чизчичи и ч чничение и ч чичичение ичичение ичичение</li

thtuv

ÉPEBAH

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

կասյան Մ. վ. (պատ. խմբագ.), Աղոնց Հ. Տ. (պատ. իմբադրի տե...լ), Այհթսենսկի Անանյան Ա. Կ. Լ. Զաղոյան Մ. Ա., Հակոբյան Ռ. Ե., Սարրգսյան Յու. Լ., Ստակյան Մ. Գ., Տեր-Ազարև Ի. Ա., Փինասյան Վ. Վ. (պատ. իմբագրի տեղակալ)։ բարտուղտը Սահփանյան Ջ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. Р. (стер редактор), Аденц Г. Т. (зам. ответ. релактора), Алексессискии В. В., Ананян А. К. , Акопян Р. Е., Зидоян М. А., Пинадъеян В. В. (зам. ответ. редактора), Саркисян Ю. Л., Стакян М. Г., Тер-Азарьев И. А. Ответственный секретарь Степанян З. К.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՈՈՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԳԵՄԻԱՅԻ ՏԵՉԵԿԱԳԻԸ ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИН НАУК АРМЯНСКОЯ ССР

Տնյոնիկական գիտութ սեզիա

XXXVII, № 6, 1984 Серия технических п. ...

машиностроение

С. П. КРАВЧУК, В. А. ЗИМЕНЦКИН, М. Г. СТАКЯН, Г. Л. ПЕТРОСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕШИН В ЩЕКАХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Растущая лотребность в повышении скоростей и произволительности машии для различных отраслей промышленности и сельского хозяйства диктует необходимость постоянно понышать мощность "ПВСосновного энергонсточника мобильных машин. В современном двигателестроении это повышение осуществляется за счет форсирования при сохранения основных весовых и конструктивных лараметров ДВС, что приводит к повышению натруженности ответственных дсталей двигателя, в частности, коленчатого нала и требует детального изучения процессов разрушения, с целью полного непользования его ресурса прочности и долговечности.

Анализ эксплуатации автотракторных двигателей показывает, что (60-80) % отказов коленчатых валов составляют поломки от знакопеременных напряжений изгиба. Зарождению усталостных трещин при этох способствуют высокая концентрация напряжений в галтелях коренных и шатунных шсек и структурные концентраторы папряжений, вызванные дефектами проката и пекачественной термо механической обработкой поверхностей.

Ввиду высокой концентрании напряжений галтельные участки шеех нелытывают местные упруго-пластические деформации при общем мвругом деформирования вала. После исчерпания пластичности настунает процесс рассланвания металла, приводящий к зарождению усталостной трощины, которая под действием циклических перенапряжений и по мере накопления повреждений распространяется на периферийные участки шек. При этом роль концентратора напряжений уже отводится вершине острой трещины, имеющей тенденнию роста. Упругопластический характер зарождения и развития трещии подтверждается также бороздчатой структурой усталостного излома коленчатого вала. Развитие усталостной трещины при этом связано со значительными энергетическими затратами на яластическую деформацию металла в ее вершине, что обуславливает прерывисто-скачкообразный характер роста при сравнительно низкой скорости се развития. Уравнение баланса энергии коленчатого вала с трешиной при этом имеет вид:

$$dA = dW + d\Gamma, \tag{1}$$

где dA механическая работа внешних сил P₁; dW — энергия, накопленная в теле; dГ — энергия разрушения.

Выразив компоненты уравнения (1) через усилия и перемещения и учитывая, что они состоят из упругих и пластических составляющих, а энергия разрушения dl' определяется затратой энергии на работу пластических деформаций в вершине трещины на стадии ее стабильного роста, получим:

$$P_{t} d\overline{u}_{t} \ge d\overline{W} + dW_{s} + ds \cdot du_{t}, \qquad (2)$$

где P_i — нагрузка, действующая на вал; u_i — упругая и пластическая составляющие деформации; dW — энергия упругой деформации; dW_s — анссинация энергии в вершине трещины; — предел текучести материала; — приращение площади трещины.

Третье слагаемое в правой части уравнения (2) характеризует энергию разрушения, знак (>) соответствует условию продвижения трещины, а знах (=) — энергетически равновесному состоянию коленчатого вала с трешиной.

Структура уравнения (2) определяет методы воздействия на усталостную трешину с целью предотвращения се роста. Для этого следует увеличить правую часть (2), которую можно осуществить следующими методами:

а) повышением прочностных снойств материала вала или панболее нагруженных со участков — применением упрочняющей технологии или заменой материала на более качественный (увеличивается W);

б) увеличением диссипации энергии через развивающуюся усталостную трешину или плотности поверхностной энергии разрушения созданием барьеров на пути продвижения трещины [1].

В настоящей работе рассмотрен один из способов воздействия на трещину, заключающийся в закалке ТВЧ периферийных участков щех коленчатых валов (рис. 1) [2], и изучена кинетика трещин в щеках, полвергнутых закалке и неупрочненных (серийные коленчатые валы).

Закалка щек произведена на машинном генераторе ТВЧ, а требуемая конфигурация закаливаемых участков обеспечена формой спеинально разработанного индуктора [3]. При назначении режимов термообработки исходными параметрами служили тлубниа закаленного слоя, твердость и микроструктура, оптимальные значения которых получены вариацией температуры и схорости нагрева и охлаждения, а также температуры самоотлуска. Последняя величниа имеет значительное влияние на характеристики сопротивления усталости коленчатых валов, т. к правильный се выбор предотвращает появление закалочных трещин и определяет твердость и микроструктуру закаленных участков. Регистрация трещин осуществлена тензорезисторами, расположенными по направлению развития трещин. Испытания на усталость проведены на вибростенде при симметричном изгибе коленчатых валов, а база испытаний составляла 10° циклов.

Наличне на пути продвижения усталостных трещин упрочненных участков 1 (рис. 1), обладающих высокой плотностью ловерхлюстной

энергин разрушения, способствует ветвлению этих трещин, а это в свою очередь вызывает повышенную диссипацию энергии в вершинах разветвленной трешины и увеличивает энергию разрушення [4]. Этн два фактора предопределяют торможение трещины при приближения ее к упрочневным участкам щек вплоть до полной остановки. Используем уравнение (2) для определения предельной нагрузки на вал с закаленными щеками. При этом исходим из того, что трещниа в упрочненном вале зарождается при нагрузке, превышающей предельную для неупрочненного вала, но благодаря упрочненным уча-



Рис. 1. Щека коленчатого кала двигателя Д-240 с закаленными участкоми 1.

сткам тормозится на стадии стабильното роста. Тогда, согласно расчетной схеме на рис. 2*a*, компоненты уравнения (2) оудут равны:

$$P_{i} du_{i} = \int z_{0} du_{i} dz; \qquad dW = \int \sigma_{i} d\overline{u}_{i} d\sigma - \int \sigma_{i} d\overline{u}_{i} d\sigma;$$

$$W = \int z_{0} dr d\sigma - \int z_{0} dr dz; \qquad z_{0} ds du_{i} = \int z_{0} dr ds - \int \sigma_{i} dr ds,$$
(3)

гле 2. \mathfrak{Q} — соответственно, поверхности сечения A - A, трещины и пластической зоны в вершине трещины: dr — размер зоны в вершине трещины, в которой напряжения меняются по криволинейному закону; \mathfrak{q} — напряжения в вершине трещины. Совместно решая (2) и (3), волучим:

$$\int s_i du_i ds = \int s_i dr ds - \int s_i dr ds. \tag{4}$$

которое является интегральным энергетическим уравнением состояния равновесия коленчатого вала с трещиной. Интегрируем левую и правую части уравнения (4):

$$\int s_i d\bar{u}_i ds = \int_{-a}^{b} dx \int_{0}^{b} \frac{s_i (t/2 - y)}{t/2} dy = s_i ab \left(\frac{z}{4} - \frac{2}{3} \frac{b}{t} \right) = P_s; (5)$$

$$\int_{\Omega} \sigma_{y} dr \, d\sigma - \int_{\Omega} c_{l} \, dr \, d\sigma = \int_{-(a+dr_{1})}^{(a+dr_{1})} \frac{\frac{b+dr_{1}}{b+dr_{1}} V(a+dr_{1})^{2} - e^{t}}{\sigma \, dy - \sigma \, dx} - \int_{-a}^{a} dx \int_{0}^{b} \sigma_{l} \, dy = \frac{2}{3} \, G \left[(a+dr_{1}) + \frac{\sigma_{s_{1}} - \sigma_{l}}{G} \right] \times \left[(b+dr_{1}) + \frac{\sigma_{s_{1}} - \sigma_{l}}{G} \right] \times \left[(b+dr_{1}) + \frac{\sigma_{s_{1}} - \sigma_{l}}{G} \right] - 2G \left(\frac{a+dr_{1}}{b+dr_{2}} \right) v \left[\frac{(b+dr_{2}) + u}{2} \right]^{2} + \frac{2G \left(\frac{a+dr_{1}}{b+dr_{1}} \right) \frac{ba^{2}}{3} - \frac{2}{3} \, Gba^{2} - \frac{ab}{\pi} \, (\sigma_{s_{1}} - \sigma_{l}) = P_{a} \,, \quad (6)$$

где G - градиент напряжения 26, а остальные обозначения даны на рис. 2a.



Рис. 2. в) Схема для расчета предельной нагрузки; 6) схема эквиваленной замены действия закаленных участков.

Стрингерное усилие, создаваемое закаленными участками, определено, исходя из механических свойств этих участков:

$$P_{c\tau} = 0.8 \int_{F} \sigma_{s(3)} d\overline{u}_{t} d\sigma - \int_{F} \sigma_{t} d\overline{u}_{t} d\sigma = (0.8\sigma_{s(3)} - \sigma_{t}) \frac{mn}{3} \left(\frac{\pi}{2} - \frac{2n}{3t}\right)$$
(7)

где F = mn -илощадь сечения закаленного участка (рис. 2*a*).

Урявнення (5)—(7) позволяют рассчитать предельную нагрузку для коленчатого вала с закаленными шеками по условням:

в) равновесия трещин —

$$P_{i} = P_{i}$$
(8)

б) торможения трещин —

$$P_{8} = P_{xx}.$$
 (9)

Таблица 1

Решение уравнений (5)—(9) реализовано по программе INT на ЭВМ ЕС 1020. Результаты расчетов для коленчатого вала двигателя Д-240 показывают (табл. 1), что максимально допустимая длина трещниы, тормозимая стрингерным усилием упрочненных участков, получается при $M_n = 2400 \ H.м.$ При $M_N > 2400 \ H.м$ с учетом пластической зоны около вершины, трещина выходит на переходные от незакаленного к. закаленному металлу участка и создает предносылки к разрушению упрочненного коленчатого вала.

Пагибающяй момент М _в , Нм	Напряжение и рассматринаемом сечении МПа	Стринтерное усилие в кН	Длина стаби- лизированной грещины а, лля
1600	133	31,2	19
1800	150	30,5	24
2000	167	29,9	27
2200	183	29,3	29
2400	200	28,6	31
2600	217	28,1	33

Ипрочняющее действие закаленных участков оцением заменой их зействия эквивалентными стринтерными усилиями ра, распределенными по длине приращения трещины (рис. 2б). Коэффициент интенсивности напряжений, учитывающий действие закаленных участков, можно оценить непосредственно через комплексные потенциалы папряжений:

$$K_{II} = 2 \sum_{de_1} p_{s_1} \sqrt{\pi a_1} \,. \tag{10}$$

Условие (2) позволяет учесть влияние неоднородности в окрестностях трещины, вызванной наличием стрингерных усилий, и сохранить постановку задачи в однородной форме. Коэффициент интенсивности напряжений, полученный без учета влияния упрочнения, равен:

$$K_{\theta} = s_{\mu} \left[-\pi a_{\mu} \right]$$
 (11)

Учитывая, что усилие *р*₃₄ направлено противоположно напряжениям а, действительный коэффициент интенсивности напряжений в лершине трещины, которая образовалась и развивается в закаленном участке щеки коленчатого вала, будет иметь вид:

$$K_l = K_l - K_{lx}. \tag{12}$$

Зарненмость (12) поясняет упрочняющее шйствие закаленных участкон щек — стрингеры упрочненных волокон препятствуют росту трещии, увеличивая сопротивляемость материала их развитию при приближёнин к закаленным участкам, т. е. по мерс накопления повреждений эффект торможения возрастает ($K_1 < K_1$). Подобная модель горможения роста трешин учитывает лишь механический эффект процесса, вызванный усилиями p_{sl} . При статическом нагружения, когда окончательному разрушению деталей предшествует сравнительно малое приращение начальной грещины, эффект торможения незначительный. Этот эффект сильнее проявляется в условиях циклического натружения закаленных деталей мащин, в которых возникновение усталостных трещин наблюдается на ранних сталиях циклического воздействия наиряжений и процессе избирательного развития трещин.

Изучение кинстики усталостных трещин осуществлено на серийных и упрочненных коленчатых валах при перенапряжении, превышающем на 20% предел ныносливости серийного вала, а оценка сопротивления усталости сопоставляемых коленчатых валов произведена по средневероятным значениям пределов выносливости с и их среднеквадратичным отклонениям s, (рис. 3 и табл. 2) [5].

Таблица 2

Марка лингателя	Материал колен- чатого вала	Вид упрочияющей технологии	Mila	s _{z-1} . MIIa
Л,-240	Сталь 45Х	серийный закалка щек	137 180	7
Д-24 0	Сталь 40ХГИМ Сталь 40Х2АФЕ	по серийной технология	170 180	777
3ИЛ-130	Сталь 45	серийнын закалка щек	103 159	4 3
A-41	Сталь 55	серийный лакалка щек	122 153	10
3M3-24	Чугун ВЧ50-2	серийный закалка щек	101 134	3 2

На рис. З представлены зависимости $K_I = N$, полученные расчетноэкспериментальным путем для сопоставляемых коленчатых валов, и дана графическая интерпретация уравнения (12). На указанном уровие перенапряжения серийный коленчатый вал разрушается, примерно, при N = (0.7 - 0.9) 10° циклов, в то время, как для упрочненного коленчатого вала при $N > 10^6$ происходит стабилизация усталостной трецины (горизонтальный участок кривой 2), г. е. по мере накопления повреждений возрастает значение K_{Is} , характеризующее действие закаленных участков, что приводит к торможению усталостной трещины.

Из табл. 2 следует, что применение закалки щек для различных типов коленчатых валов позволяет повысить их предел выносливости на (27 55) % и не уступает по эффективности применению таких сталей, как 40ХГНМ и 40Х2АФЕ. Определены также оптимальные параметры упрочненных участков, обеспечивающие указанное повышение сопротивления усталости валов: глубина закалки (3—4) мм; твердость (50 55) *HRC*; микроструктура в виде мелко- и средненгольчатого мартенсита; расстояние упрочненных участков от коренных и шатунных шеек (2—4) мм. Это обеспечивается при нагреве до $t_a = 850 - 890^{\circ}$ С, скорости охлаждения $t_a = 100 - 150^{\circ}$ С/с и температуре самоотнуска = 180- 220°Сс.



Ри: 3. Зависимость коэффициента интенсивности напряжении серийного (1) и упрочненного (2) коленчатых валов от циклической долговечности N.

Предложенные условня (2) и (4) представляют собой критерия оценки работоспособности коленчатого вала с усталостной трещиной, которые свидетельствуют об эффективности метода упрочнения опасного сечения шек закаленными участками. На основе проведенного исследования разработаны упрочняющая технология и конструкция закалочного станка для упрочнения щек коленчатых валов в массовом производстве, применение которых даст определенный экономический эффект.

ИНДМАШ АН БССР, ИПО «Арметанок»

29. IV. 1984

Ա. Պ. ԿՐԱՎՉՈՒԿ, Վ. Ա. ԶԻՄԲԻՑԿԻ, Մ. Դ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Գ. Դ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ԾՆԿԱՁԵՎ ԼԻՍԵՌՆԵՐԻ ԿՈՂԵՐԵՍՆԵՐԻ ՎՐԱ ՀՈԳՆԱԾԱՅԻՆ ՃԱՔԵՐԻ ԿԻՆԵՏԻԿԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ամփոփում

Գիտարկվում է ծնկաձև լիսեռներում հոգնածային ճարերի աճի վրա ներդործման մի եղանակ, որը կայանում է կողեռեսների ծայրամասային հատվածների՝ թարձր հաճախականության հոսանըներով ամրացման մեջ։

Ուսումնասիրված է հոդնածային Հարերի աճի կինետիկան և կատարվան են ամրացված ու չամրացված կողերեսներով ծնկածև լիսեռների համեմատական հոդնածային փորձարկումներ։

Л ИТЕРАТУРА

- Финксаь В. М. Физические основы торможения разрушения. М.: Металлургия. 1977.— 360 с.
- А. с. № 812839 (СССР). Способ местной поверхностной закалки коленчатых валон /С. П. Кравчук, В. А. Зимбишкий и лр.— Опубл. в Б.Н., 1981, № 10, с. 25.
- 3 Кравчук С. П.: Зимбицкий В. А., Ивандиков М. П., Кукарско В. А. Повышение усталостной прочвости коленчатых валов закалкой шек. — Автомобильный транспорт, 1978. № 9. с. 35.
- Композиционные материалы. Разрушение и усталость /Под ред. Л. Броутмана.— М.: Мир. 1978 — 484 с.
- Зимонцкий В. А., Кравнук С. П., Петросян Г. Д., Сидоренко С. В. и др. Ускоренимс стоидовые испытания дсталей тракторных двигателей.— В ки.: Мат. Респ. конф. по новыш. надежи. и долговечи. маш. и сооруж. Киев: Наукова думка, 1982, ч. 2. с. 11—12.

