

Журнал издается с 5.01.1948 г.

Выходит 6 раз в год

Կ Մ Ր Ա Չ Ր Ա Վ Ն Ն Չ Ո Ղ Ե Չ Ի Վ

Ռ. Մ. Գաղափրյան (պատասխանատու խմբագիր), Վ. Վ. Արևելակը,
Ռ. Վ. Արայան, Ռ. Ա. Ղազարյան, Ս. Մ. Ղազարյան, Մ. Վ. Կասյան,
Ա. Ն. Ստեփանյան, Յու. Լ. Սարգսյան, Մ. Գ. Ստեփանյան (գրատ. խմբ. տեղ.),
Ջ. Կ. Ստեփանյան (պատասխանատու քարտուղար), Վ. Խ. Խաչատրյան:

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р. М. Мартirosян (ответственный редактор), В. В. Алексеевский,
Р. В. Атоян, Р. А. Казарян, С. М. Казарян, М. В. Касьян,
А. О. Севкян, Ю. Л. Саркисян, М. Г. Стакин (зам ответ редактора),
З. К. Степанян (ответственный секретарь), В. С. Хачатрян

УДК 621.791:624.014.25

Т. Т. АРАКЕЛЯН

О ПОВЫШЕНИИ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Рассматривается сварное соединение как соединение составного тела с различными значениями упругих постоянных. Прямыми экспериментами доказана объективная реальность явления малонапряженности и нагруженных сварных соединениях черных металлов. Это явление оказывается в ранге основных факторов, определяющих конструктивную прочность сварных соединений. Его реализация ведет к оптимизации геометрии соединения, значительно повышающей его прочность без дополнительных затрат.

Ил. 4. Библиогр.: 8 назв.

Ուսկցումային միացումը դիտարկվում է որպես տարրեր մեծությամբ առանձնահատկապես հաստատուններով միացում. Մե մետաղների բեռնավորված եռակցումային միացումներում ուղղակի ֆարևարկումներով ապացուցվում է քերարվածության երևույթի որյնկտիվ իրական լինելը: Այս երևույթը հանդիս է զարկո որպես եռակցումային միացումների կառուցվածքային ամրության որոշիչ հիմնական կարգի գործոն, որի ներդրումը հանգեցնում է միացման երկրաշփոխման օպտիմալացման և անց լրացուցիչ ծախսերի՝ նրա ամրության զգալի բարձրացման:

При сварке плавлением в околошовной зоне происходят наиболее резкие изменения структуры и механических свойств основного металла. Именно в окрестности края контактной поверхности имеет место существенное различие между значениями упругих постоянных металлов шва и основного металла.

На основе использования результатов теоретических исследований [1—3] удалось осуществить прямые эксперименты, доказывающие реальность явления малонапряженности, которое оказывается в ранге основных факторов, определяющих конструктивную прочность сварного соединения.

Исходя из асимптотического анализа решения уравнений теории упругости вблизи свободного от внешней нагрузки края сварного стыка, определение характера распределения напряжений сводится к установлению предельного состояния между параметрами μ , m_1 , m_2 , и углами α , β . Уравнение границ указанных экстремальных значений напряжений имеет следующий вид [1, 2]:

$$\begin{aligned} & \mu m_1 m_2 \{ (\alpha + \beta) \cos(\alpha - \beta) - \sin(\alpha + \beta) \} \sin(\alpha + \beta) + \\ & + \mu m_2 \{ \mu m_2 - m_1 - (\mu - 1) \sin^2 \beta \} (\alpha \cos \alpha - \sin \alpha) \sin \alpha - \\ & - m_1 \{ \mu m_2 - m_1 - (\mu - 1) \sin^2 \alpha \} (\beta \cos \beta - \sin \beta) \sin \beta = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

где α , β — углы между касательными плоскостями внешней поверхности образца и поверхности контакта в рассматриваемой точке O (рис. 1);

$$\nu = \frac{E_1(1+\nu_2)}{E_2(1+\nu_1)}; \quad m_1 = \frac{1}{1+\nu_1}; \quad m_2 = \frac{1}{1+\nu_2};$$

E_1, ν_1, E_2, ν_2 — модули упругости и коэффициенты Пуассона металла шва и основного металла.

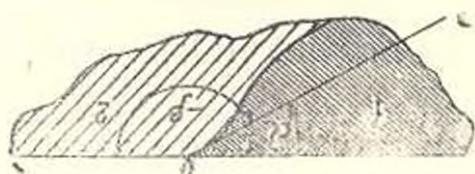


Рис. 1.

