичных явлений в диэлектриках 6—18
- Т. А. Наслян, Т. М. Измени, Р. Е. Акоюн.* Анализ термических дефектов статора мощного гидрогенератора методом математического моделирования 4—30
- Т. М. Измени, А. М. Пантелеев, Р. Е. Акоюн.* Анализ влияния асимметрии короткозамкнутого ротора асинхронного двигателя на его механические характеристики 2—15

ГИДРАВЛИКА, ГИДРОТЕХНИКА

- А. М. Бархударян.* К вопросу о потерях при неустановившемся ламинарном движении жидкости 2—42
- Г. С. Гибаян, С. Ш. Нуридджанян, В. С. Саркисян.* Нестационарная фильтрация из водохранилищ и каналов в полуограниченную область 1—30
- С. М. Казарян.* Расчет взаимодействующих систем скважин в слоистых толщах 2—36
- С. М. Казарян, М. Я. Кузнецов.* Влагообмен в зоне аэрации и грунтовых вод 4—34
- В. С. Саркисян, Ж. А. Читчян, А. А. Саргсян.* Основные закономерности процесса осветления суспензий на водоочистных фильтрах 5—39

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

- А. М. Аганов, В. Р. Мартirosян.* Алгоритм улучшения качества изображений, искаженных линейными системами с неизвестными параметрами 1—25
- О. Н. Гаспарян.* Исследование абсолютной устойчивости нелинейных много-связанных систем методом характеристических передаточных функций 5—23
- Р. Е. Гаспарян.* Исследование системы убывающего подкрепления с коррекцией ошибок 3—19
- С. В. Памбухчян, Л. С. Костанян, А. П. Бегларян.* Определение моментов переключения при оптимальном движении на фазовом пространстве 1—19
- Б. Е. Сафаров.* Оптимальное нормирование непрерывно пополняемых запасных частей с помощью номограмм 5—30

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- К. А. Абгарян, В. Н. Айрапетян, Ю. Н. Айрапетян.* Оптимизация оценки приближенного аналитического решения нелинейного параболического уравнения путем совмещения мажоранты и миноранты на свободно перемещающейся границе 2—31

Э. А. Казарян, А. К. Погосян, Н. А. Погосян. Одноканальная система с переключениями и обратной связью	5—35
Г. А. Топлагалцян. Особенности построения информационно-описательной модели систем массового обслуживания на базе данных ЭВМ	2—26

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

А. С. Шахклян. Расчет температурной погрешности неуравновешенной мостовой схемы	1—15
---	------

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Г. Г. Аветисян. Метод поляризации рентгеновского излучения	4—47
В. А. Балаян, Г. А. Кисабян, Н. О. Григорян. Определение оптимального значения коэффициента заполнения помытых камер вибрационных мельниц мелющими телами	3—40
М. А. Григорян, М. В. Касьян, В. С. Миркосян. К нематики процесса профилирования шлифовальных кругов алмазными роликами	6—37
К. С. Гюняшян, В. А. Папян, М. К. Сагателян. СВЧ модуляторы света с разнесенными кристаллами	3—24
А. А. Каранфилян. К вопросу о расчете профиля криволинейных в плане водосливов	3—31
Э. В. Карсян, В. Г. Александриян. Описание и анализ многомерных систем автоматического уравнивания на основе главных передаточных функций и направлений	1—38
Э. В. Карсян, С. Е. Чимишкян. Метод синтеза класса абсолютно устойчивых нелинейных многомерных систем автоматического управления	4—43
С. С. Миркосян, И. П. Гончаров. Исследование нестационарного режима работы привода чесальных машин для хлопка	6—32
А. Г. Мирзаханян, Р. Е. Акопян. Математическое моделирование процесса гидравлической классификации полидисперсных материалов	1—35
С. О. Мкртчян, С. С. Григорян. Синтез логических устройств на имитаторах	3—44
Р. М. Рафаелян. Определение коэффициентов потерь поворотного обратного клапана и тройника при слиянии потоков	3—36
Л. С. Татевосян, В. А. Васильев, С. С. Авагян. Исследование абразивной и коррозийной стойкости серых чугунов	5—47
Э. В. Татевосян, Н. Х. Акопян, А. Е. Саркисян. Определение смещения главной центральной оси инерции при балансировке центрированием	1—43
О. В. Токмаджян. Уточнение закона распределения давления в каналах с криволинейным дном	3—28
Д. С. Торосян. Моделирование центробежных тарельчатых сепараторов	5—43
Р. Б. Шатворян. Выбор программы распределения зерен в матрице алмазного инструмента	4—40