20340400 1112 905000030050600 04096004080 560600400 ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЯ ССР

Shalhhulmin ahunan, ulrhu XXXVII. № 6, 1984 Серия технических чауж

машиностроение

Г. Л. АРТЕМЯН, Г. О. САРГСЯН, К. И. КАРАХАНЯН

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СТИПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ПРИ КРУЧЕНИИ

Рассматривается задача кручения ступенчатого вала под действием вращающего момента *M* по середине и моментов *M*, и *M*, на концах вала (рис. 1*a*). Кручение произвольного тели вращения в виде ступенчатого вала произвольной осесимметричной, боковой и торцевой нагрузками изучено в [1]. Решение этой задачи сведено к бесконсчным системам линейных уравнений и поэтому его практическое использование для многоступенчатых валов становится затруднительным из-за математической сложности построения конечных решений. Ниже предлагается упрощенный приближенный метод расчета напряженного состояния ступенчатых валов, который применен для расчета валов элекпродвигателей малой мощности на стадии их проектирования.

По яналогии с задачами изгиба ступенчатых балок применеи метод приведения ступенчатого вала х валу с единой жесткостью с дальисйшим интегрированием уравнений равновесия. При замене ступенчатого вала валом с единой приведенной жесткостью на кручение (рис. 16) коэффициентами приведения для отдельных участков являются:

$$\gamma_1 = \left(\frac{d}{d_1}\right)^4; \quad \gamma_2 = 1; \quad \gamma_3 = \left(\frac{d}{d_1}\right)^4.$$

Действующие на приведенный вал моменты определяются формулами:

$$\begin{split} m_{1} &= M_{1}\gamma_{1} = M_{1} \left(\frac{d}{d_{1}}\right)^{4}; \\ m_{2} &= M_{1}(1 - \gamma_{1}) = M_{1} \left[1 - \left(\frac{d}{d_{1}}\right)^{4}\right]; \\ m_{3} &= -M\gamma_{2} = -M; \\ m_{4} &= M_{2}(1 - \gamma_{3}) = M_{2} \left[1 - \left(\frac{d}{d_{2}}\right)^{4}\right]; \\ m_{5} &= M_{2}\gamma_{3} = M_{2} \left(\frac{d}{d_{2}}\right)^{4}. \end{split}$$
(1)

Предполагается, что моленты m₁, m и m₃, m₄, m₅ действуют, соответственно, на участках шириной b, 2ε, 2B, 2b.



Рис. 1.

Располагая цилиндрическую систему координат на левом торце вала и направляя zz по оси вала, для функции распределения касательных напряжений получии:

$$r_{2\pi}(Rz) = f(z) = \begin{cases} \frac{m_1}{2\pi R^2 b}, & 0 < z < b; \\ \frac{m_2}{4\pi R^2 z}, & L_1 - z < z < L_1 + z; \\ \frac{m_3}{4\pi R^2 B}, & a - B < z < a + B; \\ \frac{m_4}{4\pi R^2 z}, & L_2 - z < z < L_1 + z; \\ \frac{m_5}{2\pi R^2 b}, & L - b_1 < z < L; \\ 0, & b < z < L_1 - z, \\ L + z < z < a - B, \\ a + B < z < L_2 - z, \\ L_2 + z < z < L - b_1. \end{cases}$$
(2)

rae $R = \frac{d}{2}$.

Кусочно-непрерывная функция f(z) на интервале 0 < z < L разлагается в ряд Фурье

$$f(z) = \frac{a_*}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos \frac{k\pi z}{L}$$

где

$$a_0 = \frac{2}{L} \int_0^L f(z) dz; \qquad a_x = \frac{2}{L} \int_0^L f(z) \cos \frac{k\pi z}{L} dz.$$
 (3)

Подстановка значения f(z) из (2) в (3) и предельный переход при $z \to 0$ приводит ²к следующим формулам для определения коэффициентов разложения:

$$a_{i}=0; \qquad a_{i}=\frac{Q_{i}}{k\pi^{2}R^{2}},$$

где

$$Q_{k} = M_{1} \left[\frac{R\pi}{L} \cos \frac{h\pi L_{1}}{L} + \left(\frac{d}{d_{1}}\right)^{4} \left(\sin \frac{k\pi b}{L} - \frac{k\pi}{L} \cos \frac{k\pi L_{1}}{L} \right) \right] + \frac{M}{B} \cos \frac{k\pi a}{L} \sin \frac{k\pi B}{L} + M_{2} \left[\frac{k\pi}{L} \cos \frac{k\pi L_{2}}{L} - \left(\frac{d}{d_{2}}\right)^{4} \left(\frac{k\pi}{L} \cos \frac{k\pi L_{2}}{L} - \frac{(-1)^{k}}{b_{1}} \sin \frac{k\pi b_{1}}{L} \right] \right]$$
(4)

В цилиндрических координатах (r, q, z) функция напряжения Ф (r, z) в области осевого сечения вала удовлетворяет уравнению

$$\frac{\partial^{2}\Phi}{\partial r^{2}} + \frac{\partial^{2}\Phi}{\partial z^{2}} - \frac{3}{r} \cdot \frac{\partial\Phi}{\partial r} = 0,$$
(5)

а на контуре осевого сечения - траничному условию:

$$\Phi[r(s); z(s)] = -\int_{a}^{s} T_{s}(s) \cdot r^{2}(s) ds,$$

где

$$T_{a}(s) = \tau_{ar} \frac{dz}{ds} + \tau_{az} \frac{dr}{ds} = \frac{1}{r^{a}} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial s}$$
(6)

проскция полного напряжения на нормаль к контуру осевого сечения на расстояния s по длине образующей вала: r (s) — раднус вала в сечении s;

$$\tau_{q_2} = -\frac{1}{r^2} \frac{r \partial \phi}{\partial z}; \qquad \tau_{q_2} = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial z}. \tag{7}$$

Так как вал скручивается нагрузкой симметричной оси, то на оси вала напряжения и т равны нулю, т. е. $\Phi(0, z) = \text{const. что без ограничения общности приводит к условию$

$$\Phi(0, z) = 0.$$
 (8)

Торны вала z = 0 и z = L свободны от напряжения, что при учете (6) означает

$$\Phi(r; 0) = \Phi(r; L) = 0.$$
 (9)

Решение уравнения (5) получается в виде

$$\Phi(r; z) = r^2 \sum_{k=1}^{\infty} A_k I_s \left(\frac{k\pi r}{L}\right) \sin \frac{k\pi z}{L} , \qquad (10)$$

где $I_2\left(\frac{her}{L}\right) - функция Бесселя первого рода от минмого аргумента.$

Тогда условия (8) и (9) удовлетворяются автоматически, и для напряжений из (10) и (7) получается

$$s_{qr} = -\frac{\pi}{L}\sum_{k=1}^{n} kA_k I_2\left(\frac{k\pi r}{L}\right)\cos\frac{k\pi z}{L},$$

где

$$A_{k} = \frac{LQ_{k}}{k\pi^{3}R^{2}I_{2}\left(\frac{k\pi r}{L}\right)}$$
(11)

Функция напряжений и касательные напряжения определяются формулами:

$$\Phi(r; z) = \frac{Lr^2}{\pi^3 R^3} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{Q_k}{k} \frac{I_r\left(\frac{k\pi r}{L}\right)}{I_2\left(\frac{k\pi R}{L}\right)} \sin\frac{k\pi z}{L};$$

$$S_{gr} = \frac{1}{\pi^2 R^2} \sum_{k=1}^{\infty} Q_k \frac{I_2\left(\frac{k\pi T}{L}\right)}{I_2\left(\frac{k\pi R}{L}\right)} \cos\frac{k\pi z}{L}; \qquad (12)$$

$$\pi_{\varphi z} = -\frac{1}{\pi^3 R^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{Q_k}{k} \left[\frac{2}{r} \frac{I_2\left(\frac{k\pi r}{L}\right)}{I_2\left(\frac{k\pi R}{L}\right)} + \frac{k\pi}{L} \frac{I_2\left(\frac{k\pi r}{L}\right)}{I_2\left(\frac{k\pi R}{L}\right)} \right] \sin \frac{k\pi z}{L}.$$

Для оценки точности предложенного аналитического метода были выполнены расчеты напряжений в различных сечениях вала, представленного на рис. 2. Эти значения сравнены с результатами расчетов, приведенными в [2]. Как и было принято в [2], в качестве сравниваемых значений напряжений взяты отношения действующих на данном участке напряжений к напряжениям $T_1 = \frac{M}{4\pi r_0}$ на участке $0 < z < \frac{r_0}{2}$ (табл.).



Рис. 2.

Таблица

1	$\frac{T_1}{T_1}$	T ₄	$\frac{\tau_{\rm eff}}{T_1}$	$\frac{T_{T_{T}}}{T_{1}}$	Сравнени татов	с резуль- в %
r.	но форм	улам (12)	no	[2]	$\frac{\tau_{pq}}{T_1}$	$\frac{T_{n}}{T_1}$
0	0	0	0	O	0	0
0,25	0,295	-0,031	0,256	-0,027	15,2	13,8
0,5	0,51	-0,125	0,471	-0,112	8,3	11,6
I	0,652	-0.31	0,62	-0.275	5,2	12,7

Анализ результатов показывает, что предложенный метод по сравнению с точным приводит к несколько завышенным значениям напряжений, что можно отнести к запасу прочности конструкции. Привелные результаты свидетельствуют о практической применимости м да приведения ступенчатого вала к валу с единой приведенной жесстью при решении задач кручения.

НИИ электромаш

15. H. P.S.

🔄 І. ЦРУБОЗЦЬ, 2. 2. НЦРУНЗЦЬ, 4. М. МИРЦЬЦЬЗЦЬ

ԱՍՏԻՃԱՆԱՎՈՐ ԼԻՍՆՌՆԵՔԻ ԼԱՐՎԱԾԱՑԻՆ ՎԻՃԱԿԻ ՎԵՐԼՈՒԾԱԿԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄ ՈԼՈՐՄԱՆ ԳԵՊՔՈՒՄ

Ամփոփում

Քննարկվում է աստիճանավոր լիսնոի ոլորման խնդիրը լիսնոի միջին մա սում և նրա ծայրնրում ազդող մոմննտների ազդեցության տակ։ Կիրառված է աստիճանավոր լիսնոի միասնական կոշտությամբ լիսնոով ներկայացման նղ նակը՝ Հավասարակշռության Հավասարումննրի Հնտադա ինտեգրմամբ։

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамян Б. Л., Джрбашян М. М. О кручения налов переменного сечения. ПММ, 1951, XV, 64, с. 451-472.
- 2. Аругюнян Н. Х., Абрамян Б. Л. Кручение упругих 1сл. М.: Физматгиз, 1969. 688 с.

Shl-filipuhula qhannip. abrhui XXXVII. 6, 1984 Серия технических

ГИДРАВЛИКА

17

С. М. КАЗАРЯН

ДВИЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД К СКВАЖИНЕ В НЕОДНОРОДНО-СЛОИСТОМ ПЛАСТЕ ПРИ ОТКАЧКЕ ИЗ НИЖНЕГО НАПОРНОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА

Дается аналитическое решение задачи о неустановившемся движении подземных вод к скважине в неограниченной трехслойной гидравлически связанной среде (рис. 1) с учетом инфильтрации и перетекания при жестком режиме в плохо проницаемых слоях. Краевыми условиячи предусматривается отбор воды только из нижнего напорного горизонта с постоянным и переменным расходами.



Процесс нестационарной фильтрации описывается следующей системой дифференциальных уравнений [1]:

$$b_{\varepsilon}(S_{1}-S_{0})-e = \frac{\partial S_{0}}{\partial t};$$

$$a_{1}\left(\frac{\partial^{2}S_{1}}{\partial r^{2}}+\frac{1}{r}\frac{\partial S_{1}}{\partial r}\right)-b_{1}(S_{1}-S_{2})-b_{1}^{*}(S_{1}-S_{0})=\frac{\partial S_{2}}{\partial t};$$

$$a_{2}\left(\frac{\partial S_{2}}{\partial r^{2}}+\frac{1}{r}\frac{\partial S_{2}}{\partial r}\right)-b_{2}(S_{2}-S_{1})=\frac{\partial S_{k}}{\partial t},$$
(1)

2-1048

где a_i — коэффициент пьезопроводности (i = 1, 2) верхнего (1) и нижнего (11) напорных водоносных горизонтов; b_i — коэффициент перетекания; S_i — понижение уровня подземных вод в любой точке покровного 1 и II водоносных горизонтов в любой момент времени (i=0, 1, 2):

$$a_{i} = \frac{(km)_{i}}{h_{1}}; \qquad b_{0} = \frac{\lambda_{0}}{h_{0}\mu_{0}}; \qquad b_{1}^{*} = \frac{\lambda_{0}}{h_{0}\mu_{1}^{*}}; \qquad b_{1} = \frac{\lambda_{1}}{h_{1}\mu_{1}};$$

$$b_{2} = \frac{\lambda_{1}}{h_{1}\mu_{2}}; \qquad e = \frac{\varepsilon}{\mu_{0}}; \qquad S_{1}(r, t) = H_{ie} - H_{1}(r, t).$$
(2)

Здесь $(km)_i = T_i$ (i = 1, 2) – водопроводимость 1 и II напорных пластов; " – коэффициент упругой водоотдачи этих же слоев [2]; λ_0 , λ_1 и h_0 , h_1 – коэффициенты фильтрации и мощности соответственно, раздельного и покровного слоев: " – интенсивность инфильтрации; H_{le} – пьезометрический напор в водоносных горизонтах в естественных услоянях (t = 0, 1, 2).

Решение систомы (1) будем искать для следующих пачальных и граничных условий:

$$t = 0, \quad S_{i}(r, t) = 0; \quad t > 0, \quad r \to \infty, \quad S_{i}(r, t) = 0;$$

$$\lim_{r \to 0} r2 \pi T_{i} \frac{\partial S_{1}}{\partial r} = 0;$$

$$\lim_{r \to 0} r \frac{\partial S_{2}}{\partial r} = -\frac{Q_{1}}{2\pi T_{2}}; \quad 2. \quad \lim_{r \to 0} r \frac{\partial S_{2}}{\partial r} = \frac{Q_{0}r^{-4}}{2\pi T_{2}}.$$
(3)

Применяя для уравнений (1) преобразование Лапласа относительно переменной *t*, с учетом начальных условий, после совместного решения системы получим [3]:

$$\begin{vmatrix} a_1 \left(\bar{S}_1 + \frac{1}{r} \cdot \bar{S}_1 \right) - \frac{p_2 + \frac{1}{10}p + \frac{1}{12}}{p + b_0} \bar{S}_1 + b_1 \bar{S}_2 = \frac{b_1 \bar{c}}{p \left(p + b_0\right)}; \\ a_2 \left(\bar{S}_2 + \frac{1}{r} \cdot \bar{S}_2 \right) + b_1 \bar{S}_1 - \left(b_2 + p \right) \bar{S}_2 = 0. \end{aligned}$$
(4)

Система (4) имеет частное решение вида S₁₀ [4], при этом:

$$\overline{S}_{qq}(\lambda) = -\frac{\delta_1 \lambda + d_2}{\lambda^3 (\lambda + 1) (\lambda^2 + f_1 \lambda + d_1)} \frac{\widehat{e}}{\lambda (\lambda + 1)};$$

$$\overline{S}_{qq}(\lambda) = -\frac{\delta_1 \lambda + d_2}{\lambda^2 (\lambda^2 + f_1 \lambda + d_1)};$$

$$\overline{S}_{qq}(\lambda) = -\frac{d_2}{\lambda^2 (\lambda^2 + f_1 \lambda + d_1)};$$
(5)

где

$$f_1 = 1 + B_1^0 + B_1^{*0} + B_2^0; \quad d_1 = B_1^0 + B_2^0 (1 + B_1^{*0}); \quad d_2 = B_2^0 B_1^{*0} \overline{e};$$
(6)

$$b_1 = B_1^{*0} \overline{e}; \quad \overline{e} = \frac{e}{b_0}; \quad p = \lambda b_0; \quad B_1^{t_0} = \frac{b_1}{b_0}; \quad B_1^{*0} = \frac{b_1^{*}}{b_0}; \quad B_2^{*} = \frac{b_0}{b_0}.$$

Общее решение соответствующей линейной однородной системы (4) с учетом граничных условий (3) и свойства функции K_a и I_m следуя [3, 4], будем искать в виде:

$$S_1 = A_1 K_0(\omega_1 r); \qquad S_2 = A_2 \Lambda_0(\omega_2 r), \tag{7}$$

где I₀ и K₀ — пилиндрические функции мнимого аргумента: соответственно, нервого и второго рода нулевого порядка.