Случай гладкости внешней поверхности сварного образца вблизи края контакта выражается прямой

$$\beta = \pi - \alpha. \quad (2)$$

Пресечением кривой (1) с прямой (2) на координатных осях α, β определяются границы областей конечных напряжений в точках края поверхности контакта. Координаты точек пересечения кривой (1) с прямой (2) определяются корнями следующих уравнений [3, 4] (рис. 2):

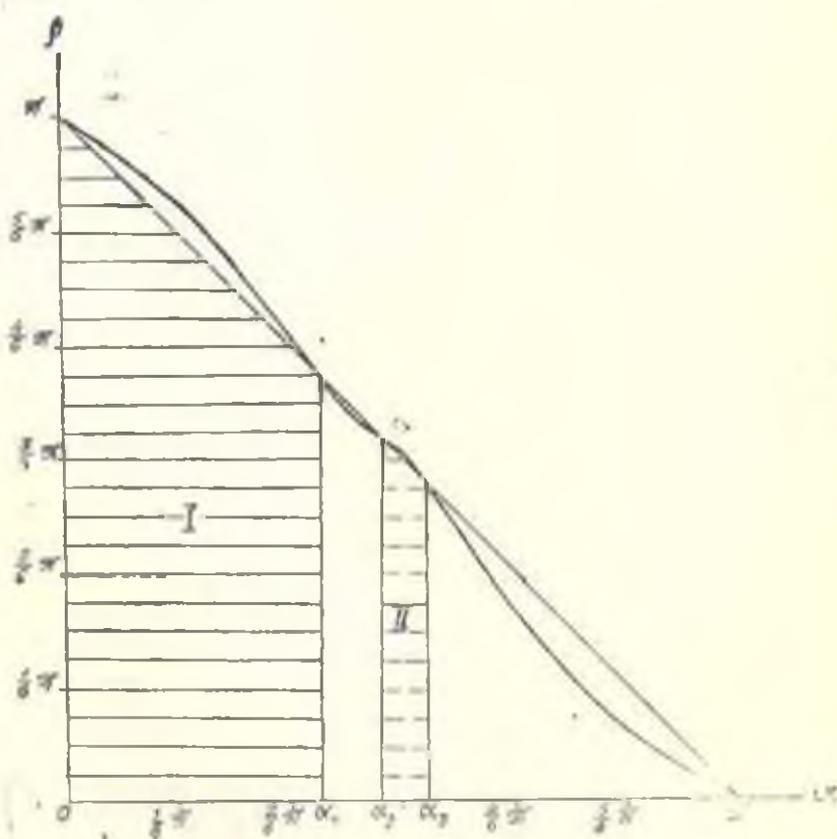


Рис. 2.

$$\sin \alpha = 0 \quad (\text{корни } 0 \text{ и } \pi),$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \pm \sqrt{\frac{E_1 - E_2}{E_1 \nu_2 - E_2 \nu_1}} \quad (\text{корни } \alpha_1 \text{ и } \alpha_2 = \pi - \alpha_1), \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{\pi E_0}{E_1 - E_2} \quad (\text{корень } \alpha_3) \quad (4)$$

В рассматриваемом случае для сварных соединений имеет место $\frac{E_1}{E_2} > 1$ и $\frac{E_1}{E_2} \nu_1 - \nu_2$. Минимальный положительный корень α_2 уравнения (4) (границы и интервале $0 < \alpha_2 < \frac{\pi}{2}$) определяется из графика рис. 3, построенного по данным ЭВМ для значений $\frac{E_1}{E_2} = 1,05 - 2$.

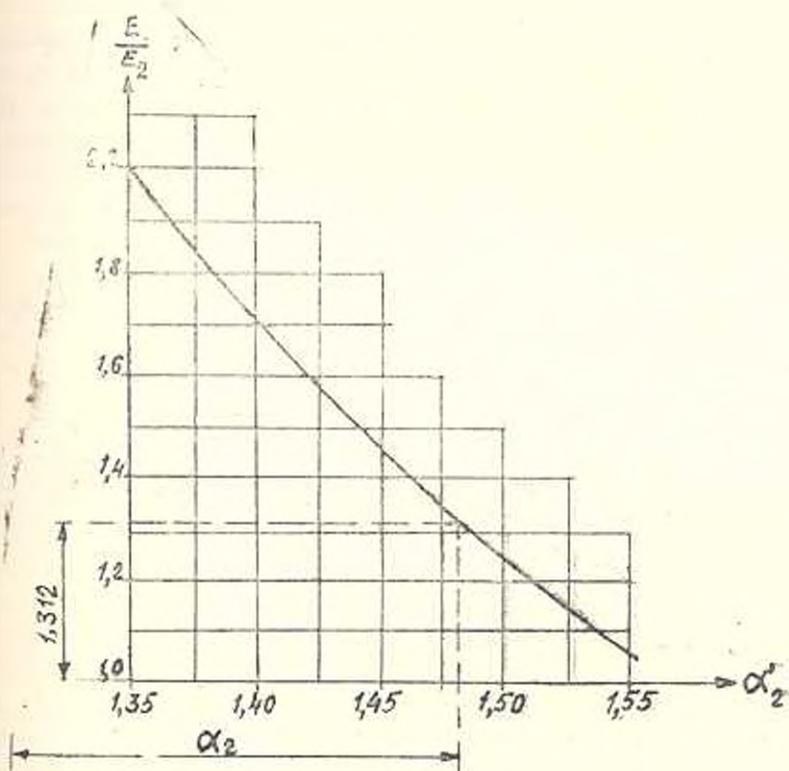


Рис. 3.