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

էշ

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ՄԵՆԱՆԻԿԱ

- Ա. Վ. Բելուրեկյան, Ի. Ա. Բելուրեկյան: Երկաթբետոնե թունելային երեսարկման հավաքովի տարրերի ամրության փորձարարական ուսումնասիրությունը 3

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐ

- Ռ. Մ. Մինասյան: Խողորմաբանի շենքերի կրող պատերի և հիմքի փոխազդեցությունը հորիզոնական ուժերի ազդեցության դեպքում 8

Է Լ Ե Կ Տ Ր Ա Տ Ե Ն Ի Կ Ա

- Կ. Վ. Ալեքսանդրյան, Ա. Ի. Մատուռյան, Հ. Ա. Թառունյան: Պինդ դիէլեկտրիկում էլեկտրական դաշտի ազդեցությունը մեխանիկական լարումների վրա 13
- Ա. Փ. Ղազանչյան, Ա. Թ. Հովհաննիսյան, Ա. Ա. Հովհաննիսյան, Ա. Դ. Սաղոյան: Դիէլեկտրիկներում երկրորդային երևույթների ուսումնասիրման տեղային հավասարակշռված մոտեցում 18
- Ա. Վ. Ղանդիլյան: Համատեղված մագնիսաուճակային համակարգի էլեկտրադինամիկական բնութագրերը 23

Է Ն Ե Ր Դ Ե Տ Ի Կ Ա

- Լ. Ն. Ասատրյան: Գազամուտակարարման անհավասարաչափության կարգավորման ու պահեստավորման տարրերի պարամետրերի օպտիմիզացումը նրանց փոխազդած ֆունկցիոնալ կապի պայմաններում 28

ԳԻՏԱԿԱՆ ՆՈՒԹՆԵՐ

- Ս. Ա. Մաբկոսյան, Ի. Պ. Գոնչարով: Բամբակ սանրող մեքենաների շարժաբերի չկայունացված աշխատանքային ուժիմի ուսումնասիրումը 32
- Մ. Ա. Դրեզդերյան, Մ. Վ. Կասյան, Վ. Ս. Մաբկոսյան: Հղկաքարի բլիճնաքարի հոլովակներով պրոֆիլավորման պրոցեսի կինեմատիկան 37

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

- А. В. Белубекян, И. А. Белубекян.* Экспериментальное исследование прочности сборных элементов железобетонной тоннельной обделки 3

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

- Р. С. Минасян.* Взаимодействие несущих стен и основания крупнопанельных зданий при горизонтальном воздействии нагрузки 8

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- К. В. Александрян, А. И. Цатурян, А. А. Торунян.* Влияние электрического поля на механические напряжения в твердом диэлектрике 13
- А. П. Казанчян, А. Т. Оганесян, А. А. Оганесян, А. Д. Садоян.* Локально равновесный подход к изучению вторичных явлений в диэлектриках 18
- С. В. Гандилян.* Электродинамические характеристики совмещенной магнито-электрондукционной системы 23

ЭНЕРГЕТИКА

- Л. Г. Асатрян.* Оптимизация параметров средств регулирования неравномерности и резервирования в газоснабжении с учетом их функциональной взаимосвязи 28

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

- С. С. Маркосян, И. П. Гончаров.* Исследование нестационарного режима работы привода чесальных машин для хлопка 32
- М. А. Григорян, М. В. Касьян, В. С. Маркосян.* Кинематика процесса профилирования шлифовальных кругов алмазными роликами 37