Подставляя значение S₁ и S и однородную систему (4), получим систому алгебранческих уравнений относительно ω . A₁, A₂, откуда для нетривнального рошения определим кории характеристического уравнения:

$$a_{1,2} = \left(\frac{b_0}{2a_2} \frac{a_1 \lambda^2 + b_1 + c_2 + f(\lambda)}{\lambda + 1}\right)^{1/2},$$
(8)

где

$$a_{0} = A^{0} + 1; \quad A^{0} = a_{3}/a_{1}; \quad N' = A^{0} - 1; \quad b = 1 + B^{c} + A^{0}(1 + B^{0}_{1} - B^{*c}_{1});$$

$$\gamma_{3} = 1 + B^{0}_{1} + B^{*0}_{1} + B^{0}_{2}; \quad c = A^{c}B^{0}_{1} + B^{0}_{2}; \quad \gamma_{4} = B^{0}_{1} + B^{c}(1 + B^{*c}_{1});$$

$$\gamma_{5} = A^{0}(1 + B + B^{*o}_{1}) - (1 + B^{0}); \quad \gamma_{6} = A^{0}B^{0} - B^{1};$$

$$f(i) = \sqrt{(a_{0}\lambda^{2} + b\lambda + c)^{2} - 4A^{0}\lambda(i + 1)(\lambda^{2} + \gamma_{3}\lambda + \gamma_{4})}.$$

Hence any approximate the second second

Подставляя значения в находим и И А₂ с точностью до постоянного множителя:

$$a_{\rm H} = C_{\rm H}; \quad A_{\rm H} = C_{\rm H} \dot{i}_{\rm H}; \quad A_{\rm H} = C_{\rm H}; \quad A_{\rm H} = C_{\rm H} \dot{i}_{\rm H}, \tag{10}$$

где

$$\lambda_{1,2} = \frac{N\lambda^2 + \gamma_5 \lambda + \gamma_6 \equiv f(\lambda)}{2A^0 B^0 (\lambda + 1)}$$
(11)

Решением пеоднородной системы (4) булет:

$$S_{1} = C_{1}K_{0}(\omega_{1}r) + C_{2}K_{0}(\omega_{2}r) + S_{10};$$

$$S_{2} = C_{1}i_{1}K_{0}(\omega_{1}r) + C_{2}K_{0}(\omega_{2}r) + S_{10};$$
(12)

где С, и С. — постоянные, определяемые из условия (3):

$$C_{1,2} = \mp \frac{Q_1}{\lambda_2 - \lambda_1},$$

где

$$\overline{Q}_{2} = \frac{Q_{0}}{2\pi T_{2}\lambda}; \qquad \overline{Q}_{2} = \frac{Q_{0}}{2\pi T_{2}(\lambda + q)}$$
(13)



Здесь Q_{a} — откачка воды в постоянном расходе из нижного водоносного горизонта, а Q_{a} — первоначальный расход при откачке из того же слоя с переменным расходом.

Подставляя значения (13) в (12) и применяя к ним теорему обращения, получим [4, 5]:

$$S_{i}(r, t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\tau-i\infty}^{\tau+i\infty} e^{i\tau} \left[\overline{S}_{i0}(\lambda) - \Phi_{i}(\lambda) (K_{0}(\omega_{2}r) - K_{0}(\omega_{1}r)) \right] d\lambda;$$

$$(i = 0, 1);$$

$$S_{2}(r, t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\tau-i\infty}^{\tau+i\infty} e^{i\tau} \left[\overline{S}_{22}(\lambda) + \Phi_{21}(\lambda) K_{0}(\omega_{1}r) - \Phi_{22}(\lambda) K_{0}(\omega_{2}r) \right] d\lambda,$$
(14)

где

$$\Phi_{0}(\lambda) = -\frac{Q_{0}A^{0}B_{1}^{0}}{2\pi T_{2}} \cdot \frac{1}{\lambda f(\lambda)}; \qquad \Phi_{1}(\lambda) = -\frac{Q_{2}}{2\pi T_{2}} \cdot \frac{\lambda + 1}{\lambda f(\lambda)};$$

$$\Phi_{21, 22}(\lambda) = -\frac{Q_{2}}{2\pi T_{2}} \left(\frac{N\lambda^{2} + \gamma_{5}\lambda + \gamma_{6}}{2\lambda f(\lambda)} \mp \frac{1}{2\lambda}\right);$$
(15)

$$\Phi_{0}(\lambda) = -\frac{Q_{0}A^{0}B_{1}^{0}}{2\pi T_{2}} \cdot \frac{1}{(\lambda + \overline{q})f(\lambda)}; \quad \Phi_{1}(\lambda) = -\frac{Q_{0}}{2\pi T_{2}} \cdot \frac{\lambda + 1}{(\lambda + \overline{q})f(\lambda)};$$
$$\Phi_{2i, 22}(\lambda) = -\frac{Q_{0}}{2\pi T_{2}} \left(\frac{N\lambda^{2} + \gamma_{1}\lambda + \gamma_{0}}{2(\lambda + \overline{q})f(\lambda)} \mp \frac{1}{2(\lambda + \overline{q})} \right)$$

Подынтегральные функции (14) имеют особые точки в виде простых полюсов и точки разветвления [4].

Для функции $S_{i0}(\lambda)$ точки $\lambda_1 = -1$, $\lambda_{2,3} = -k_{1,2}$ простые полюсы, а $\lambda = 0$ есть полюс второго порядка. Для функции $\omega_{1,2}(\lambda)$ точки $-\Phi_{1,2} \pm i \lambda_{1,2}, -1, -\nu_{1,2}$ и 0 – являются точками разветвления, поэтому при дополнении L влево полукруглом большого радиуса надо обойти все точки разветвления. Полученные контуры изображены на рис. 2 и 3. соответственно, для функции $\omega_{2,1}(\lambda)$.

Если аргумент $\varphi(\lambda)$ на L считать изменяющимся от $-\frac{\pi}{2}$ до $\frac{\pi}{2}$,

то, соответственно, можно получить значения аргументов на прямолинейных путях. Представим изменение значений аргументов $\tau_{1,2}$ а также изменение всех величин, входящих в подынтегральные функции в таблице, где приведен метод вычисления значения функции $\omega_{2,1}(\lambda)$ лишь на контурах 3.4.5, 6, VI, V, IV и III. Аналогичные вычисления выполнены для остальных контуров.

10 1 $\lambda = \lambda_{1} + Pe^{in}$ N=-02+142 Petr A=A+Pein A=-+in 1= 12+ L 1 X=X+Pe-In A= Ae'n 6 3 8 X V n= peron 0 -1 · Ru $\lambda = \bar{\lambda}_i + \rho e^{i\pi}$ YU A=A+AEIn 2,=-0,-14 8 A=A+ Pe " 7=-07-18 ٩ X= The + Pe-IT LE 38-100,8+1001 U Рис. 2. iy A= A+ Aein AF-Q-IN X=Z2+AP A= N= pen A=-04-14 N=N+PEt λ=-1+peln 8 0 X 1=-1+pe-in A= A+ Aet N=-O-tw L A= A+PEIn A= J. + Peln え=-切-1% Ar Ar Asi is

Рис. 3.

Путь ин тегри- ровання	0-	λ	ş	Pa	T1	Fa	FI	Pa	73	(w2-г) (верхиян часть табанцы) [w1-г] (нижняя часть габанцы)
3	π	— p	88. NJ	.A ₁	0	А	0	A3		$\left(\overline{r}{\mathcal A}_2^{(2)}{\rho^{\left(\frac{n}{2}\right)}}\right)$
4	π	—р	ν3. 1	A_1	0	A2.	2	160	0	(FA(*))
5	ñ	-р	1, 5	A ₁	0	A_{2}	<u>x</u> 2	A ⁽⁶⁾	= 2	$\left(\overline{r}A_{7}^{(4)}e^{1\frac{\pi}{2}}\right)$
6	Ħ	—p	v ₁ , 0	A	0	1.12		A(6)	<u>r</u> 2	$\left(\frac{1}{r} A_{7}^{(0)} e^{\frac{1}{2} \frac{\pi}{2}}\right) -$
VI	- z		0, 1	А,	0	A_{2}	<u>π</u> 2	A ^{ft}		$\left(\overline{r} A_{T}^{(6)} e^{-L\frac{4}{2}}\right)$
v	=	-р	v ₁ , 1	<i>A</i> 1	o	A ₂	2	A ^(d)	- 2	$\left(\frac{1}{2}N_{10}^{-1}e^{\frac{\pi}{2}}\right)$
IV	— E		1, 2	А,	0	A2	- 2	$\mathcal{A}_{f}^{\left(0\right) }$	0	(F A ₇ ⁽⁴⁾)
- 111	-=	p	и ₃₁ ос	А1	0	A ₁	0	A ₇ ⁽³⁾	- 2	$\left(\vec{r}\boldsymbol{\lambda}^{(3)}e^{-f\frac{\pi}{2}}\right)$
3, 4	E	-p	00, 1	<i>A</i> 1	0	$A_2^{(2,\infty)}$	0	A ^(3, 4)		$\left(\overline{r}A^{(3-4)}e^{t\frac{\pi}{2}}\right)$
1V, III	-z	- 5	1, ∞	А	0	$A_2^{(1,4)}$	0	A. 41		$\left(\frac{1}{r}A_{7}^{(3,4)}e^{-t}\right)^{-1}$

Ta6.com

В таблице представлены следующие обозначения:

$$A_{1}(p) = 1 \quad \overline{(a_{0}p^{2} + bp + c)^{2} + 4A^{0}p(1 - p)(p - v_{1})(p - v_{2};};$$

$$A_{1}(p) = 1 \quad \overline{(bp + A_{1}(p))}; \quad A_{1}(p) = 1 \quad \overline{A_{1}(p) + (c + c)};$$

$$A_{1}^{(3,4)}(p) = V \quad \overline{a_{0}p^{2} + c + A_{1}(p) - b_{2}}; \quad A_{7}^{(3)} = \frac{A_{2}}{1 \quad p - 1} \quad (16)$$

$$A_{7}^{(3,4)} = \frac{A_{2}^{-4}}{V(p - 1)}; \quad A_{1}^{(6)} = \frac{A_{2}}{1 \quad 1 - p}; \quad \sqrt{\frac{b_{0}r^{2}}{2A^{0}a_{1}}}.$$

Используя данные, приведенные в таблице, после громоздких выкладок контурные интегралы приводятся к обычным нешественным определенным интегралам.

Расчетные формулы при этом получены в виде:

$$S_{t}(r, t) = S_{t0}(t) - \frac{Q_{t}}{4\pi T_{2}} R_{t}^{n}(r, t);$$

$$S_{2}(r_{0}, t) = S_{20}(t) + \frac{Q_{2}}{4\pi T_{2}} R^{n}(r_{0}, t);$$

$$S_{t}(r, t) = S_{t0}(t) - \frac{Q_{0}}{4\pi T_{2}} R_{t}^{n*}(r, t), \quad (i = 0, 1, 2),$$
(17)

где R₁^{*}(r, t) определяются по следующим выраженням:

$$R_{I}^{a}(r, t) = \int_{0}^{t_{1}} \Psi_{II}(\varphi) J_{0}(\bar{r}A^{(6)}) d\varphi + \int_{t_{1}}^{1} \Psi_{II} J_{0}(\bar{r}A^{(6)}) d\varphi + \int_{t_{1}}^{1} \Psi_{I2}(\varphi) J_{0}(\bar{r}A^{(3)}) d\varphi + \int_{t_{1}}^{1} \Psi_{I3}(\varphi) J_{0}(\bar{r}A^{(3,4)}) d\varphi;$$
(18)
$$R(r_{0}, t) = \int_{0}^{1} \frac{1 - e^{-\varphi}}{\varphi} J_{0}(\bar{r}A^{(3,4)}) d\varphi.$$

При случае $Q = Q_{p} = \text{const}$ имеем для $\mathcal{R}^{n}(r, t)$.

۲

$$\Psi_{01}(\rho) = \Psi_{02}(\rho) = \Psi_{01}(\rho) = A^0 B_1^0 (e^{-\rho z} - 1) G_1(\rho); \quad G_1(\rho) = \frac{1}{\rho A_1(\rho)};$$

$$\Psi_{11}(\rho) = \Psi_{11}(\rho) = \Psi_{12}(\rho) = \Psi_{01}(\rho) (1 - \rho);$$

$$\Psi_{21}(\rho) = \Psi_{22}(\rho) = \frac{1}{2} N_2(\rho) (e^{-\rho z} - 1) G_1(\rho);$$
(19)
$$\Psi_{23}(\rho) = \frac{1}{2} N_1(\rho) (e^{-\rho z} - 1) G_1(\rho);$$

$$N_{1,2}(\rho) = N(\rho) \mp A_1(\rho); \qquad N(\rho) = N\rho^2 - \gamma \rho + \gamma_0,$$

а при случае $Q_{q} = Q_{q}e^{-qt}$ имеем для $R^{q*}(r, t)$:

92

$$\Psi_{01}^{*}(\rho) = \Psi_{02}^{*}(\rho) = \Psi_{03}^{*}(\rho) = \frac{(e^{-q\tau} - e^{-\rho\tau})A^{0}B_{1}^{0}}{(q-\rho)A_{1}(\rho)};$$

$$\Psi_{11}^{*}(\rho) = \Psi_{12}^{*}(\rho) = \Psi_{13}^{*}(\rho) = \Psi_{01}^{*}(\rho)(1-\rho);$$

$$\Psi_{21}^{*}(\rho) = \Psi_{22}^{*}(\rho) = \frac{1}{2} \frac{\Lambda_{2}^{*}(\rho)(e^{-q\tau} - e^{-\rho\tau})}{(q-\rho)A_{1}(\rho)};$$
(20)
$$= \frac{1}{2} \frac{N_{1}(\rho)(e^{-q\tau} - e^{-q\tau})}{(q-\rho)A_{1}(\rho)};$$

$$\eta_{1,2} = \eta_{1,2} = \frac{\tau_{13} + 1}{2} \frac{1}{2} \frac{-4\eta_{13}}{2}.$$

Для функции $\overline{S}_{i0}(\iota)$ имеем:

$$\begin{cases} S_{00}(t) = \frac{\frac{k_{1} - d_{1}}{1 - f_{1} + d_{1}}}{1 - f_{1} + d_{1}} e^{-t} + \frac{(\tilde{b}_{1}k_{3} - d_{2})e^{-k_{1}}}{k_{1}^{2}(1 - k_{1})(k_{2} - k_{1})} + \\ + \frac{(\tilde{b}_{1}k_{1} - d_{2})e^{-k_{1}}}{k_{1}^{2}(1 - k_{2})(k_{1} - k_{2})} - \left(\frac{d_{2}}{d_{1}} = + \frac{\tilde{b}_{1}d_{1} - d_{1}d_{2} - f_{1}d_{2}}{d_{1}^{2}}\right) - \tilde{e}(1 - e^{-t}); \\ S_{10}(t) = \frac{k_{1}\tilde{b}_{1} - d_{2}}{k_{1}^{2}(k_{2} - k_{1})} e^{-k_{1}} - \frac{k_{1}\tilde{b}_{3} - d_{2}}{k_{2}^{2}(k_{2} - k_{1})} e^{-k_{2}} - (21) \\ - \left(\frac{d_{2}}{d_{1}} = + \frac{\tilde{b}_{1}d_{1} - f_{1}d_{2}}{d_{1}^{2}}\right); \\ S_{20}(t) = \frac{d_{1}e^{-k_{1}}}{k_{1}^{2}(k_{3} - k_{2})} - \frac{d_{2}e^{-k_{1}}}{k_{2}^{2}(k_{1} - k_{2})} - \frac{d_{2}}{d_{1}}\tau + \frac{f_{1}d_{1}}{d_{1}^{2}}. \end{cases}$$

Наряду с точными решениями получены также асимптотические решения для больших и малых времен [5].

Для малых времен расчетные формулы записываются в виде:

$$S_{I}(r, t) = -\frac{Q_{e}}{4\pi T_{e}} R^{au}(r, t) + S_{I0}(t), \quad (i = 0, 1, 2), \quad (22)$$

где

$$R_{0}^{nu}(r, t) = \frac{b_{0}^{z} A^{0} B_{1}^{0}}{N} \left[\left(\varphi_{0} \left(\frac{r^{z}}{A^{0} a_{1}} \cdot t \right) - \varphi_{0} \left(\frac{r^{z}}{a_{1}} \cdot t \right) \right];$$

$$R_{1}^{nu}(r, t) = \frac{b_{0} A^{0} B_{1}^{0}}{N} \left[\varphi_{1} \left(\frac{r^{z}}{A^{0} a_{1}} \cdot t \right) - \varphi_{1} \left(\frac{r^{z}}{a_{1}} \cdot t \right) \right];$$

$$R_{2}^{nu}(r, t) = Ei \left(-\frac{r^{2}}{4A^{0} a_{1}} \cdot t \right); \quad S_{00}(t) = -\frac{\tilde{v}_{1} b_{0}^{2} t^{2}}{6} - \bar{e} b_{0} t;$$

$$S_{10}(t) = -\frac{\tilde{v}_{1} b_{0}^{2} t^{z}}{2}; \quad S_{20}(t) = -\frac{d_{2} b_{0}^{3} t^{3}}{6} \cdot$$

$$(23)$$

Здесь

$$\varphi_{0}\left(\frac{r^{2}}{a_{1}}, t\right) = \int_{0}^{t} (t-u) Ei\left(-\frac{r^{2}}{4a_{1}u}\right) du;$$

$$\varphi_{1}\left(\frac{r^{2}}{a_{1}}, t\right) = \int_{0}^{t} Ei\left(-\frac{r^{2}}{4a_{1}u}\right) du.$$
(24)

Для больших времен расчетные формулы записываются в виде:

$$S_{i}(r, t) = \frac{Q_{2}}{4\pi T_{2}} R^{ab}(r, t) + \varphi_{i}(K) + S_{i0}(t), \quad (i = 0, 1, 2), \quad (25)$$

где

u[#] =

$$R^{nb}(r, t) = \ln \frac{2.25a^{*}t}{r^{2}}; \quad a^{*} = \frac{T}{u^{*}}; \quad T = T_{1} + T_{2};$$

$$= \mu_{0} + \mu_{1}^{*} + \mu_{2}^{*}; \quad \varphi_{0}(K) = \varphi_{1}(K) = -\frac{Q_{2}}{2\pi T_{3}} A^{0}B_{1}^{0}K_{0}\left(\sqrt{\frac{r^{2}cb_{0}}{A^{0}a_{1}}}\right);$$

$$\varphi_{2}(K) = \frac{Q_{2}}{2\pi T_{3}} \cdot \frac{B_{2}}{c} K_{0}\left(\sqrt{\frac{r^{2}cb_{0}}{A^{0}a_{1}}}\right); \quad (26)$$

$$S_{00}(t) = -\left(\frac{d_0}{d_1} + \frac{\delta_1 d_1 - d_1 d_2 - f_1 d_2}{d_1^2}\right) - \overline{e};$$

$$S_{12}(t) = -\left(\frac{d_2}{d_1} \tau + \frac{\hat{a}_1 d_1 - f_1 d_2}{d_1^2}\right); \qquad S_{22}(t) = -\left(\frac{d_2}{d_1} \tau - \frac{\hat{f}_1 \hat{d}_2}{d_1^2}\right);$$

Интегральные функции $R_i(r, t)$ и $\varphi_i\left(\frac{r}{a_1}, t\right)$ табулированы для

различных эначений гидрогеологических нараметров.