Как известно [3, 4], характерным для значений углов α является наличие двух областей (рис. 2)

$$\alpha < \alpha \leq \alpha_1 \quad \text{и} \quad \alpha_2 \leq \alpha \leq \alpha_3, \quad \text{при} \quad \mu > \frac{1 - \nu_1}{1 - \nu_2}, \quad \mu > \frac{\nu_1}{\nu_2} \quad (5)$$

Если угол α удовлетворяет одному из этих условий, то красная линия контакта не является концентратором напряжений. При других

значениях угла α краевая линия является конструктивным трещино-подобным концентратором напряжений. Как показали эксперименты, наиболее четко реализуется первое неравенство малонапряженности выражений (5). Эта область малонапряженности является более широкой (рис. 2) и, следовательно, ее соблюдение технологично.

Исходя из (3) и (5), расчетным условием малонапряженности сварного соединения будет

$$0 < \alpha < \alpha_0, \quad \alpha_0 = \arctg \sqrt{\frac{E_1 - E_2}{E_3 - E_4}}, \quad \alpha > \frac{1 - \nu_1}{1 - \nu_2}, \quad \alpha > \frac{\nu_1}{\nu_2}. \quad (6)$$

Для изготовления сварных образцов применялись заготовки из стали 45 (ГОСТ 1050-74) квадратного сечения 12×12 мм² (ГОСТ 2547-75) и проплавилась непрерывная многослойная ручная электродуговая сварка с последующим медленным охлаждением в воздухе. В таких образцах в продольном направлении не возникают сварочные напряжения [5].

При всех видах сварки плавлением к металлу шва примыкает участок перегрева основного металла, где образуется мягкая прослойка с резким уменьшением прочности основного металла [6—8]. Это и является главной причиной возникновения сингулярности напряжений у края контактной поверхности сварного соединения.

Для экспериментального доказательства возникновения малонапряженности были произведены испытания на поперечный изгиб призматических образцов с слабым концентратором. Размеры образцов и схема нагружения показаны на рис. 4. Дефектация образцов производилась после их испытания.

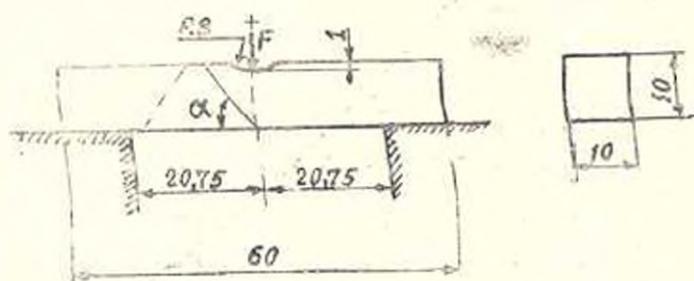


Рис. 4.

Материалом шарового индентора является сталь ШХ15 с следующими механическими характеристиками: модуль упругости $E_{ш} = 2,11 \cdot 10^5$ МПа; коэффициент Пуассона $\nu_{ш} = 0,315$; радиус шарика $R = 0,794$ мм; максимальная нагрузка вдавливания $F_{\max} = 404,5$ Н; нагрузка разгрузки $F = 305,5$ н

Для материала шва вдавливанием получены следующие средние данные: глубина невосстановленного отпечатка $t_1 = 0,0519$ мм, сближение металла шва и индентора $\delta_1 = 0,0172$ мм, коэффициент пропорциональности между временным сопротивлением и числом твердости НВ по ГОСТ 22761-87 $K_1 = 0,347$. Для основного металла

вблизи поверхности контакта получены соответствующие данные: $t_1 = 0,0575$ м.к., $\delta_1 = 0,0188$ м.к., $K_1 = 0,348$.

Исходя из приведенных данных и указанной методики, получим остальные механические характеристики материалов соединения:

$$\sigma_1 = \frac{3F(1 - \nu_1^2)}{4E_1 \sqrt{R\delta_1}} = 0,0085 \text{ м.к.}; \quad \nu_1 = 0,5 - \frac{(1 + \pi)K_1\delta_1 F_{\max}}{3t_1 F} = 0,29;$$

$$\sigma_2 = \frac{3F(1 - \nu_2^2)}{4E_2 \sqrt{R\delta_2}} = 0,008 \text{ м.к.}; \quad \nu_2 = 0,5 - \frac{(1 + \pi)K_2\delta_2 F_{\max}}{3t_2 F} = 0,25;$$

$$E_1 = \frac{3F_1(1 - \nu_1^2)}{4(\delta_1 - \omega_{1,н}) \sqrt{R\delta_1}} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа},$$

$$E_2 = \frac{3F(1 - \nu_2^2)}{4(\delta_2 - \omega_{2,н}) \sqrt{R\delta_2}} = 1,6 \cdot 10^5 \text{ МПа},$$

где ω_1, ω_2 — вертикальные перемещения точки касания индентора с металлом шва. По полученным значениям ν_1, E_1, ν_2, E_2 и из соотношения (3) и графика на рис. 3 определены следующие предельные значения углов, как границы малонапряженности для исследуемого соединения: $\alpha_1 = 70^\circ 45'$, $\alpha_2 = 85^\circ 3'$, $\alpha_3 = 180 - \alpha_1 = 109^\circ 15'$.