Предлагаемые рисчетные формулы позволяют разрешить сложные гидрогеологические задачи, связанные с вопросами осушения и испольлования подземных вод. Кроме этого, они могут служить критерием для оценки решения подобных задач численным методом на ЭВМ.

Арисельхозянстатут

3. IX 1984

ս. Մ. ՎԱԶԱԲՏԱՆ

ՍՏՈՐԵՐԿՔՅԱ ՋՔԵՐԻ ՇԱՐԺՈՒՄԸ ԴԵՊԻ ԱՆՀԱՄԱՑԵՌ ՀՈՂԱՇԵՔՏՈՒՄ ՏԵՂԱԳՐՎԱԾ ՋՔՀՈՐԸ՝ ՆԵՐՔԻՆ ՃՆՇՈՒՄԱՖԻՆ ՇԵՐՏԻՑ ՋՐՀԱՆՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ամփոփում

Դիտարկվում է Տիգրավլիկական կապի մեջ գանվող երեք անսահմանափակ ջրատար հողաշերտում ճնշումների հաշվարկման խնդիրը, ջրհորով ներբին Ճնշումային շերտից հաստատուն և փոփոխական ելքերի ջրառման դեպքերում։

Հավաստրումների համակարգը լուծված է օպնրացիոն հաշվի մեկողով։ Առաջին անդում ստացված են պատկերի բնագիրը և հաշվային բանաձևեր ժա մանակի կամայական, փոթր և մեծ պահերի ջրհանման դեպջերում։

ЈІ ИТЕРАТУРА

- Шестиков В. М. Фильтрационный расчет откачки из скважникы в днухиластоной системе Изв вузов. Геология и разведка, 1982, № 1, с. 67-85.
- Шелкачев В. Н. Упругий режим пластовых водонапорных систем М.: Гостехиздат, 1959. 144 с.
- Андре-Анго. Математика для элкетро- и радионяженеров /Пер. с франц./--М., Мир, 1964.— 772 с.
- 4 Полубаринова-Кочина П. А. Теория двяжения груптовых под. М.: Наука, 1977. -664 с.
- Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа. М.: Физматсиз, 1960.— 207 с

20340400 002 9-501-0301-0060 0409-00-03- 5026409-0 Известия академии наук армянской сср

SLjaбիկшկшն припир. цьерш XXXVII. № 6, 1984 Серия техняческих

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

А. Н. АВАКЯН, Г. А. ИОСПФЯН, В. С. БАГДАСАРЯН

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОИСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ

Свитетические алмазы ввиду особых условий получения существенно отличаются от природных по своим прочностным и термическим характеристикам, что связано с наличием в синтетических кристаллах большого числа дефектов и примесей. Изыскавие методов упрочнения синтетических алмазов с целью последующего увеличения работоспособности инструмента, изготовленного из него, представляет значительный интерсс.

Известно, что синтетические алмазы обладают определенными магнитными своиствами [1], обусловленными наличием в них парамагнитного азота и никеля. Примесные атомы никеля вхолят в кристаллическую решетку алмаза отдельными центрами и создают локальные макроскопические образования собственной структуры, небольшие агрегация атомов — кластеры, способные сохранять свою инливидуальность. Наличие магнитных свойств у синтетических алмазов, обусловленных существованием ферромагиитных кластеров, обладающих выраженными магиитострикционными свойствами, позволяет воздействовать внешним веременным магнитным полем на энергетические состояния решеточных несовершенств (дислокации, вакансии, примеси), которые играют решающую роль в прочностных характеристиках кристалла.

Отметим также снижение плотности объемных дислокаций в поле ультразвуковых колебаний [2], возбуждение которых в рассматриваемом случае в объеме кристалла обусловлено ферромагнитными магнитострикционными хластерами.

Нами изучались кристаллы, которые синтезировались обычным способом для нужд промышленности без специальных легирующих добавок. Кристаллы синтетических алмазов различных фракций подвергались воздействию переменного аксиально-симметричного магнитного поля. В качестве источника переменного магнитного поля применялся соленона, который подключался к тенератору переменной частоты с регуляруемой мошностью. Спитетические алмазы помещались в бумажную гильзу, которая опускалась в соленона. Через определенный промежуток времени кристаллы алмиза извлекались и проверялись на прочность одноосным сжатием до полного разрушения. Магнитная восприямчивость х синтетических алмазов измерялась методом Гюн [1], основанным на измерении попдемоторной силы, лействующей на порошкообразный образец, и рассчитывалась по формуле

$$\chi = \frac{2I_{AP}}{\mu_0 p \left(H^2 - H^2\right)},$$
 (1)

где *l* — длина образца: *фр* — кажущийся прирост веса: _{Po} — магнитная проницаемость вакуума: *p* — вес образца; *H*, *H*₁ — напряженности сильного и слабого однородных полей.

Рис. 1. Зависимость прочности алмазов размером 05 м, и от времени пребывания в переменном аксиально-симметричном магнитном поле. 1, 2, 3, 4 — при мощности генератора переменной частоты 3 кВт, 5 кВт, 6 кВт и 8 кВт,



На рис. 1 показана временная зависимость изменения прочности кристаллов синтетических алмазов с близкими значениями χ. Насыщение наступает после определенного времени пребывания кристалла алчаза в соленоиде с переменным магнитным полем и существенно зависит от подаваемой мощности задающего генератора. Для четырех значений мощности на рис. 1 видно, что при ее увеличения сокращается промя, необходимое для получения максимального эффекта упрочнения.

Аналогичные опыты с кристаллами, обладающими различными значениями χ , выявляют закономерность унсличения прочности с максимумом при значениях $\chi = (12-20) \cdot 10^{-3} \kappa^3 \kappa z$ (рис. 2).

При изучении влияния частоты на упрочнение кристаллов обнаружено насыщение величины упрочнения при частотах (23—25) кГц и фихсированных значениях времени и мощности. При увеличении подаваемой мощности кривая на рис. З параллельно смещается вверх и практически не меняется при изменении мощности от 6 до 8 кВт.

Следует отметить, что не все кластеры участвуют в генерации ультразвуковых колебаний. Как показано в [3], для ферромагнитных частии кластерного типа существует условие критического размера

$$R \ll R_e \approx \frac{0.95}{I_e} \left(\frac{10cB}{a_0 Q_R}\right)^{1/2}$$
(2)

при выполнении которого частица остается однородно намагниченной при всех значениях перемагничивающего поля. Здесь Is – намагниченность насыщения: a_0 — параметр решетки: c = 0.5, 1, 2 — для ПК. ОЦК и ГШК решеток, соответственно: B — параметр объемной энергии: Q_p — размагничивающий фактор.



Рис. 2. Зависимость упрочнения от у. 1 — алмазы, подвергнутые магнитной обработке, 2 — алмазы при исходном состоянии.



Рис, 3. Зависимость разрушающей изгрузки от частоты магинтного поля.

Полставляя соответствующие значения для кластеров, получаем, что значение радиуса сферы при короткой оси эллипсонда должно удовлстворять неравенству $R_e \leqslant 3 \cdot 10^{-2}$ мкм. Существование большого числа кластеров с $R_e > 3 \cdot 10^{-2}$ мкм должно положительно влиять на проявление упрочнения для кристаллов синтетического алмаза, обработанного аксиально-симметричным магнитным полем. Однако наличие кластеров снижает прочностные характеристики синтетических алмазов, которые существенно уступают природным. Рассмотрим кристалл синтетического алмаза с кластерами в приближении композита и по известным выводам теории упругости проанализируем деформационные характеристики с энергетических позиций. Эпергия упругото деформирования тегерогенного п томогенного теле определяется, свответственно:

$$U = \frac{1}{2} \int_{V} a_{ij} a_{ij} dV$$
(3)

H

$$U_{0} = \frac{1}{2} \int_{V} e_{ij}^{0} e_{ij}^{2} dV, \qquad (4)$$

где а, и с_{иј} — тензоры напряжения и деформации. Разделяя переменные по области включения и вне се:

$$\widehat{\sigma}_{ij} = \sigma^0_{ij} + \sigma^1_{ij}; \qquad \widehat{\mathfrak{s}}_{ij} = \mathfrak{s}^0_{ij} + \mathfrak{s}^1_{ij}; \qquad \widehat{U}_i = U^0_i + U^1_i,$$

для энергии взаимодействия двух напряженных состоянии получим:

$$U_{\rm int} = \frac{1}{2} \int \left(\tau^o_{ij} \tau^a_{ij} + \sigma^a_{ij} \varepsilon^o_{ij} \right) dV, \qquad (5)$$

а используя соотношение напряжение-деформация $z_{ij}^{1} z_{ij}^{0} = c_{ijkl} z_{il}^{1} z_{ij}^{0}$ (закон Гука), получим: $z_{ij}^{1} z_{ij}^{0} = z_{ijkl}^{0} z_{il}^{1}$.

После несложных преобразований и применения теоремы Остроградского-Гаусса в сочетании с условием равновесия на поверхности включения:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}^0}{\partial x_j} = 0; \qquad \frac{\partial \sigma_{ij}^1}{\partial x_j} = 0,$$

получим:

$$U_{int} = \int (z_i^0 U_i^1 - o_i^1 U_i^0) \, dS.$$
 (6)

Учитывая (3). (4) и (6), получаем выражение для энергии дефорции тела с находящемися в нем кластерами с поверхностью S:

$$U = U_0 + \frac{1}{2} \int (\sigma_i^2 U_i^1 - \sigma_i^1 U_i^0) \, dS. \tag{7}$$

Из выражения (7) видно, что минимальное значение U достигается минимум подынтегрального выражения, которое тем меньше, чем ближе по своим механическим свойствам алмазная матрина и включение.

В частном случае, алмазной матрице с кластером соответствует достаточно большое значение подынтегрального выражения, чем, вероятно, и объясняются пизкие прочностные показатели силтетических алмазов в сравнении с природным.

ПО «Алмаз»

19, X. 1983

ն, ъ. ԱՎԱԳՅԱՆ, Գ. Ա. ԻՈՍԻՖՅԱՆ, Վ. Ո. ԲԱՂԳԱՈԱՐՅԱՆ

ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԳԱՇՏԻ ԱԶԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍԻՆԹԵՏԻԿ ԱԼՄԱՍՏՆԵՐԻ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ուսումնասիրված է փոփոխական առանցքային համաչափ մադնիսական դաչտի ազդեցությունը միարյուրեղ արհեստական ալմաստի ամրության բնուքագրերի վրա։

Ստացված է ամրացման կապը ժամանակից և հաճախականությունից. որը րացատրվում է ալմաստի բյուրեղներում եղած ֆերոմադնիսական Նիկելային կուտակումներով։ Փորձնական եղանակով ստացված է մադնիսական Ներքափանցման արժեթը, որի դեպրում ստացվում է առավելադույն ամբացում։

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Богатырева Г. П., Невструев Г. Ф., Сохина Л. 1. Матиятная воспринучивость синтетических алмазов.— Синтетические алмазы, 1973, нып. 1, с. 20–22.
- Гиндин Н. І. п. др. Снижение плотности дислокаций в вристаллах под действием ультразвуковых колебаний — ФТТ, 11, 1972, с. 21—23
- 3. Петров Ю. И. Физика малых части: М.: Наука.- 273 с.

Տեխնիկական գիտութ, սերիա

XXXVI¹, Nº 6, 1984

Серия технических наук

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

В. А. АРЗУМАНЯН

ОБ ИЗГИБЕ КРУГЛОП, ЗАЩЕМЛЕННОЙ НО КОНТУРУ ПЛАСТИНКИ ЗА ПРЕДЕЛОМ УПРУГОСТИ

Рассмотрим задачу об изгибе круглой, защемленной по контуру пластинки при действия на нее осесимметряческой равномерно-распрелеленной пагрузки. Основное уравнение, описывающее упруго-пластическое равновесие в рамках деформационной теории пластичности, имеет вид [1]:

$$\frac{d^{4}\omega}{dr^{4}} + \frac{2}{r} \frac{d^{2}\omega}{dr^{3}} - \frac{1}{r^{2}} \frac{d^{2}\omega}{dr^{2}} + \frac{1}{r^{4}} \frac{d\omega}{dr} = \frac{q}{D} - \frac{1}{D} \left(\frac{d^{2}\Delta M_{r}}{dr^{2}} + \frac{2}{r} \frac{d\Delta M_{r}}{dr} - \frac{1}{r} \frac{d\Delta M_{0}}{dr} \right), \quad (1)$$

где Δ*М*, и ам. – нелинейные компоненты изгибающих моментов, определяемые по формулам, приведенным [1].

В первом приближении предполагаем, что в пластипке возникают две упруго-пластические зоны и вдоль этих зон $\Delta M_r(r)$ и $\Delta M_{ij}(r)$ меияются по закону треугольника [2] (рис. *a*).

Из граничных условий защемленной по контуру пластинки имеет место соотношение [1]

$$x_{q}(R) = x_{r}(0) - \frac{qR}{16D} - \frac{1}{R}\frac{dY}{dr}(R) = 0,$$
 (2)

где Y (r) — частное решение основного нелинейного уравнения (1).

В данной работе это решение получено в виде:

$$Y(r) = \frac{R^2}{4D} \left\{ \Delta M_r(0) \left(-\frac{5}{9} a_1^2 - \frac{2}{5} a_1^2 \ln \frac{\alpha}{a_1} \right) - \frac{\Delta M_r(R) (\alpha - \alpha_2)}{1 - \alpha_2} \left[\frac{1}{3} (2\alpha^2 - \alpha_2 - \alpha_2^2) - \frac{1}{2} a_2 (\alpha + \alpha_2) \ln \frac{\alpha}{\alpha_2} \right] \right\}.$$
 (3)

эдесь $x = \frac{r}{R}$, $\sigma_2 = \frac{r_2}{R}$ – безразмерные координаты вдоль радиального направления пластинки, а r_1 и r_2 – длины левой и правой упруго-пластических кон (рис. *a*).

Для решения задачи при заданном значении параметра нагрузки надо определить расчетные параметры: кривизны в центре и на контуре яластички; положение упруго-яластических зон. Для их определения получены нелинейные уравнения [1]:

$$x_{1}^{*} = \frac{6}{13} \frac{t}{x_{r}(0) - \frac{1}{R} \frac{dY}{dr}(R)};$$
 (4)

$$u_{\mu}(R) = -2u_{\mu}(0) + \frac{3}{R} \frac{dY}{dr}(R) - \frac{d^2Y}{dr^2}(R),$$
 (5)

гле

$$t = \left[\frac{v_r(0) - \frac{19}{36} \frac{\Delta M_r(0)}{D}}{\frac{10}{2}} \right] \times \frac{\sqrt{13 \frac{v_r^2}{h^2} - \left| x_r(0) - \frac{1}{6} \frac{\Delta M_r(0)}{D} \right|^2}}{\frac{v_r(0) - \frac{19}{6} \frac{\Delta M_r(0)}{D}}{\frac{10}{2}} \right]},$$
 (6)



Для пластинки, материал которой является идеально-пластическим, уравнения (4) и (5) фриводятся к виду:

Pue.