Более широкая область малонапряженности I (рис. 2)

$$0 < \alpha < 70^\circ 45', \quad (7)$$

имеет важное практическое значение для окончательного выбора рациональной геометрии сварного шва без концентраторов напряжений для стали 45 и электрода АНО4. Более узкая область II малонапряженности $85^\circ 3' < \alpha < 109^\circ 15'$ четко экспериментально не обнаруживается.

Все бездефектные образцы, для которых лицевые углы α (рис. 1, 4) находятся внутри I области малонапряженности (рис. 2), т.е. $\alpha < 70^\circ 45'$, под действием нарастающей нагрузки сильно изгибались в пластической области без разрушения, излома, расслоений, надрывов и трещин. При этом фиксировались стабилизированные максимальные нагрузки, среднее значение которых получилось $F_{\max} = 20251$ Н.

Все те образцы, для которых $\alpha > 70^\circ 45'$, разрушались хрупко по границам поликристаллического строения, вблизи края поверхности контакта. При этом разрушающие нагрузки достигли среднего значения $F_{\max} = 16051$ Н.

Из полученных данных следует, что относительное повышение несущей способности малонапряженных сварных образцов составляет 26,1%, а максимальные нормальные напряжения изгиба могут отличаться больше. Различные значения упругих постоянных более удаленных участков основного металла от края контакта не влияет на условия, вызывающие малонапряженность.

Таким образом, прямыми экспериментами установлена реальность явления малонапряженности в нагруженных сварных соедине-

ниях черных металлов. Соблюдение условий малонапряженности не нарушает обычную технологию сварки плавлением и ведет к заметному повышению прочности нагруженных соединений без каких-либо дополнительных затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чобанян К. С. Открытие № 102 — Бюллетень открытия, изобретения. — 1971. — № 36. — Ежегодник ВСЭ, 1972. — С. 605.
2. Аракелян Т. Т., Чобанян К. С. Зависимость усталостной выносливости изгибаемых разнометаллических деталей от геометрии соединения // Каучук и резина. — 1979. — № 10. — С. 38—41.
3. Аксентян К. М., Луцкий О. П. Об условиях ограниченности напряжений у ребра составного кляна // Механика твердого тела. — 1978. — С. 102—108.
4. Гумеров К. М. и др. К вопросу оптимизации конструктивного оформления упруго неоднородных соединений // Сварочное производство. — 1983. — № 1. — С. 5—6.
5. Серенсен С. В. и др. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. — М.: Машиностроение, 1975. — 486 с.
6. Николаев Г. А. и др. Сварные конструкции, прочность сварных соединений и деформация конструкции. — М.: Машиностроение, 1982. — 272 с.
7. Гробин В. Ф. Металловедение сварки плавлением. — М.: Металлургия, 1982. — 415 с.
8. Шоршоров М. Х. и др. Испытание металлов на свариваемость — М.: Металлургия, 1972. — 240 с.

Ин-т механики
АН Армении

15. XII 1990

Изв. АН Армении (сер. ТН), т. XLV, № 1—2, 1992, с. 8—14

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.91.02

Г. Г. ХАЧАТРЯН, А. М. АРЗУМАНЯН

КОНТАКТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ТОНКОЙ ОБРАБОТКЕ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ ИНСТРУМЕНТАМИ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКОГО КОРУНДА

Приведены результаты исследования контактных явлений при тонкой обработке цветных сплавов режущими инструментами, оснащенными пластинами из синтетического корунда. Установлены зависимости показателей качества обработанной поверхности от режимов обработки и проанализирован механизм износа режущей пластины.

Показано, что контактные процессы, протекающие на рабочих поверхностях режущей пластины, схожи с контактными явлениями, происходящими на поверхностях при обработке другими инструментальными материалами, несмотря на специфические особенности корунда.

Библиогр. — 5 назв.

Բերված են սինթետիկ կորունդից ֆիթիներով օժտված կտրող զործրեներով գունավոր համաձարվածքների նորը մշակման ժամանակ կոնտակտային երևույթների հետազոտությունների արդյունքները:

Հիմնագործած է մշակված մակերևույթի սրակի և կտրման ուժի մեծերի կապը փրկումով և կտրող թիթեղիկի մաշման մեխանիզմը Յույց է տրված, որ թիթեղիկի աշխատանքային մակերևույթների վրա ընթացող կոնտակտային պրոցեսները, շնայած սինթետիկ կորուզիկ յուրահատկությունը, նման են այլ պրոմիցանյութերով մշակման ժամանակ առաջացած կոնտակտային պրոցեսներին:

Процесс стружкообразования и контактные явления при тонкой обработке цветных сплавов инструментами из синтетического корунда изучался при рекомендуемых оптимальных условиях, режимах резания и оптимальной геометрии режущих пластин [1—3].