б

$$\Delta m_r(R) = \frac{2}{9} \frac{\frac{t_0}{a_1^2} - e(0) + \frac{9}{2} \Delta m_r(0) \left(1 - \frac{1}{3} z_1^2\right)}{1 - \frac{a_2(1 + a_2)}{4} + \frac{1}{2} \frac{a_2}{1 - a_2} \ln z_2};$$
 (7)

B

$$e(R) = \frac{1}{\sqrt{3}} \left\{ 2e(0) - 9\Delta m_r(0) \left(1 - \frac{2}{3} \alpha_1^2 \right) + \frac{9}{2} \Delta m_r(R) \left[1 - \alpha_2 (1 + \alpha_2) + \frac{\alpha_2}{1 - \alpha_2} \ln \alpha_2 \right] \right\},$$
(8)

где обозначено

$$t_{0} = \frac{6}{13} \left[e(0) - \frac{19}{4} \Delta m_{r}(0) \right] \times \left| 1 - \frac{1}{2\sqrt{3}} \sqrt{13 - \left| e(0) - \frac{3}{2} \Delta m_{r}(0) \right|^{2}} \right|$$

$$e(0) - \frac{19}{4} \Delta m_{r}(0)$$
(9)

$$\Delta m_r(0) = \frac{\Delta M_r(0) \cdot h}{9D\varepsilon_1}; \qquad \Delta m_r(R) = \frac{\Delta M_r(R) h}{9D\varepsilon_r}; \tag{10}$$

$$e(r) = \frac{z_0(r)}{\varepsilon_\tau}; \quad a_n = \frac{a_1}{n}; \quad x_r(0) = e(0)\frac{\varepsilon_\tau}{h};$$

$$x_r(R) = -\sqrt{3}e(R)\frac{a_n}{h}.$$
(11)

Параметр нагрузки определяется из соотношения

$$\frac{9}{16}p = e(0) - \frac{9}{2} \left[\Delta m_{e}(0) \left(1 - \frac{1}{3} \alpha_{1}^{2} \right) - \Delta m_{e}(R) \times \left[1 - \frac{\alpha_{2}(1 + \alpha_{2})}{4} + \frac{1}{2} \frac{\alpha_{2}}{1 - \alpha_{2}} \ln \alpha_{1} \right] \right], \quad (12)$$

где

$$\rho = \frac{qK}{Fh^2}$$
(13)

Рассмотрим два частных случая. 1. Интенсивность деформаций в крайних волокнах центрального сечения пластинки равна деформации текучести (рис. о). В этом случае

$$\varepsilon_0(0) = \varepsilon_\tau, \quad \varepsilon(0) = \frac{\varepsilon_0(0)}{\varepsilon_\tau} = 1, \quad \Delta m, (0) = 0, \quad \alpha_1 = 0,$$

поэтому из (7) и (8) получаем:

$$\Delta m_{r}(R) = \frac{2}{9} \frac{\frac{12}{1-\frac{\alpha_{2}(1+\alpha_{2})}{4} + \frac{1}{2} \frac{\alpha_{3}}{1-\alpha_{2}} \ln \alpha_{3}}}{1-\frac{\alpha_{2}(1+\alpha_{2})}{4} + \frac{1}{2} \frac{\alpha_{3}}{1-\alpha_{3}} \ln \alpha_{3}}$$
(14)

$$c(R) = \frac{2}{\sqrt{3}} \left\{ 1 + \frac{9}{4} \Delta m_{e}(R) \left[1 - a_{2}(1 + a_{3}) + \frac{a_{2}}{1 - a_{2}} \ln a_{2} \right] \right\}, \quad (15)$$

при этом

$$\Delta m_{r}(R) = -\frac{13}{9} \left[e(R) + \frac{1}{2e_{\mathfrak{s}}(R)} - \frac{3}{2} \right]$$
(16)

2. Упруго-пластические зоны примыкают друг к другу (рис. в).

В этом случае $\alpha_1 = \alpha$, и в центральном сечении пластинки значение интенсивности деформации получается равным e(0) = 4,316. Выражение под радикалом в (9) обращается в нуль и параметр t_a принимает значение, равное 0,953. Основная нелинейная система алгебраических уравнений (7) и (8) записывается в виде:

$$\Delta m_r(R) = -\frac{2}{3} \frac{\frac{0.953}{\alpha_1^2} - 2.184 - 0.711\alpha_1^2}{-\frac{4}{2} - \frac{2}{2} \frac{1 - \alpha_1}{\alpha_1} \ln \alpha_2}$$
(17)

 $e(R) = 2,521 + 1,642a_1^2 + 2,598\Delta m, (R) \left[1 - z_1(1 + a_1) + \frac{z_1}{1 + a_1} \ln z_1 \right].$ (18)

На основания этой системы определяются величины α , и e(R) с учетом выражения (16).

Рассмотрим предельный случай для защемленной пластинки. Этому случаю соответствует система нелинейных алгебраических уравнений (17) и (18). Она записана относительно двух исизвестных α_{n} *е* (*R*), решена методом подбора корией и нандены следующие значения:

$$a_1 = a_2 = 0.772;$$
 $e(R) = 6.79;$ $\Delta m_r(R) = 1.02;$
 $e(0) = 4.316;$ $\Delta m_r(0) = 0.474.$ (19)

Параметр нагрузки, вычисленный на основании (13), равен

$$p = \frac{qR^2}{Eh^2 s_r} = 2,839.$$
(20)

Известно [3], что точное значение параметра нагрузки, отвечающее предельному состоянию защемленной по контуру пластинки, равно $P_{\rm np} = 3.$

Значение (20) относится к решению задачи в первом приближении, когда упруго-пластические зоны меняются по закону треугольника. При решении задачи во втором приближении функция Δm_i , получается на кажлом участке в виде нескольких треугольников, полученпых на основе решения задачи в первом приближении. Влияние каждого из этих треугольников на решение задачи строго определяется теми же соотношениями, которые были использованы при решения задачи в первом приближении, когда имелись только два треугольника. Результаты расчета пластинки, относящиеся к ее различным состояниям. в зависимости от лараметра нагрузки приведены в таблице

							a reception of a
$p = \frac{qR}{\sigma_{\gamma}h^2} \frac{so(0)h}{k^2}$		$\frac{\mathbf{x}_{P}(0)h}{\varepsilon_{T}} = \frac{\mathbf{e}_{P}(P)h}{\varepsilon_{T}}$		<u>=₆(0)</u>	$\frac{\varepsilon_0(R)}{\varepsilon_{\rm r}}$	$\frac{M_{\ell}(0)}{\circ_{\tau}h^2}$	$\frac{M_{p}(R)}{z_{g}h^{2}}$
1,54	0,217	0,866	-1,733	0,866	1	0.144	- 0,198
1,775	0,25	1	-2,075	1	1,198	0,167	-0,221
2,448	0,474	2	6,656	2	3,843	0,229	-0,282
2,667	0,702	3		3	6,873	0.24	-0,286
2,895	0,982	4,316	-19,759	3,316	11,408	0+246	-0,288
				1			

Как показывают полученные результаты, за предельный уровень насрузки, при котором пластинка еще способна сопротивляться нагружекию, можно принять значение *p* = 2,896. Дальнейшее увеличение нагрузки влечет за собой резкое увеличение протибов и деформаций, которые будут неограниченно возрастать при приближении уровия нагрузки к ее предельному значению.

ЕрПИ им. К. Маркса

8. VII. 1984

2050000

վ. Ա. ԱՐՉՈՒՄԱՆՏԱՆ

ԵԶԲԱԳԾՈՎ ԱՄԲԱԿՑՎԱԾ ԿԼՈԲ ՍԱԼԻ ԾՌՈՒՄԸ ԱՌԱՉԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՍԱՀՄԱՆՆԵՐԻՑ ԴՈՒՐՍ

Ամփոփում

Գիտարկվում է նղրագծով ամրակցված կլոր սալի առանձղական-այլաստիկ Հավառարակչոունյունը առաձգականունյան սահմաններից դուրու Կիրառված է հաջորդական մոտավորունյունների մենեղը, որի առաջին մոտավորունյան Հասար ընդունված է, որ ծոող մոմենտների ոչ դծային բաղադրիչները փոխոլում են եռանկյան օրենքով, Կատարված է նվային հաշվարկ և ստացված են սահմանային բեռի, ծռող մոմենտների, ձկվածբների և կորունյունների ար-«եբները՝ կախված բեռնվածբից։

ЛИТЕРАТУРА

- Арзунанян В. А. Упруго-пластическое равновесие круглой пластички. В кн.: Межнуз ими, сб. научи, тр.: Исследования по сейсмостойкости сооружений. Ереван, Изл-во ЕрПИ, 1984, с. 56—64.
- Пурхов С. И. Напряженно-деформированное состояние в тонком цилинаре от воздействия креевого момента за пределом упругости.— Москва, 1981.— 16 с.— Рукопись представлена МИСИ им. В. В. Куйбышева Дев в ВНИНИС, 1981.

2ЦЗЧЦЧЦЪ UU2 ФРОЯРРЗАРЪЪВРР ЦЧИФЪВРЦЭР ВОДЪЧИФРР НЗВЕСТНЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

зыраришины прилагр. илеры XXXVII, № 6, 1984 Серия технических чаук

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Ю. А. ГАСПАРЯН

РЕШЕНИЕ ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ЩЕЛЕВИДНОГО АКУСТИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА, НАГРУЖЕННОГО ИМПЕДАНСОМ

Теорию распространения шлоских (однородных) звуковых воли в воляоводах можно применить для щелевидных акустических элементов, рассмотренных в [1-5]. Пусть плоская звуковая волна падает нормально со стороны щели на акустический элемент. Рассмотрим импедансы, вызываемые реакцией звукового поля на лицевую стенку и шель. Вблизи переходной части щели плоский характер движения волны будет нарушен и характеризуется входным импедансом шели Z_{u} . Другая часть звуковой волны проходин одновременно через верхний и нижний звукопоглошающие слои передней стенки и характеризуется входным нормальным импедансом зацией стенки звукопоглошающего слоя Z с известным импедансом зацией стенки Z_{вх}. И, налонен, пройдя воздушную полость, последняя часть звуковой волны будет проходить через второй звукопоглощающий слой и характеризустся входным импедансом Z_{ux_1} с известным импедансом задией стенки (рис. 1*a*, *б*).





Входной импеданс системы акустического элемента, выражаемый в виде проводимости и определяемый от второй стенки звукопоглощающего слоя в сторону щели, равен:

$$Z_{\rm a} = S_{\rm er} W \frac{Z_{\rm ar} S_{\rm m} W + P_{\rm ar_1} \operatorname{cth} (\gamma l_0)}{Z_{\rm ar} \operatorname{cth} (\gamma l_0) + Z_{\rm ar_2} S_{\rm m} W}$$
(1)

где

$$Z_{ax_{0}} = S_{cr} W \frac{S_{cr} W - j S_{ur} W_{0} \operatorname{cth} (\gamma l_{0}) \operatorname{ctg} \left(\frac{2\pi L}{\lambda}\right)}{S_{ur} W_{0} \operatorname{cth} (\gamma l_{0}) - j S_{cr} W \operatorname{ctg} \left(\frac{2\pi L}{\lambda}\right)}; \qquad Z_{ux} = \frac{Z_{ur} Z_{ux_{1}}}{Z_{ux_{1}} + 2Z_{ur}};$$
$$Z_{ux_{1}} = S_{cr} W \frac{S_{ur} W + Z_{ux_{1}} \operatorname{cth} (\gamma l_{0})}{S_{cr} W \operatorname{cth} (\gamma l_{0}) + Z_{ur}};$$

Как видно из формулы (1), неизвестным является вхолной импеданс щели Z_{ик} акустического элемента (рис. 1*и*). Задачу булем решать в трехмерной системе координат. Пусть плоская звуковая волна падает со стороны полупространства на акустический элемент (примем для упрощения без верхней и нижней стенки рис. 1*в*) и образует в щели звуковое поле, характеризуемое суммой богущих нормальных волн. Потенциал скоростей падающей нормально на лицевую стенку и отраженной звуковой волны определяется решением волнового уравнения, которое будом искать в виде:

$$\Phi(x, y, z, t) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} (A_{mn} e^{-jk_p z} + B_{mn} e^{jk_p z}) \cos k_m x \cos k_n y e^{j\omega t}, \quad (2)$$

где A_{mn} , B_{mn} — неизвестные коэффициенты (постоянные интегрировання), определяемые граничными условиями; $k_m = \frac{\pi m}{2b}$; $k_s = \frac{\pi n}{2b}$;

$$k^2 = k_m^2 + k_p^2 + k_p^2;$$
 $k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{c};$ k_m, k_n, k_p полновые числа ко-

лебаний понерек и вдоль осей x, y, z и падающей на лицевую сторону акустического элемента звуковой волны в пространстве и щели; k волновой вектор: λ — длина звуковой волны; с — скорость звука.

Под действием падающей звуковой волны возникают колебания лицевой стенки элемента с амилитудой скорости U₁, а в щели — U₀-Распишем значения распределения скоростей в щели и на лицевой стороне акустического элемента по собственным функциям задачи. воснользовавщиеь граничными условиями:

$$U(x, y) = \frac{\partial \Phi}{\partial z}\Big|_{z=0} = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} a_{mn} \cos k_m x \cos k_n y = U_0 \begin{cases} 0 < x < 2b, \\ b - \beta < y < b + \beta, \end{cases}$$
(3)

ELC
$$\alpha_{mn} = \frac{v_{mn} U_0}{S_{cT}} \int_0^{2b} \int_{b-1}^{b+3} \cos k_m x \cos k_n y dx dy,$$

а временной множитель exp(jot) из (2) опускается;

$$U'(x, y, l_0) = -\frac{\partial \Phi}{\partial z} \Big|_{z=l_1} = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{n} \beta_m \cos k_m x \cos k_m y =$$
$$= U_p \Big\{ \begin{array}{l} 0 < y < b - \beta, \\ b + \beta < y < 2b, \end{array} \Big\}$$
$$\beta_{mn} = \frac{U_{mn} U_{l_1}}{\sum_{m=0}^{2b} \int_{r+\beta}^{b-\beta} \cos k_m x \cos k_n y dx dy +$$
$$+ \int_{0}^{2b} \int_{0}^{b-\beta} \cos k_m x \cos k_n y dx dy \Big|.$$
(4)

B (3) H (4) $v_{mn} = 4$ HpH $m \neq 0$, $n \neq 0$, $v_{on} = a_{on} = 2$, HpH $m \neq 0$, n = 0или m = 0, $n \neq 0$, $v_{00} = 1$, при m = n = 0; откула

$$g_{mn} = g_{0n} = \frac{2U_s S_m}{S_{cr}} F_m(\eta) = 2U_0 \eta F_m(\eta);$$

$$g_{mn} = g_{0n} = \frac{2U_t (S_m - S_m)}{S_m} F_n(1 - \eta); \qquad \eta = \frac{2}{2t}$$

See

где

$$F_{*}(\tau) = \frac{\sin \pi n \eta}{\pi n \eta}; \quad F_{*}(1-\tau_{i}) = \frac{\sin \pi n (1-\tau_{i})}{\pi n (1-\tau_{i})};$$

$$n = \frac{n_1}{2}$$
 $(n_1 = 2, 4, 6, 8, ...);$ $n = \frac{n_2}{L}$ $(n_2 = 4, 8, 12, ...);$

Тогда:

$$U(x, y)|_{z=0} = -\frac{\partial \Phi}{\partial z}\Big|_{z=0} = jk_{y}\sum_{n=1}^{\infty} (A_{n} - B_{0n})\cos k_{n}y = U_{0}D_{1};$$
(5)

$$U(x, y)|_{z=1_0} = -\frac{\partial \Phi}{\partial z}\Big|_{z=1} = jk_p \sum_{n=1}^{\infty} (A_{nx}e^{-jk_p l_n} - B_{nx}e^{-k_p l_n}) \cos k_n y = U_j D_j.$$

После некоторых арсобразований получим следующие выражения для коэффициентов A₄₅ и В₆₅:

$$A_{an} = \frac{D_1 (U_0 e^{jk_p l_0} - U_1)}{2jk_p \operatorname{sh}(k_p l_0)}, \qquad B_m = \frac{D_1 (U_0 e^{-jk_p l_0} - U_1)}{2jk_p \operatorname{sh}(k_p l_0)}, \quad (5)$$

где

$$D_t = \frac{2S_{\mu}F_{\mu}(\eta)}{S_{ci}}.$$
 (7)

26

В выражение (6) вхолит неизвестная величина U., Рассмотрим силу звукового давления, действующен в щели и на лицевую стенку, когорая равна

$$\Psi(x, y, l_0, t) = \int_{0}^{2b} \int_{0}^{b+\beta} \rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} dx dy + \int_{0}^{2b} \int_{b+\beta}^{2b} \rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} dx dy + \\ + \int_{0}^{2b} \int_{0}^{b-\beta} \rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} dx dy.$$
(8)

Учитывая, что та же сила равна $\Psi_I = Z_+ U_I$ и произведя вычисления интеграла, получим уравнения для определения скоростей звуковой волны на лицевой и задней стенках:

$$U_{l} = \frac{U_{0}L_{2}}{Jk_{p} \operatorname{sh}(k_{p}l)Z - D_{n}\operatorname{ch}(Jk_{1}l)};$$

$$U_{l} = \frac{U_{0}L_{2}}{Jk_{p} \operatorname{sh}(k_{p}l)Z_{1} + E_{2}\operatorname{ch}(Jk_{p}l)}$$
(9)

где

$$E_{*} = \frac{2W(S_{*} - S_{*})S_{*}}{S_{*}}F_{*}^{2}(1 - r); \quad D_{*} = \frac{2WS_{*}}{S_{*}}F_{*}^{2}(r).$$

Решая совместно (7)—(9), получим окончательные выражения A_{ex} и B_{ox} для высших и нулевых мод в зависимости от U_{ox} Z_{y} и параметров акустического элемента:

$$A_{on} + B_{on} = \frac{U_0 D_2}{/k_0} \frac{Z_1 W \operatorname{cth} (k_0 l_0) + j \frac{k W}{j k_0}}{j W + j \frac{k W}{j k_0} \operatorname{cth} (k_0 l_0)}$$
(10)

$$A_{p} + B_{p} = \frac{U_0 E_0}{jk_p} \frac{Z_1 \operatorname{cth} (k_p l) + jW}{W \operatorname{cth} (k_p l_0) + jZ_1}; \qquad (11)$$

$$A_{t0} + B_{00} = \frac{U_0 r_i}{f k_p} \frac{W_0 + W}{W_0 - W} \operatorname{cth} (k_p \, l_0). \tag{12}$$

Для случая распространения нулевых и затухающих мод высших порядков, т. с. когда $k < k_n$, имеем

$$jk_p \sqrt{k_n^2 - k^2} = k_n \sqrt{1 - \left(\frac{k}{k_n}\right)^2} = k_n a.$$

Следовательно, при опрецелении импеданса звукопоглощающей лицевой стенки с щелью следует провитегрировать согласно граничным условиям и разделить полученную суммарную силу на U₀. Окончательпо приходим к выражению:

$$Z_{m} = S_{m} W_{0} \eta \frac{W_{0} + W}{W_{0} - W} \operatorname{cth}(\gamma l_{0}) + 2j W \frac{S_{m}^{2}}{S_{m}} \sum_{n=0}^{m} \frac{P_{n}^{2}(\gamma)}{jk_{0}} \times$$

$$\times \frac{Z_{I} W \operatorname{cth}(k_{p} l_{q}) + j \frac{k W}{k}}{Z_{I} W + j \frac{k W}{l k_{p}} \operatorname{cth}(k_{p} l_{q})} + 2j W - \frac{(S - S_{m}) S}{S_{cr}} \times$$

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{F_{\pi}^{2}(1-i)}{k_{\pi}} \frac{Z_{i} \operatorname{clh}(k_{\mu} l_{0}) + jW}{W \operatorname{cth}(k_{\mu} l_{0}) + jZ_{i}} + j = \frac{S_{\mu \pi}^{2}}{S_{\mu \pi}} (\bar{i}_{0} + 2\bar{i}_{1})$$
(13)

Здесь $W = W_a + f W_i$, $W_a = p_a c_a - соответственно, волновые сопро$ $ливления звуконоглощающего материала и ноздуха; <math>\gamma = a + f \beta_1 - no$ стоянцая распространения, <math>1/cM; a - показатель затухания в средеполокинстого материала н

В выражении (13) первые два члена представляют импедане звукопоглощающей стенки и щели, получаемый за счет изанмолействия поршней S_{ст} и S_л, вследстви паложения их ближних звуковых полей. Третий член является выражением переносного импеданса в точке приложения силы звухового давления, а четвертый член — импедансом воздушной пробки щели с присосдиненной массой с обеих сторои. При переходе звуковой волны из шели в резонирующую полость образуется скачок, приводящий к возникновению присовдиненной массы

M(---) где $S_{12} = 2bI$. Строгая оценка велични концевых двухсторонних фолравок для заданной геометрии весьма затруднительна.

Заесь возникает необхолимость решения дифференциальной задачи, касающейся прохождения звуковых колебаний шели элемента, отличающийся формой и геометрией полости. При продольном раскрыве щели акустического элемента, если она симметрична, сохраняя в решении моды высшего порядка и при в = 0, получается второе приближение. Тогла двухсторонияя подравка, согласно рекомендациям [2, 4], рявна:

$$2\delta_l = 4b'\lambda^{-1} \left[\frac{\delta_2 (1 - S^2)}{(1 + \delta_1 S)^2 (1 + \delta_2 S^2)} - \ln S \right];$$

$$\delta_n = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2bk}{\pi m}\right)^2}; \qquad S = \sin\left(\frac{\pi n}{2b}\right); \qquad b' = 2b.$$

Учичныха присседнисниую массу щеля, связвниую с концелой поправкой, с учетом толщины I_a и воздушного промежутка . "который расположен за передней стенкой акустического элемента, получим:

$$2\lambda_{I} = -\frac{23}{\pi S_{m}\rho_{0}} \frac{k}{\eta} \left\{ \ln \left[\sin \left(\frac{\pi \eta}{2} \right) \right] \right\} + W_{0} \operatorname{ctg} \left(\frac{2\pi L}{\lambda} \right).$$
(14)

Введя переменные и обозначения $\beta/\lambda = D$, $b/\lambda_1 = d$, $l/\lambda = h$, $L/\lambda = H$, получим:

$$k_n \alpha l_0 = \frac{\pi n \eta h}{2D} \sqrt{1 - \left(\frac{4D}{n\eta}\right)^2}; \qquad \frac{k}{k_n \alpha} = \frac{4d}{n \sqrt{1 - \left(\frac{4d}{n}\right)^2}} = A$$

или

$$k_{n} \alpha = \frac{K}{A} = \frac{2\pi}{\lambda A}, \qquad k_{n} \alpha l_{0} = \frac{\pi n h}{2d} \sqrt{1 - \left(\frac{4d}{n}\right)^{2}}$$

Тогда Z_{nx} можно выразить в зависимости от *R* и *Y* при заданных *D*, *d*. *h* и *i*. Согласно рекомендациям [2, 3] и на основании формулы (13) имеем. что реактивная часть импеданса звукопоглощающей стенки с щелью равна:

$$Z_{j} = 2f_{i} W \frac{S_{i}^{2}}{S_{cr}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{F_{n}^{2}(\eta)}{k_{n}a} Q_{n} + 2l_{i} W \frac{(S_{in} - S_{in})S_{in}}{S_{cr}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_{n}^{2}(1 - \eta)}{k_{n}a} Q_{r_{n}}, \qquad (15)$$

где

$$Q_{r_{0}} = \frac{\left[(R W)^{2} + (Y W)^{2} + (A W_{0})^{2}\right] \operatorname{cth}\left(\frac{2\pi l_{0}}{\lambda}\right) + YAWW_{0}\left[1 + \operatorname{cth}^{2}\left(\frac{2\pi l_{0}}{\lambda A}\right)\right]}{(R W)^{2} + \left[YW + AW_{0}\operatorname{cth}\left(\frac{2\pi l_{0}}{\lambda A}\right)\right]};$$

$$Q_{r_{0}} = \frac{(W^{2} - R^{2} - Y^{2})\operatorname{cth}\left(\frac{2\pi l_{0}}{\lambda A}\right) + YW\left[\operatorname{cth}^{2}\left(\frac{2\pi l_{0}}{\lambda A}\right)\right]^{2}}{R^{2} + \left[W\operatorname{cth}\left(\frac{2\pi l_{0}}{\lambda A}\right) - Y\right]^{2}}.$$
(16)

Действительная часть импеданса определяется из соотношения

$$Z_{r} = -\left[2jW\frac{S_{cr}}{S_{cr}}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{F_{n}^{2}(n)}{k_{n}}Q_{j_{n}} + 2jW\frac{(S_{cr}+S_{ut})S_{u}}{S_{cr}}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{F_{n}^{2}(1-\eta)}{k_{n}a}Q_{j_{n}}\right],$$
(17)

где

$$Q_{j_{0}} = \frac{RAWW_{0} \left[1 - \operatorname{cth}^{2} \left(\frac{2\pi I_{0}}{\lambda A}\right)\right]}{\left(RW^{2}\right) + \left[YW + AW_{0}\operatorname{cth}\left(\frac{2\pi I_{0}}{\lambda A}\right)\right]^{2}};$$

$$Q_{j_{0}} = \frac{RW \left[H\operatorname{cth}^{2} \left(\frac{2\pi I_{0}}{\lambda A}\right)\right]}{R^{2} + \left[W\operatorname{cth}\left(\frac{2\pi I_{0}}{\lambda A}\right) - Y\right]^{2}}.$$
(18)

Однако из выражения $| n^2 (4d)^2$ вытекает, что *п* может принимать только значения n > 1d. Отметим, что в случае частот $f < 630 \ \Gamma u$, подкоренное выражение верно при $| n^2 - (4d)^2 |$.

Для нулевой моды удельный акустический импеданс будет:

$$\frac{Z_{or} + jZ_{ej}}{S_{cr} W_{o} \gamma} = Q_{er}$$
(19)

где

$$Q_{q} = W \frac{R W [1 + \operatorname{ctg}^{2}(\gamma l_{0})] + /(W^{2} - Y^{2} - R^{2}) \operatorname{ctg}(\gamma l_{0}) + /Y W [\operatorname{ctg}^{2}(\gamma l_{0}) - 1]}{R^{2} + |W \operatorname{ctg}(\gamma l_{0}) - Y|^{2}}$$
(20)

Полный входной импеданс со стенками из материалов с диссипативными потерями равен:



$$f_{\rm autainer} = 0.65 \,\kappa \Gamma u \,.$$

Проверка расчета импедансных характеристик акустического элемента размером 25×25×25 см, толщиной стенок 3 и 5 см и ширниой щели, соответственно, 2, 4, 6, 8, 10, 12 и 14 см произведена по формулам (15), (17), (19), (21) с подстановкой в формулу (1). Вычисление произведено на ЭВМ СМ-4, по программе ФОРТРАП-4. Пример геометрического построения частотных характеристик импеданся шелевидных акустических элементов показан на рис. 2. На представленной частотной характеристике интегрального имледанса поверхности акустического элемента, реактивная составляющая сопротивления несколько раз мересекает ось частот, обращаясь в этих точках в нуль (резонанс). Измененико комплексного сопротивлеиня У соответствует и характер звукопоглощения: в точках резонанса У резко возрастает (при отсутствии потерь $Y \rightarrow \infty$), а на частотах антирезонанса — падает до малых значений.

Показано, что при определенной имирине диссипативной щели можно достичь явления звукологлощения при очень малых размерах щели по сравнению с ллиной звуковой волны. В частности, это заметно на средних и высоких частотах, где величина звукопоглошения увеличивается до 30—50%, а в лияпазоне низких частот происходит незначительное увеличение звуконоглощения в пределах 10—20%. Оптимальное звукопоглощение происходит при согласовании входного импеданса поверхности облицовки с волновым сопротивлением ноздуха. Величина звукопоглощения объемного звукопоглотителя определяется не только его линейными размерами по отношению к длине звуковой волны, но и акустическими характеристиками его поверхности, т. с. значениями нормального импеданса.

ЕрПИ им. К. Маркса

21 11 1984

8nr. Ա. ԳԱՍ**ՊԱՐՅԱՆ**

ՒՄՊԵԳԱՆՍՈՎ ԲԵՌՆԱՎՈՐՎԱԾ ՃԵՂՔՍՎՈՐ ՉԱՅՆԱՅԻՆ ԷԼԵՄԵՆՏԻ ԱԼԻՔԱՅԻՆ ՀԱՎԱՍԱԲՄԱՆ ԼՈՒԾՈՒՄԸ

Ամփոփում

Գիտարկված է խոռանարդային ձևի ներքին դատարկությունով և երկայծական ձևզրային բացվածը ունեցող ծավալային էլեժենաների ձայնադիտական բնութագրերի տեսական հայվարկը։

Հաշվարկման ստացված ինժենեռական մեխողը խուղ է տալիս որոշել բարդ ուրվագծով ձայնային էլեժենանեռի ձայնակլանիչ ընուխադրերը, եխե Հայանի են հետելալ ալիքային պարամետրերը՝ դիմադրուխյունը, ձայնակլանիչ նյունի տարածման հաստատունը, երկրաչափական պարամետրերը և ծայնի ալիջի երկարությունը.

ЛНТЕРАТУРА

1 Скучик Е. Основы акустики. – М.: Мир. т. 1. 1976.--519 с.

2 Леник Л. Теория колноводов. М. Радно и связь, 1981 -- 310 с.

 Велижанина К. А., Воронина Н. Н. Излучение шели в перегородке волковода, катруженного произвольчым импольносм...- Вестник МГУ, 1969, № 1, с 55-62.

4. Ржевкин С. И. Курс левини по теории звуха. М.: Изд-во МГУ, 1960. 337 с.

5. Morse P. M., Ingard U. Theoretical acoustiles. - New York: 1968 - 924p.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԳԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЯ ССР

Տեխնիկական գիտութ, սեշիա

XXXVII. № 6. 1984 Серня технических чаук

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

С. А. ШАБОЯН

СИЛОВОИ НИТЕГРАЛЬНЫЯ КЛЮЧ

Силовые интегральные ключи, созданные благодаря усовершенствованню технологии производства полупроводниковых приборов, обладают существенными преимуществами по сравнению с современными базовыми элементами преобразовательной техники-тиристорами.

В настоящее время широкий круг задач не может быть положительно решен с помощью тиристорных преобразователей, г. к. в одних случаях они не могут обеспечить требуемую точность и быстродействие, в других-не удовлетворяют требованиям по весо-габарятным характеристикам.

Диапазон применения силовых интегральных ключей в таких ведущих отраслях индустрии, как станкостроение (в приводе полач станков с ЧПУ на основе серийного асинхронного двигателя с силовыми внтегральными ключами коммутаторами), атомная энергетика, робототехника, преобрязователи на базе интегральных ключей и т. 1., за счет волной управляемости и высоких частотных свойств позволяют обеспечнть формирование синусоидального напряжения с предельной частотой до нескольких сот Ги с неограниченной скоростью изменения частоты выходного напряжения [1].

Рассмотренные выше сферы не исчерпывают всей ожидаемой области применения спловых интегральных ключей, которая весьма многограния и включает в себя наряду с массовыми потребителями, такима, как электропривод, вторичные источники питания, большое количество малых потребителей: электрохимические и электроэрозионные методы обработки. В качестве примера могут быть отмечены агрегаты бесперебойного питания, в которых силовые интегральные ключи используются для точной стабилизации и фильтрации больших токов.

Силовые транаисторы. Большинство современных переключающих транзисторов бинолярные, имеют и-р и р структуру с гребенчатой топологися и изготавливаются но мезапланарной технологии методом двойной или тройной диффузии на основе кремниевых пластии, полученных методом элитаксии или по технологии «встречной диффузии» с последующей шлифовкой и полировкой рабочей стороны [2].

Надежную работу силового транзистора часто обеспечивают, подключая к нему дополнительные элементы. Для увеличения коэффициента усиления собирают схему Дарлингтона с ускоряющим диодом, а для защиты от перенапряжения и протекания рекуперативных токов инвертора (рис. 1) подключают между эмиттером и коллектором силовой быстродействующий днод. Эти дополнительные элементы пряводят к ряду нежелательных трудностей, монтажные провода между ними становятся источниками паразитных индуктивностей и емкостен, конструкция такого ключа становится относительно громоздкой и требует подбора элементов, в связи с чем повышается стоимость преобразуемой энергии.

Учитывая все эти недостатки силовых ключей с отдельными элементами, становится необходимым создание специальных транзисторных ключей.

Силовой интегральный ключ. Основные требования к силовым интегральным ключевым элементам, предназначенным для инверторных



схем, работающих в режиме широтно-импульсной модуляции при сетьевом напряжении 380 *B*, следующие:

— максимальный импульсный ток коллектора I_{к шах} — 125 А;

 — обратное напряжение коллектор-базы U_{к 60} — 800 – 1000 В;

- время снада t. n -- 2-3 мкс;

- коммутационная импульсная

Рис. 1. Электрические схемы силового интегрального ключа.

мощность $P_{\kappa n}$ при напряжении коллектор-эмигтера 700 $B = 40 \ \kappa Bm$:

— коэффициент нередачи тока h_{11} при номинальном токе 60 A и $U_{13} = 3$ B — не менее 50.

Расчет обратных коллекторных характеристик был проведен в приближении резкого коллекторного перехода с учетом 50%-го технологического запаса по обратному напряжению U_{sto} с использованием выражения:

$$U_{\kappa \kappa} = E_{\kappa \rho} W_{\kappa} - \frac{W_{\kappa}^{Q}}{2} \cdot \frac{qNd_{\kappa}}{\omega_{\kappa}} , \qquad (1)$$

где $q = 1.6 \cdot 10^{19} \ K_A$ — заряд электрона: $\epsilon = 12 \ \Phi/.e. = -8.85 \cdot 10^{-12} \ \Phi/.e.$ диэлектрическая проницаемость кремния и вакуума: $E_{sp} = 10^5 \ B/c.e.$ (Nd_s) — критическое ноле: $W_{sp} = 110 \ MKM$ — ширина коллекторной области.

Выявлено коллекторного *n*—*p* перехода на поверхности осуществляется кислотно-струйным травлением, обеспечивающим необходимую гесметрию фаски, что исключает поверхностный пробой *p*—*n* псрехода. Одной из наиболее важной и вместе с тем сложной задачей явлиется проектирование и расчет топологии силового ключа, включаюшего в себя четыре интегральных силовых элемента, отдельный расчет, а также их компановку и оптимальное расположение на кремниевой пластине, обеспечивающей требуемые статические и динамические параметры ключа.

Топология ключа включает в себя (рис. 2) входной и выходной транзисторы T_1 и T_2 , соединенные по схеме Дарлинстона, ускоряющий диод \mathcal{A}_1 , обеспечивающий запирание транзистора T_2 при форсированном выключении, и силовой быстродействующий лиод \mathcal{A}_2 , обеспечивающий протекание рекуперативных токов во время переходных процессов в мостовых инверторных схемах. Резисторы R_1 и R_2 получаются произвольно при технологическом процессе изготовления ключа и величина их не превышает нескольких десятков O_M .



Рис. 2. Топология сплового интегрального ключа.

При расчете коэффициента передачи тока составного транзистора обычно исходят из выражения:

$$h_{21s} = (1 + k_{21s}) h_{21s_1}, \qquad (2)$$

где h₂₁₃, и h₂₁₃, — коэффициент передачи тока входного и выходного транзисторов.

Для такой зависимости h_{из} обычного транзистора в режиме насыщения получено выражение с учетом эффекта модуляции проводимости коллектора [3]:

$$h_{21\times(1,2)} = h_{21\times(1,2)} \left\{ 1 - \frac{I_{1,1,2}}{Q_0 4 D_{38}} \frac{W_n^2}{Q_0 4 D_{38}} \left(1 - \frac{W_+ U_{0,0,1,2} P_{(1,2)}}{2 \rho_N W_h I_{(1,2)}} \right)^2 \right\}^{-1}$$
(3)

где $h_{,3}$ — малосигнальное значение $h_{2^+,3}$; Q_6 — число Гуммеля для базовой области: p — удельное сопротивление коллекторной области: P — длина периметра эмиттера; W_n — эффективная ширина эмиттерной гребенки. (Индексы 1 и 2 относятся к входному и выходному транзисторам, соответственно).