Исследования показали, что при тонком точении и фрезеровании бронзы марок БрАЖ 9-4, БрО 10-1 и латуни марки ЛС59-1 образуется сливная стружка. Величина угла сдвига стружкообразования меняется от 25° до 43° при увеличении скорости от 90 м/мин до 300 м/мин . Процесс микрорезания происходит в результате внедрения режущей кромки в граничный слой обрабатываемого материала. В результате силового воздействия реза с обрабатываемым материалом происходит скалывание элемента снимаемого слоя. Скольжение стружки по передней поверхности происходит в условиях граничного трения с незначительной пластической деформацией контактного слоя стружки. Зона контакта стружки с передней поверхностью режущего кристалла делится на два участка: прилегающий к режущей кромке участок пластического контакта, на котором наблюдаются схватывание и застойные явления, и участок упругого контакта, где имеет место внешнее скольжение по передней поверхности.

Процесс стружкообразования при тонкой обработке медных сплавов имеет свою специфику. Фактически, микрорезание осуществляется режущей кромкой, радиус которой соизмерим с толщиной среза. Режущая кромка ($\rho = 0,6 - 7,0 \text{ мкм}$) создает фаску на передней поверхности с отрицательными углами. Такая фаска является причиной образования и течения струйки металла, так называемой «микростружки», у свободных боковых поверхностей среза, примерно перпендикулярно основной стружке вдоль главной и вспомогательной режущих кромок.

При тонком точении и фрезеровании дюралюминия марок Д1 и Д16 образуются сливная стружка, а на передней поверхности режущих кристаллов — стабильный нарост. Наростообразование наблюдается при скоростях резания до 200 м/мин . При увеличении скорости резания от 200 м/мин до 700 м/мин температура резания увеличивается от 70°C до 420°C , а размеры стабильного нароста уменьшаются при дальнейшем увеличении скорости до 1000 м/мин . Наростообразование наблюдается также при применении СОЖ, которое сдвигает зону наростообразования в сторону меньших скоростей резания, т. е. до скорости 120 м/мин [2, 4]. Такая же картина наростообразования наблюдается при тонком точении алюминиевых сплавов марок АЛ-2, АЛ-4 и АЛ-9, хотя при обработке этих материалов образуется стружка скалывания. Интенсивное схватывание передней поверхности режущих кристаллов со стружкой и стабильное наросто-

образование на передней поверхности инструмента объясняется химическим средством синтетического корунда и алюминиевых сплавов.

От механизма контактного взаимодействия между обработанной поверхностью изделия и задней поверхностью инструмента зависят качество обработанной поверхности и интенсивность износа задней поверхности инструмента. В свою очередь, от качества обработанной поверхности и ее характеристик: шероховатости, наклепа, внутренних напряжений поверхностного слоя зависят качество изделий, их надежность и долговечность.

Ранее были исследованы шероховатость обработанной поверхности при тонкой обработке цветных сплавов инструментами из синтетического корунда [2, 4]. Экспериментами установлено, что с увеличением скорости резания от 70 м/мин до 800 м/мин наблюдаются уменьшение глубины упрочнения поверхностного слоя h и степени наклепа j соответственно: от $h = 40$ мкм до 25 мкм и от $j = 1,6$ до 1,1 раза при обработке латуни ЛС59-1 и от $h = 65$ мкм и от $j = 1,7$ до 1,3 раза при обработке дюралюминия Д1. С увеличением подачи от 0,007 мм/об до 0,07 мм/об наблюдаются также уменьшение глубины упрочнения поверхностного слоя и степени наклепа соответственно: от $h = 65$ мкм до 25 мкм и от $j = 1,9$ до 1,3 раза при обработке латуни ЛС59-1 и от $h = 70$ мкм до 45 мкм и от $j = 2,0$ до 1,3 раза при обработке дюралюминия Д1.

Химическая инертность синтетического корунда при температурах до 1000—1200°С по отношению к ряду сплавов [5] дает основание считать, что режущие инструменты из синтетического корунда даже при наибольших температурах резания до 450°С не подвергаются диффузионному износу.

Процесс точения и фрезерования характеризуется условиями, способствующими адгезионному износу, т. е. большими удельными давлениями и образованием в контакте с корундом новых, совершенно чистых поверхностей цветных сплавов, свободных от адсорбированных пленок, которые обычно присутствуют на поверхностях металлов. Отрывание частиц синтетического корунда объясняется тем, что при скольжении одной поверхности по другой происходит непрерывный процесс возникновения и срыва адгезионных пятен. Известно, что на одном метре пуги резания любая точка может подвергаться тысячекратным воздействиям срезающих напряжений и поэтому характер разрушения поверхностных слоев инструментального материала связан с усталостными явлениями. Сравнительно высокие контактные давления и температура в отдельных точках на контактных поверхностях инструмента способствуют возникновению двойникования режущего кристалла. После появления двойниковых прослоек в отдельных областях под действием циклических срезающих напряжений частицы корунда отрываются и уносятся с передней поверхности стружкой, а с задней поверхности — поверхностью резания. После того, как стружка проходит зону нароста или застоя, скорость перемещения резко увеличивается и интенсивность схватывания цвет-

ных сплавов и корунда возрастает. Она возрастает также при увеличении скорости резания и подачи.

Исследование показало, что режущие инструменты из синтетического корунда подвергаются выкрашиванию, причем интенсивность выкрашивания усиливается при форсировании режимов резания.