Для отношений $P_{2'}P_1$ и I_{23}/I_{κ_1} получено значение 4 при средней ширине эмиттерных гребенок $W_* = 300 - 360 \text{ мкм.}$ В режиме насыщения и при номинальных токах средние значения: $h_{21,*} \approx 7$ и $h_2 \approx 9$, а согласно зависимости (2): $h_{21,*} \approx 70$.

Ускоряющий диод \mathcal{A}_1 создан в виде планарного $p \rightarrow n$ перехода (1-1.5 мкм) фосфора, что обеспечивает минимальную эффективность данного $p \rightarrow n$ перехода во время выключения. Дляна периметра планарного диода \mathcal{A}_1 , рассчитанного на пропускание запирающего тока $I_{6.069}$ траизистора T_2 12—15 A, равна 7—8 см. Исходя из допустимой импульеной плотности тока ≈ 200 A см и эффекта оттеснения тока к краям гребенки, эффективно инжектируемая ширина края гребенки составляла 100 мкм.

При создании силового быстровосстанавливающегося диода Д был использован коллекторный p-n переход траизистора T_2 , что и обеспечивает требуемое напряжение блокировки. Быстродействие диода \mathcal{A}_2 обеспечивается путем снижения жизни неосновных носителей заряда (дырок) в его базе до значений ~ 0.4-0.5 мкс, при котором обеспечивается время восстановления обратного напряжения на диоде ~ 0.8- 0.9 мкс. Регулирование — эффективно достигается путем локального облучения полупроводниковых структур через маски на электронном ускорителе. Расчет площади S_p лиода \mathcal{A}_2 был осуществлен при условии, чтобы прямое надение — при токе $I_D = 60$ A не превышало ~2 B.

Отдельные элементы ключа расположены центрально-симметрично (рис. 2), что обеспечивает максимум однородности распределения протекающих токов. В таблице приведены основные электрические параметры силового ключа.

Таблица

Параметр	I _{khi Max} , A	U _{K 60} , B	U _{жи мах} , В при I _ж = 0,5 А. I _{ки мах} при h _{21 э} =20	$h_{23,9}$ spn $I_{s} = 0.5 A.$ $I_{K3,953,1}$ $U_{K9} = 3 B.$	I_{CB} , AKC mps $I_{D} = 0.5 A$, $I_{KB,MBE}$, $E_{MB} = 20$, $J_{dop} = 10 A$
Злачения параметров	125	800-1000	2,6	50	3

На рис. З представлены типичные выходные ВАХ силового интегрального ялюча и зависимость *и* от тока коллектора.



Рис. 3. а) Типичные выходные ВАХ силового интерплиного ключи; 6) записимость коэффициента усиления h₂₁, от тока коллектора сидового интегрального ялючи.

СКТБ ЛТ

5_111_1984.

11. 2. TURNSOL

ՈՒԺԱՅԻՆ ԻՆՏԵԳՔԱԼ ՔԱՆԱԼԻ

Ամփոփում

Աշխատանքում բերված են 125 Ա հոսանքի և 800—1000 Վ լարման սիլիրիումային ինտեգրալ բանայիների մշակման և պատրաստման առանձնահատկուվյունները, ինչպես նաև նրանց հիմնական էլեկտրական բնութագրերը։

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кузьмин В. А. Расчет силовых полупроводниковых приборов. М : Энергия, 1980.
- Шабоян С. А. Скловые транзисторы на большие токи.—Электротехника. 1982, 3, с. 9—11.
- Впрдинян А. А., Шабояк С. А. Особечности респределения токов влоль эмиттерных гребенок силовых траненсторов.—Изв. АН Арм. ССР. (сер. ТН), 1984, т. XXXVII, № 2, с. 35—39.

2ЦЗЧЦЧЦЬ UU2 ФРОПРОБОРОЦИРИЗР ВОДОЧЦФРО ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЯ ССР

Տեխնիկական շխտութ, սեշիա

XXXVII. № 6, 1984

Серия технических наук

научные заметки

Л. А. ДЖАРАКЯН, О. В. ТОКМАДЖЯН

К ГИДРАВЛИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ ТРАНШЕЙНОГО ВОДОСБРОСА

Движение в канале траншейного водосброса имеет сложный трехмерный характер. Падающие струи создают в поперечном направлении траншен водовороты, и в некоторых случаях — незатопленный гидравлический прыжок, условие гашения которого в современных метолах расчета обычно не учитывается. Поэтому представляет интерес определение параметров траншейного водосброса при заданной кривой свободной новерхности с соблюдением этого условия в поперечном направлении.

В расчетах принимается постоянство напора водослива *H*_o, что обеспечивает постоянный удельный расход по всему фронту водослива. Сжатая глубина поступающей в траншею струн согласно [1] имест вид

$$h_{\rm c} = \frac{q_{\rm n}}{\Phi V \, 2g \left(H_0 + z + h_{\rm c} - h_{\rm c}\right)} \,. \tag{1}$$

где q₄ удельный расход через водослив: 9 — коэффициент скорости: z — ордината кривой свободной новерхности; h_c и h² — сжатая и сопряженная глубины; g — ускорение силы тяжести.

В каналах прямоугольной формы сопряженная глубина определяется по формуле

$$f_{\rm c}' = \frac{h_{\rm c}}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{8 \varkappa q_{\rm n}^2}{g h_{\rm c}^3}} - 1 \right). \tag{2}$$

Приравнивая значения *h* из (1) и (2), получим расчетную зависимость для соблюления условия гашения гидравлического прыжка и траншее:

$$\frac{aq^2}{gq^2h_c^2} - \frac{1}{1 + \frac{8xq_c^2}{gh^3}} - 2\frac{H_n + z}{h_c} + 3 = 0.$$
(3)

Вывод дифференциального уравнения неравномерного движения жилкости при заданной кривой свободной новерхности с переменным

-18

расходом произведем аналогично методике [2]. учитывая, что гидравлический уклон зависит не только от потерь на трение, ко и от персменности расхода. При этом движение жидкости принимается медлениоизменяющимся, с гидростатическим распределением давления в сечении. Уравнение Бернулли безнапорного потока в дифференциальной форме имеет вид:

$$\frac{d}{dl}\left(z + \frac{zv^2}{2g}\right) = -J,\tag{1}$$

а гидравлический уклон при переменном расходе выражается зависимостью

$$J = \frac{Q^{2}}{\omega^{2}C^{2}R} + \frac{sQ}{g\omega^{2}}(1-a)\frac{dQ}{dl}.$$
 (5)

Преобразуя (4), получны акфференциальное уравнение неравномерного движения жидкости относительно <u>d</u>w :

$$\frac{d\alpha}{dl} = \frac{g\omega^3}{\delta Q^2} \frac{dz}{dl} + \frac{g\omega}{\pi R} + \frac{\omega}{Q} (2-a) \frac{dQ}{dl}$$
(6)

Так как зависимость (3) определяет закон изменения тлубины потока по пути, преобразуем уравнение (6), представив полный дифференциал $\frac{d\omega}{dt}$ в виде

$$\frac{dw}{dl} = \frac{\partial w}{\partial l} + \frac{\partial w}{\partial l} \frac{db}{dl}$$
(7)

Дифференциальное уравнение неравномерного движения жидкости при заданной кривой свободной поверхности и изменении глубины потока по пути примет вид:

$$\frac{db}{dl} = \left(\frac{\partial \omega}{db}\right)^{-1} \left(\frac{g\omega^2}{aQ^2} \frac{dz}{dl} + \frac{g\omega}{aC^2R} + \frac{\omega}{Q}(2-a)\frac{dQ}{dl} - \frac{\partial\omega}{dl}\right)$$
(8)

Для траншей трапецендального поперечного сечения гидравлические и геометрические параметры будут:

$$m = \operatorname{cl} a; \qquad \omega = h(b + mh); \qquad R = \frac{h(b + mh)}{b + 2h + 1 + m^{2}};$$

$$C = \frac{1}{n} \frac{h'(b + mh)'}{(b + 2h + 1 + m^{2})^{2}}$$
(9)

Учитыквя, что $\frac{\partial \omega}{\partial b} = h$, получим:

$$\frac{db}{dl} = \frac{g}{a} \frac{h^{2} (b + mh)^{2}}{Q^{2}} \frac{dz}{dl} - \frac{du}{dl} + \frac{du}{dl} + \frac{gn^{2}}{a} \frac{\left(\frac{b}{h} + h\right) \overline{1 + m^{2}}\right)^{1 + 2y}}{(b + mh)^{2}} + (2 - a)\frac{'(b + mh)}{Q} \frac{dQ}{dl} \cdot (10)$$

Для траншен прямоутального поперечного сечения m = 0 и уравнение (10) принимает вид:

$$\frac{db}{dl} = \frac{g}{a} \frac{h^2 b^2}{Q^2} \frac{dz}{dl} = h^{-1} \frac{\partial \omega}{dl} + \frac{g n^2 \left(\frac{b}{h} + 2\right)^{1+2y}}{b^{2y}} + (2-2) \frac{h}{Q} \frac{dQ}{dl}.$$
(11)

Граничные условия могут быть определены:

а) через допустимую скорость в хонце траншен, обеспечивающую минимальные размеры сечения; б) из условий установления в конечном сечении траншен критической глубниы; в) из условия принятия конечного сечения траншен одинаковым с поперечным сечением водовода, сопрягающегося с траншеен, при соблюдении топустимых скоростей.

Интегрирование лифференциального урявнения (8) или его частных случаев, учитывая закон изменения глубины потока по зависимости (3), производится на ЭВМ методом конечных разностей. Расчет по предлагаемой методике обеспечивает во всех сечениях траншейного волосброса соблюдение условия затопления гидравлического прыжка. В общем случае задачу можно решить при любом законе изменения глубины потока по пути.

ЕрПИ им К Маркса

10.1.1984

ЛИТЕРАТУРА

 Асроским И. И. н. др. Гидравлека — М.—Л.: Госэпергонадат, 1954.— 484 с.
 Токмаджян О. В. Расчет неравномерного двежения жидкости в открытых руслах с заданной свободной поверхностью — Изв. АН АрмССР. (сер. ТН), 1982. т. XXXV, № 2. с. 40—45.

<u> ዞ በ ዚ ዚ Ն Դ Ա Կ ብ Ւ Թ Յ ብ Ւ Ն</u>

«ՀՍՍՀ ԳԱ տեղեկագիբ (տեխնիկական գիտությունների սերիա)» ճանդեսի 37-բդ ճատորի

UBPBUUCPURPESHBU

z.	L.	Urmedjus, 2. 2. Uni grima, 4. b. Amenipussing Rampsuburgap (pakeblap)	
		լարվածային վիհակի վերյուծական որոշունը ոլորման դեպրում	6-11
U	Ч.	Harque thouse the source of the second state with the source of the state of the second state of the secon	
		մահի փոփոխակման դումարային դործակցի գնահատումբ	33
ł٢.	4_	Bungah, U. V. Requidations: Christinging foodab chillingooid formiligh Hifthy-	
		Steph Sobolupodownthy present annuque fluid wet an apresentation for a second s	1 0
F.	ų,	կասյան, Հ. Բ. Բաղդասարյան, Հ. Վ. Գինթսյան։ կարժան պրորհսի պարաժետ-	
		pleph swinkilly wanter new marship switwywyha ystandwyhayh	2 _ 3
Ն.	S.	hummuturt, Bor, U. Uprintyme: Salaugupsp Stor georday unfandorpieuph whe-	
		<i>վի կիննատիկական կապերը</i>	1 - 14
١.	٩.	trudinih, J. U. 2ndrhighh, W. G. Umuhi . G. Manraujuch Dugush paka-	
		հերի կողերեսևերի վրա հոդնածույին ճարևթի գարգացման կիչետիկան .	6 3
<u>0</u> .	U.	Wuldlund. 2. 2. Abderlind: "Ab Swamoguket zuperpetiete hope hopenstand	
		gladaandab deflage arganeghleph hopkamanabardhleph dagdaehdab dadabad	3 - 8
Ŀ.	Ь.	Abrium, Sui. 1. Hurquinu: Supeding Supp quantitop' negapy authoushi 264-	
		ing 4 timber 1 wuhl	5
8.,	i. L	. Umequjul, U. V. Dummmigent Lupp to unipersinglial programming defaus-	
		Նիղմների վերջավոր տեղափոխու Ձյունների նմանշրինակու թյան մասին .	4 3
d,	U.	Սեմյոնով, Գ. Գ. Քոլոգտոս, Ե. Ե. Վոլորուն։ Երկրաչափական պարաժնարերի	
		աղղեցությունը ավտոմորիլի կոնստրուկցիայի վրա	4 - 9
П,	Գ.	Ստակյան, Լ. Գ. Հայճառախայան։ Փորանցման մեկառերդմենրի լիսևոների բեռ-	
		Ludpplate aldfill gupadkaphph Skaugsandp	5-8
١.	U.	Տեռելչենկո, Հ. Ռ. Սաղաթելյան։ Գործիրի անմավասարայափ մաշման ապահո-	
		վումը խտացնող մակերեսների վերջնական եղկման դեպրում	1 - 8

съядения събизони, созненения назызганавните

۹.	UL.	. Արգումանյան։ Եզրագծով ամբակցված կլոր մայի ծոումը ուռաձգականության	
		սանմահից դարս	6 - 30
١,	lk.	forpood, 3m. U. Amonywejmu: Dadayajh wherewohyayah tikdhunkhep pagta	
		nutuh Susupadala plantingahah aparate behaviruhah haangadahah	
		Jhjengnof	1-20
Su	1.	Ա. Գասպարյան։ Իմպեդահոով թեռնավորված մեղբավոր ծայնային էլեժենտի	
		այիրային հավասարժան լուծուծը	6-37
1.	₽.	Touhuquunt: baughpin hing unif analyning nauph nimitwolkhand .	2- 8
UL.	11	, Ոիմոնյան, Մ. Մ. Մասաիսոսյան, Ի. Պ. Դմիասիեսկո։ Օդականև և գայարածև	
		pufuffuffino gudpudaynı humuhahini hadunahin waadquahininghuhuh hum-	
		կությունների նախագույակումը	5-15
٩.,	÷4,	Phingpul, R. J. Sulinurajus Illadias hahuffelande opab hangathulas-	
		նյան ճայվարկային դևաճատման վերաբերյու	5-21

П,	8	Հակորյան։ Գաղատրահաղորտային ճամակարգի հոսրարաշխման խնդրի խոերա-	
		ցիայի պրոցեսի չուզաժիտքան արադացումը	4-13
I,	-	Հունանյան։ Գաղատրանապոտաային համակորդերի նախառմումը՝ հայվի առ-	
		blind ynyddianffiad Sniauffreiffyriby	4-23

Ł.	S.	Ղուլուան.	٤.	U.	Zodfaul	ննիսյս	16. A.	Я.	Uura	þŗ	ոն։ 4,	nbqbbuwgfinb- <n< th=""><th>1. smap</th><th></th></n<>	1. smap	
		mhymling	աԽբ	bbp	Swid	wp4p	e-idula	βØJ	a Burn Ban	L	grants	վառավարման	Supply	3-13

21221	d. eferation, d.	Р.	լշպուսկը.	ц.	U. Дшя	ւուհն	ពធៀត	is: Ef	64.00.00	របួយទ	ىلىسك	u y m	-44	
	ph kinpingadink	L	Zingubud	S in L	Sugar	vola	2 411	กมปุ่น	րման	2.1.1.1	Zunden	140	dn-	
	ghimijapacag		• •											4-19

ЕТРИЗЕНЗИМЕНИИ

Ŀ.	Մ.	Գիլանյան։ Բարդ Հա	անակարգերի	տեսությամբ	(144mpma)	rehih berf	with state	
		npuznulp						4-27
۳,	U.	Կաշապետյան, Ա. ՙ	ի. Ծանյան։	Philipphy	gailing w	տարին .	whited wabe	
		Liblannulub queenned	·					2-14
ŧ,	Ч.	Inhulmpijnն: Անցող	ihy wragbud	bob ownfulk	ungnaly h	hynrymfy	phund in-	
		umuph nullquignight	bound .					5 - 29
١, .	U.	ծոն-իջաշյան, է Ս. ։	Ւառվանյան։	Hupbly not d	երհնաների	4 <u>แลกเ</u> ฐปูเอ	ծթային մո-	
		ղելավորումը՝ ճաղնդյ	lasti ni secon	udburgap dhy	ne4bbph des	իսադար ծ	why wry wp dh	
		Samiandade .						3-16

либанцаны выбыла

Ρ.	1,	Ակոպով, Ա. Վ. Մաշկաշյան, Լ. Մ. Չախոյան։ Հաստատուն հիրող սարբերի վրա	
		hunnigilius haghlip whimperiale	a-44
Ð.,	11	Ավետիսյան, Տու. Ա. Կուտոյանց։ հախարգույական օպասարկեան խեղիրնե-	
		բում կետույին պրոցնոների որոչ մադելների քատին	1 25
U	И.	Դաբբինյան։ Ընդնանրացված սիզնատուրան և հրա ձևավորժան հղանակները	4-33
801	. 0	ք. Գասպարլան։ Համակցված արտմարտնական սիսեմածների հուտալիությունը 🦷 🦲	2-25
11,	ll,	Ջուքառյան։ Բազմայափ թաղմափուլային համակարդերի երևմակարդակային	
		ayunhdhaugdub dhPra	2-20
ч.	ч.	Bulautyma, b. b. Bulautyma: Pupe applymback qquipetenting ab according -	
		րության փորձնավիստկագրական մեթող	5-40

ՉԱՓՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆՈԿԱ

4. R.	Վաղաբյակյան.	1. 1. 90	ստի	ն։ Անլոն	n Sau to	947	ed a q ai f	յան	Smil	шфину	ghrþ -	作力	ши,	
	apaby Suday	Inidelp	ξ 4	eponenen;	d wh	fub	aher'	hich	m d l	740 1211	SELpp	- q1	b 140 -	
	<i>``ատմամբ</i>								-				٠	3 - 46

цьязеахизнь зыкльчи

Н.,	Б.	umungungung Vi, V. Lepungun: Uhppung-Usiche mang Social shakes in	
		րառումը Համասեռ կարդավորված կառուցվածըների ախտորոշման դեպպրում	2-31
П.	2.	Շաբոլան։ Ուժամին ինտեղում բանալի	5-49
R.	2.	Amequilymb. U. 2. Composite Reduction approximately and a standard and a second	
		block bolomunifieds commaph projulate wanddowiantharfinitetops .	