Таким образом, несмотря на специфические особенности синтетического корунда, контактные процессы, протекающие на передней и задней поверхностях режущего кристалла, схожи с контактными явлениями, происходящими на поверхностях резцов и фрез, оснащенных алмазами, композитами и другими инструментальными материалами.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арумян А. М. Определение оптимальной геометрии режущего инструмента по составляющим сил резания и по шероховатости обработанной поверхности//Тез. доклад. 16 ой росс. п.-т. конф. асп. общ. аспирантуры.—Бреван. 1979.—С. 4—7.
2. Авакоп А. А., Хачатрян Г. Г., Киракосян Э. М. О применении рубиновых резцов при тонком продольном точении цветных металлов//Вестник машиностроения. 1971.— № 7.—С. 71—72.
3. Авакоп А. А., Хачатрян Г. Г. Стойкость рубиновых резцов в зависимости от ориентации кристаллов корунда//Вестник машиностроения.—1972.— № 7.—С. 72—73.
4. Арумян А. М. Тонкая прерывистая обработка цветных металлов режущими пластинками из синтетического корунда, албора, титаниста и алмаза//Вестник машиностроения.—1981.— № 4.—С. 55—56.
5. Лойдиге Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. —М.: Машиностроение, 1982.—320 с.

Леп. фил. ЕРНИ

16.XII.1990

Изв. АН Армении (сер. ТИ), т. XLV, № 1—2, 1992, с. 116.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 539.214

А. А. ГРИГОРЯН

ТЕЧЕНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНОЙ МАССЫ МЕЖДУ ШЕРОХОВАТЫМИ КОНИЧЕСКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Рассматривается течение несжимаемого идеального пластически неоднородного, жесткопластического материала между двумерно шероховатыми коническими поверхностями при их сближении с поперечными скоростями, изменяющимися по экспоненциальному закону по кольцевой координате. Показано, что неоднородность приводит к существенному увеличению силы давления на контактную поверхность в сравнении с однородным материалом.

Ил. 3. Библиогр. 7 назв.

Գիտությունների իրականացման հոշոտ պլաստիկ, անսեղմելի և անհամասեղ նյութի հոսու-
նաթյունը կոնական երկչափ անհարթ մակերևույթների միջև, երբ նրանք մոտենում են իրար
ըստ շրջանագծային կոորդինատի աստիճանական օրենքով փոփոխվող լայնական արագություն-
ներով ծուլից է տրված, որ անհամասեղությունը համեմատած համասեղ նյութի հետ հան-
գեթեում է հարման մակերևույթի վրա ճնշման ուժի մեծացումներ:

Пластическое течение материала между шероховатыми жёсткими плитами в условиях плоской деформации впервые рассмотрено в [1], а последующее развитие теории течения идеально пластического материала по жёстким поверхностям получила в [2—7]. Задача о течении пластического материала между коническими поверхностями впервые исследована в [2,3]. Здесь конические поверхности приняты шероховатыми в кольцевом направлении и движутся с постоянными поперечными скоростями. В статьях [5—7] приведены решения задачи о пластическом слое и клине с учетом неоднородности материала.

В настоящей работе рассматривается течение несжимаемого идеально пластически-неоднородного, жестко-пластического материала между двумерно шероховатыми коническими поверхностями при их сближении с поперечными скоростями, изменяющимися по экспоненциальному закону по кольцевой координате [4]. Примем

$$v = v_1 r e^{-\mu \varphi} \quad \text{при } \theta = \alpha, \quad v = -v_2 r e^{-\mu \varphi} \quad \text{при } \theta = \beta,$$

где v_1, μ — заданные положительные постоянные. В силу симметрии рассматриваем область $0 \leq \varphi \leq \varphi_0$ (рис. 1).

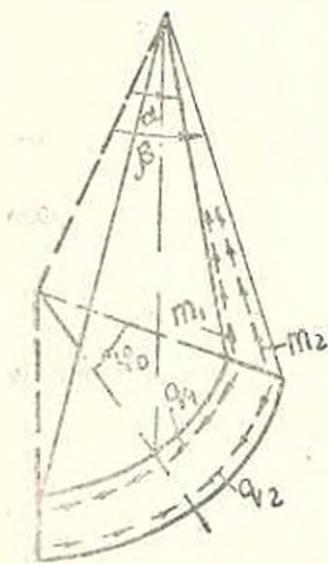


Рис. 1.

Соотношения теории идеального жестко-пластического течения в сферических координатах в обычных обозначениях имеют следующий вид:

а) дифференциальные уравнения равновесия —

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \\ + \frac{1}{r} (2\tau_r - \tau_\theta - \sigma_\theta + \tau_{\theta\theta} \operatorname{ctg} \theta) = 0, \\ \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \tau_{\varphi\theta}}{\partial \varphi} + \\ + \frac{1}{r} [(\tau_\theta - \sigma_\theta) \operatorname{ctg} \theta + 3\tau_{r\theta}] = 0, \\ \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi\theta}}{\partial \theta} + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \sigma_\varphi}{\partial \varphi} + \\ + \frac{1}{r} (3\tau_{r\varphi} + 2\tau_{\varphi\theta} \operatorname{ctg} \theta) = 0; \end{aligned} \quad (1)$$