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԿԵՐԵՌՆԵՏԻԿԱ

Q,	Ն.	Գասպարլան։	Az yought r.	லழ்ப்படியாடி வேச	whinted	ինքնատատո	որազո	6pp	- 10 -	
		muyonandr	plan Ruggag	den fo why of wh	Saiblyhait	Jugana				2-24

<u>ህፅበዞምዚዓዞያብኦምያብኦኒ</u>

u.	\mathbf{t}_{i}	Ակագյան, Գ.	U.,	Իոսիֆ	յան,	ч. I	Ч. Ра	ովվաստ	աշյան	ф и	փոխտ	կան	մազն	իսակ	wb		
		ղաշտի ազդեց	n. P,	nib _C	-6588	ւտիկ	հուղ	աստեն	6 _m p d	(b fu w	նիկակ	don	Surm 4	חנקות	<u>к</u> Ъ -		
		Shah Jaw											-	۰		2	-

гененальни, генензывани,

2	IJ.,	Parnajuli: Fupty ghughpuhash stantpagtingh styrig sudwight pudwis-
		dah Shawaynanidy hikayahayanya dhybbayani
4	2	Բոքվաբյան, Ռ. Գ. Մաստի-ոսյան։ Դիմադրության դործակցի աղղեցությունը
		ֆորտվլիկական մողելավորման մասլտարի վրա
Ļ	-	harzwarjad, 9. S. harzwannerjad, U. U. hawfijna Baydarzbon ddadyng dh-
		լավայրում ստորդետելա ջրերի դինամիկայի նախագուշակում 1-31
U.	В.	Ququeryma: Hamphphpym zabph zwydnidy gbigh wbiwidwaba ingwybpinaid
		why wy pylow $princep'$ block by a standard by the physical $prime = -1^{2}$
4	Π.	Umrauma, I. J. Thurson 2ph duppedud bulangargadidas defendable agence-
		цин \$рушрий
Ç.	ų.	Սարզայան. Ա. Ժ. Չիաչյան։ Ջրի մարրման փորձարարական չնտազոտություն
		aqaquulaun \$pimph Jaghih daw

ጉኮՏԱԿԱՆ Նበሥኮቦ

ą.	1. Upraulad, 4. F. Tripportale, 9. 4. Paylemb, 4. R. Udrajude Stephaspik 502-	
	անրի Տետազատումը տարարվող կաղապարհերում բետոհային կոհստրուկցիա-	
	ների տարացման ժամանակ	4-44
\mathbb{R}_{n}	U. Udugius: Espensiond who who have a property of the second of the seco	
	ժիմի լուծման ժիտկության մասին	3-16
11	2. Bugeuntich, 2. 6. Papelijah, 4. 1. Bughilaland: Lugapaulgaiff milikap	
	Ashwyph: 450mpabh 220-h She Shawqowjha ywyp garquygng Shwabuyu-	
	bagdah Sudaanp	2-45
8.	U. Sharqual, B. H. Vandishabiah, H. U. Sjaqueljuli: Libhurpulant Saundaphap	
	անկոհասիտ լափմակ մի դեպրի մասիհ	4-47
U.	· haujau, 2. 4. Aprenticulyate . Auth-appedpt - Sudalapap Spedhowyahad	
	Shugnedlikeph Chaugement p	1-50
9.	8. Parnujuli: Ili danbhhh jupdint Shanganade gumpih Shanhubasht	
	www.pushauffjende alleg	3 - 39
ł.	P. Lupula: graidday whaqhboad lichharpachap upaghup Shawaqamado uqabab dea-	
	the analogne Solar	3-42
П.,	b. Innaplaya, U. H. Unjudijude Apjahabbeh Subminish upmupht ajugabbaph	
	ազդեցության տակ համակարգի բնութագրերի փոփոխման դեպրում .	4 40
Ũ.,	11. Infutfuljule OUAD whap zapohilikeh' Snoulop wappurphy abdieb Sharwije-	
	pmpjnikabph Binangeamide	2 19
8.	Burgunst: Candifiep oquangapedant upgaribadeanifinder quaitanny inchabiter	1-11
L.	U. Surmymb M. Paldusing: boudninguiph gowfinght Shapudiphadand Sug-	
	Junki danupany	6-43
11,	S. Vagajul. U. U. Hargubs Rugdingtophusph almidunahusph gopohpad huba-	
	նավորող յուղային ակոսների գծանչումը պառւտակային մակերնույիների վրա	1 15

53

. .

содержание

XXXVII тома журнала «Известия АН АрмССР (серня технических наук)»

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Γ.	j]	Артемян, Г. О. Саргоян, К. И. Караханян Амелитическое определение	
		напряженного состояния ступенчатых залов при кручения	5-11
A.	K	Геворкян. Оценка суммарного коэффициента варнации огравниченного	
		пределя выпосливости зубьев зубчатого колеся по изгибу	3-3
H	T.	Катанаев, Ю. 4 Самонян Кикематические связи катящегося автомо-	
		бяльного колеса с дорогой	1-14
31	В.	Касьян. 4 М. Арадманан. Эффективность облучения корундовых плостин	
		монохорматоческим светом в процессе прерываетого резания	1-3
М.	В.	Касьян, Г. Б. Багдасарян, А. В. Гиносян. Онтимизация параметров спо-	
		нессов везалия по объемной зефовмания стружки	2_2
C	11	Короник В. 4. Заибликий М. Г. Стокон Г. Л. Патриски Канотика вал-	
L .		BUTTER STRATEGIES TRADUCER IN TO STRATA, T. J. HETPOLAR, CARCINES PES-	6 2
5		матая усталостных прещик в щеках колентных валов	0-0
2	14	палоелян, н. э. демараяя методика оценки жесткости привода при рас-	2 1)
2		чете механических автоколеоании направляющих станхов с ЧПУ,	3 - 3
J.	ti.	пенсах, ю. л. саркисяя. О точках двяжущенся плоской фитуры, канме-	-
		нее отклоняющихся от прямой	5-3
Ю	11	Саркисян, А. Г. Харатян. Об аналогии констилх перемещений плоских	
		и пространственных многоколтурных чеханизмов	-1 3
В.	М.	Семенов, Г. Г. Колозяя, Е. Ф. Волобуев. Влаяние теометриче ких пара-	
		метров на конструкцию догомобиля	4-7
\mathcal{M}	T.	Стакян, Л. Г. Осинссян. Исследование параметров режима нагружения	
		валов передаточных механизмов	3— 8
Л.	м	Терсиценко, Г. Р. Согателян. Обеспечение равномерности срабатывания	
		заструмента при доводочном шлифования увлотиятельных плоскостей.	I- 3
		CTRAUTE TELLA REVIEWS - ATOMISTING - MARCHAR - MARCTAN	
		строительная механика, строительные конструкции	
4	4		
ρ.	1	мраджанан Оо изгное круглов, защемленной по контуру пластияна за	0 90
		npegeaon yapyrocru	0-30
ъя.	4	порисов, п.г. н. гаспаряя. Определение частотных характеристик импе-	
		динса объеминах акустических элементов методом геометрических по-	
10		строезий с с с с с с с с с с с с с с с с	1-20
10	. A	Гаспаряя. Решение волнового урявнения для щелевидного акустического	
		элемента, натруженного импедансом	6-35
В.	В.	Пинаджян, Л. В. Дандурова. К расчетной оценка несущей способности	
		сжатых железобеточных колона	5-21
d.	М.	Симонян, М. М. Мартиросян, Н. П. Дмитриенко Проткозирожанке упруго-	
		реологическах свойств композита синральной и кольцевой намоток с инз-	
		комодульным связующим	5-15
I.	Б.	Шахазизян. Выпучивание круглой трехсленной плиты и условиях поя	
		37400711	2 8

ЭНЕРГЕТИКА

C	Γ.	Аконан, Ускорение сходимости итерационного процесса задачи потоко-	
		распределения разотовиспортной системы	4 - 13
Л.	T	Кулоян, Я. С. Оганесян, В. З. Марухан. Алгоритмизацая расчетов ковде	
		сациолно-охладительных уставовок и вопросы их управления .	3-12.

Л.	А.	. Унанян. Проектирование газотранскортных систем с учетом надежности	
		функционпрования 4-	23
Ю,	H	I Щербина. В. Д. Лепорский, А. А. Арузюнян. Имптационное моделирова-	
		ние здвитивного управления в проектирования и эксплуатации электри:	
		ских систем	-19

электротехника

Э.	м	Лиланян Определение съдоного инкла электромобиля по теории слож-
		ных систем
M.	A	Карапетли, А. Г. Шагян Диулектрическая сфера во внешнем неоднород-
		ном электрическом поле
AI.	E	Тохмалян, Онтимизация перез дных процессов в усилятелия тока с ни-
		дуктивной нагрузкой
Э.	С.	Фридживаниян, Л. С. Парванян. Структурное молелирование асцимров-
		ных машин с учетом насышения и взаямного перемещения зубчитых
		сердечинал

вычислительная техника

С. С. Аналиян, Ю. А. Куголиц. О некоторых моделях точечных процессов в за-	
дачах профильктического обслуживания	1-25
Р. Н. Аконов, А. В. Маркарин, Л. М. Чахоян. Диагностика колека на постоян-	
оых клюминающихся устройствях	5-45
Ю. М. Гаспарян. Надежность комбинационных догических схем	2-25
А А Дарбаняя Обобщенная спгнатура и способы ее формирования	4-33
С. С. Захарьян. Метод двухуровневой оптемвлании многомерных многостванй-	
NEX CHCTOM .	2-20
К П. Манукян, Э. П. Манукян. Экспервиентально-статистический метод иссле-	
довання чувствительности сложных объектов	5-40

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

B	4	Вагарша	кян,	Л.	Н.,	Густик.	06	0,316	336	классе	нен	ерь	авных –	cite	тея,	для	
		зоторых	разр	сшe	ia.	32,1398	знаг	2038	10	расвоз	32 3 2 3	110	образо	B	843 03	ных	
		сигналов						-							-		3-22

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

Α.	M	Kapaners	ян, Мк	- M.	Джрби	uusn.	Приме	нение	функц	яй	THE	-M	KT T	85-	
		Лиффлер:	a npu	лиаги	остнке	0.1.10	ланьоф	pery.	лярных	сис	teM .		-		231
C	А.	Шавоян	Chaob	ой на	пеграл	ыный	КЛЮЧ .		•	-		-			6-43

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

0	$H_{\rm c}$	Гаспирян	Исслеэ	ювание	автоколебан	uñ n	нелниейни	ах много	X Let (CER B	-K3	
		cremax Me	10,00	характе	ристическия	nepel	La 104II MA	функций			5-34

материаловедение

А.	H_{γ}	Auna	н. Г	1, A	1	Госифян.	B	C	Багдасарян	Ваняние	перемениого	51.0	1.101.	Т-		
			16.55	11	11	механия	5 h	ne.	caolictos 😁	RIT ICCKR	х алмалов	a			6	-26

ГИЛРАВЛИКА, ГИЛРОТЕХНИКА

С. М. Калорян Динжение подземных выд « склажние в веоднородно-слонстом плисте при отъдчке из нижнего водоносного горизонта . . . 6-14

B	С.	Саркисян,	A	Ж.	Читчян.	Методы	прог	ноза с	очноть	ar Be	оды в	на	MLEB	анх	
		фильтрах	(pa	диял	ьная за	дача) .								-	2-49.
<u>n</u>	C	Саркисян,	1.	×.	Читчян	Экспер	имент	альное	wee.	сдон	astre	110	очис	TKE	
		воды на ми	0,1e.	ли к	амывног	о фяльтр	a.						4		329
В	0	Тогмаджян	(, P	. 1	Мартир	осян. Вл	пание	коэфф	рицкез	нта о	to upor	нал	CELH H	Ha	
		масштаб г	ндр	13 H.S.	пеского	моделац	юзани	я,							J38
Ц	C	Торосян.	He	след	ование	риалеляе	мости	яысон	(oglici	юран	ых г	етер	oreti	Nat	
		жиденх си	cre.	ма	центриф	yre .									1-30
Э.	.4	Хачитрян,	r	T X	ачагуря	H, C A.	Ананя	ик. При	огноз	дина	эмняя	110,	13e Ma	ZER	
		001 0 1007	-0.01	10ÂU	Sũ durn	the all the second	ob en	0.00							1-31

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

B	<i>C</i> _	Абранов, В. И. Григорян, Г. В. Бадеян, П. А. Амроян. Исследование тех-	
		нературного поля при обогреже бетонных конструкций в греющих опа-	
		лубках	4-6
M	A	Авакян. О единственности решения задачи режима заземления нейтра-	
		лен трансформаторов энергосистемы	3-3
A.	Γ.	Баграмян, А. Е. Долбакян, В. А. Калиманов Унифицированное устрой-	
		ство сопряжения телеграфных каналов с ЭВМ центра коммутации	
		сообщений	2-10
Δ	Α.	Геворкян, Б. М. Мамиконян, М. А. Гедакян. Об одном случае бескон-	
		тактного измерсиия электрических тохон	1-1-
П.	A	Джаракян, О. В. Токмаджан, К гидравляческому расчету траншейного	
		подосброса	1
С.	Ж	Есоян, Г. К. Абрамян. Исследование интерметаллических соединений	
		системы «золото-алюминий».	150
A.	И	Корниенко, А. К. Асланян. Распознавание объектов при изменении	
		характеристик систомы под воздействием влешних условий	440
7	Л.	Кулоян. Оценочные критерии эффективности топлияонскользования	1-41
ĸ	Б	Лалаева. Исследование процесса электролиза с нерастворимыми анода-	
		ми для получения медных порошков	3
Δ	\boldsymbol{C}	Оникимяя Исследование возможностей интания двисателей типа ДПМС	
		от источников тока	2-1"
A1	Τ.	Согоян, А. А. Геооркин Панесевие регулярных маслинных кананок мно-	
		гошариковым дисковым инструментом на винтовых профилях .	1
Д	С.	Торосия Песледование движения отделяемой частицы в межтарелочном	
		REOCTORICTSE CORDENTODA	3-39

₿**በՎԱՆԳԱԿՈՒ⊭Ց**ብቅՆ

8505548555050505055

Ш,	٩,	urmijail, d. U. 25drfighb, U. S. Umalial, S. S. Staraujair Bidmild ibetalden	
		haghplubled dem Englandmight Employe and the hadden have	2
2.	1.	Urmbiljul, 2. 2. Umrappel, 4. 6. Surmpustignt: Unophickodap (palaktep) pop-	
		dusmijih dikauhi dapara-huk aranganduk yangarid	11
		21.90141144	
U,	U	. Luquiryuk: Umphhipipi yekek zupanidy	
		gaugedand splanp hipph insudmith signafy splandade gauged	17
		5.8.0.5 m H 5.5.0.5 m 8.0.5.5	
		usure wronee sites	
u.	٦.	. Ավազյուն, Գ. Ա. Իոսիֆյան, Վ. Ս. Բաղղառաջյան։ Քոդեսիուկան մազնիսական	
		any whe weaton Harty at Black and an able of the abla to the Santa Paris-	
		blaph ypu	26
		онлигатичих вышлычи, сылатигичих чализганчынилыг	
ч.	u	. Urgardunging: Bermaged mehenfigens find anis anis municulandingung	
		uusiumpy garpu	30
20		(k. Vonugarjun: Pantonog poobneg poobnegaring sogendar sogenije (jedskup mit-	15
		bailin mafantanan farusiati · · · · · · · · · ·	13
		ECONSTRUCTION SOMERAD	
U.	u	. Taupajadi: Acduijid filmdayong padauji	43
		ԳԵՏԱԿԱՆ ՆՈԹԵՐ	
l.	Ш.	Burnlynt, 2. 4. Paldagate beideignijht venificie Segendijhtutab Sujdar-	
		4р	48

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

машиностроение

С П. Краочук, В. А. Зимбицкий, М. Г. Стакян, Г. Д. Петросян. Кинстики раз- антия усталостных трешин в шеках коленчатых валов	3
гндравлика	
С. М. Казарян. Движение подземных вод к скважние и неоднородно-слонстом власте при откачке из нижнего изпорного водоносного горизонта 1	7
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	
А. Н. Авакян, Г. А. Носифян, В. С. Багдасарян. Влияние переменного магнитно- го поля из механические свойства синтетических алмазов	6
СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА. СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ	
 В. А. Ароуманял. Об изгабе круглой, одщемленной по контуру пластники за пределом упругости. Ю. А. Гаспарян Решенке волнового уравнения для щелевилного акустического элемента, нагружениесь имперансом. 	0
электронная техника	
С. Л. Шабоян. Силовой интегральный ключ	3
НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ	
Л. А Джаракян, О. В Токмаджян К гидравлическому расчету траншейного водосброса. 4.	8
and the second design of the s	