б) зависимости между компонентами скоростей деформаций, напряжений и скоростей перемещений —

$$\begin{aligned} \epsilon_{ij} = \nu (\dot{z}_{ij} - \delta_{ij} \dot{\nu}), \quad \dot{\tau}_r = \frac{\partial u}{\partial r}, \quad \dot{\tau}_\theta = \frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta}, \\ \dot{\tau}_\varphi = \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial w}{\partial \varphi} - \frac{u}{r} + \frac{v}{r} \operatorname{ctg} \theta, \quad 2\dot{\tau}_{r\theta} = \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$2\tau_{r\theta} = \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta}, \quad 2\tau_{\theta\varphi} = \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} - \frac{w}{r} \operatorname{ctg} \theta + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial v}{\partial \varphi};$$

в) условие пластичности Губера — Мизеса —

$$(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_\varphi)^2 + (\sigma_\varphi - \sigma_r)^2 + 6(\tau_{r\theta}^2 + \tau_{\theta\varphi}^2 + \tau_{r\varphi}^2) = 6K^2(r, \theta), \quad (3)$$

Здесь $K(r, \theta)$ — функция, характеризующая неоднородность материала. Компоненты напряжений и функция $K(r, \theta)$ отнесены к постоянной K , имеющей размерность напряжений.

В рассматриваемой задаче принимается, что пластические свойства меняются только по толщине слоя: $K(r, \theta) = \omega(\theta)$, где $\omega(\theta)$ — безразмерная величина, определяемая из эксперимента.

Возникающие в конических поверхностях касательные напряжения принимаем заданными

$$\begin{aligned} \tau_{r\theta} = m_1, \quad \tau_{\theta\varphi} = q_1, \quad \text{при } \theta = \alpha, \quad \tau_{r\theta} = -m_2, \\ \tau_{\theta\varphi} = -q_2, \quad \text{при } \theta = \beta, \quad m_1^2 + q_1^2 < 1. \end{aligned} \quad (4)$$

Компоненты напряжения и скорости перемещения представим в виде

$$\sigma_r = \sigma_0 + \frac{6\omega}{\Omega} f', \quad \sigma_\theta = \sigma_0 + \frac{6\omega}{\Omega} (f' - f \operatorname{ctg} \theta - \mu \frac{1}{2}),$$

$$\sigma_\varphi = -p_1 + M \ln r - A(\varphi_0 - \varphi) + 6 \int_{\frac{1}{2}}^{\theta} \frac{\omega}{\Omega} (f' - f \operatorname{ctg} \theta - \mu \frac{1}{2}) \operatorname{ctg} \theta d\theta - \quad (5)$$

$$- 3 \int_{\frac{1}{2}}^{\theta} \tau(\theta) d\theta, \quad \tau_{r\theta} = \frac{\omega}{\Omega} (f' - f \operatorname{ctg} \theta - \mu \frac{1}{2}),$$

$$\tau_{\theta\varphi} = \frac{3\omega}{\Omega} \left(\psi' \sin \theta + \frac{\mu f}{\sin \theta} \right), \quad \tau_{r\varphi} = -\frac{\omega \omega}{\Omega} (f' + f \operatorname{ctg} \theta + \mu \frac{1}{2}),$$

$$\begin{aligned} \Omega^2 = (f' + f \operatorname{ctg} \theta + \mu \frac{1}{2})^2 + 9 \left(\psi' \sin \theta + \frac{\mu f}{\sin \theta} \right)^2 + \left(\psi + \frac{\mu^2}{\sin^2 \theta} \right) \times \\ \times (f' + f \operatorname{ctg} \theta + \mu \frac{1}{2})^2 + 4(2f' - f \operatorname{ctg} \theta - \mu \frac{1}{2})(f' - 2f \operatorname{ctg} \theta - 2\mu \frac{1}{2}), \end{aligned} \quad (6)$$

$$u = r(f' + f \operatorname{ctg} \theta + \mu \frac{1}{2})e^{-\omega}, \quad v = -3rfe^{-\omega}, \quad (7)$$

$$w = 3r\psi \sin \theta e^{-\omega} + \frac{D}{\mu} r \sin \theta,$$

где f и ψ — произвольные функции, зависящие от θ , а p_1, φ_0, A, D — произвольные постоянные интегрирования.

Выражения напряжений (5) и скорости перемещения (7) являются решениями уравнений (1) — (3), если определены функции f и ψ из системы следующих дифференциальных уравнений:

$$\left[\frac{\omega \sin \theta}{\Omega} (f' + f \operatorname{ctg} \theta + \mu \psi)' \right] + \frac{6\omega \sin \theta}{\Omega} (f' + f \operatorname{ctg} \theta + \mu \psi) + 4f \sin \theta = 0,$$

$$\left[\frac{\omega \sin^3 \theta}{\Omega} \left(\psi' \sin \theta + \frac{\mu f}{\sin \theta} \right)' \right] - \frac{6\omega \sin^3 \theta}{\Omega} (f' + f \operatorname{ctg} \theta + \mu \psi) + \frac{A}{3} \sin \theta = 0$$

для с учетом представления (6) —

$$(\tau_{r\theta} \sin \theta)' - \frac{6}{\mu} \tau_{r\theta} \sin^2 \theta + 4f \sin \theta = 0,$$

$$(\tau_{\theta\theta} \sin^2 \theta)' + 3\tau_{\theta\theta} \sin^2 \theta + A \sin \theta = 0.$$

Отсюда, исключая $\tau_{r\theta}$ и проинтегрировав полученное дифференциальное соотношение с учетом граничных условий (4) и обозначив

$$A = B - \frac{1}{2} \mu M, \quad B = \frac{q_1 \sin^2 \alpha + q_2 \sin^2 \beta + \frac{1}{2} \mu (m_1 \sin \alpha + m_2 \sin \beta)}{\cos \alpha - \cos \beta}, \quad (9)$$

$$C = \frac{q_1 \sin^2 \alpha \cos \beta + q_2 \sin^2 \beta \cos \alpha + \frac{1}{2} \mu (m_1 \sin \alpha \cos \beta + m_2 \sin \beta \cos \alpha)}{\cos \alpha - \cos \beta}$$

получим

$$z = \xi - \frac{\mu}{2 \sin \theta} x, \quad \tau = \frac{B \cos \theta - C}{\sin^2 \alpha}, \quad (10)$$

где

$$\tau_{\theta\theta} = \delta, \quad \tau_{r\theta} = x. \quad (11)$$

Введем новую функцию $F(\theta)$

$$f' = F - f \operatorname{ctg} \theta - \mu \psi \quad (12)$$

и, исключив из выражения Ω в (6) производные f' , F' и ψ' , при помощи соотношений

$$F' = x\Omega, \quad \psi' = \frac{s}{3} \frac{\Omega}{\sin \theta} - \frac{\mu f}{\sin^2 \theta}, \quad (13)$$

получим

$$\Omega = \frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{1-x^2-s^2}} \times \\ \times \sqrt{\left(1 + \frac{\mu^2}{12 \sin^2 \theta}\right) F^2 + 3(f \operatorname{ctg} \theta + \mu \psi)(f \operatorname{ctg} \theta + \mu \psi - F)}.$$

Из первого уравнения (8) следует

$$z = x \operatorname{ctg} \theta - 6 \frac{\omega}{\Omega} F. \quad (14)$$

Для определения функций f , F , x , ψ из системы дифференциальных уравнений (12)–(14) имеем граничные условия

$$f(\alpha) = -v_1/3, \quad f(\beta) = v_2/3, \quad x(\alpha) = m_1, \quad x(\beta) = -m_2. \quad (15)$$

Определив эти функции, найдем две компоненты напряжения (11), а остальные компоненты напряжения и скорости перемещения примут следующий вид:

$$\sigma_r = \sigma_1 - \frac{6\omega}{\Omega} (F - f \operatorname{ctg} \theta - u\psi), \quad \sigma_\theta = \sigma_2 + \frac{6\omega}{\Omega} (F - 2f \operatorname{ctg} \theta - 2u\psi), \quad (16)$$

$$\sigma_\varphi = -p_1 - A(\varphi_0 - \varphi) + 6 \int_{\alpha}^{\theta} (F - 2f \operatorname{ctg} \theta - 2u\psi) \frac{\omega}{\Omega} \operatorname{ctg} \theta d\theta - 3 \int_{\alpha}^{\theta} x d\theta,$$

$$\tau_{r\theta} = -\mu \frac{\omega F}{\Omega \sin \theta}.$$

$$u = rFe^{-\mu\varphi}, \quad v = -3rfe^{-\mu\varphi}, \quad \omega = 3r\psi \sin \theta e^{-\mu\varphi} + \frac{D}{r} r \sin \theta. \quad (17)$$

Давление на контактной поверхности $\theta = \alpha$ на единицу длины вдоль r будет

$$P = -2r \sin \alpha \int_{\alpha}^{\varphi_0} (\sigma_\theta \cos \varphi - \tau_{\theta\varphi} \sin \varphi)'_{\theta=\alpha} d\varphi = \\ = 2r \sin \alpha \{ p_1 \sin \varphi_0 + (1 - \cos \varphi_0)(A + q_1) \}.$$

Из условия сохранения количества масс

$$\int_{\alpha}^{\beta} \int_0^{r_0} [v(r, \alpha, \varphi) \sin \alpha - v(r, \beta, \varphi) \sin \beta] r dr d\varphi = \\ = \int_{\alpha}^{\beta} \int_0^{r_0} ur^2 \sin \theta d\theta d\varphi + \int_{\alpha}^{\beta} \int_0^{r_0} \omega'_{\theta=\alpha} r d\theta dr,$$

подставив выражения компонент скорости перемещения в (17), определим

$$D = \frac{1 - e^{-\mu\varphi_0}}{\cos \alpha - \cos \beta} (v_1 \sin \alpha + v_2 \sin \beta) - \\ - 3 \int_{\alpha}^{\beta} F \sin \theta d\theta - \frac{3\mu e^{-\mu\varphi_0}}{\cos \alpha - \cos \beta} \int_{\alpha}^{\beta} \psi \sin \theta d\theta.$$

Проведено численное решение системы дифференциальных уравнений (12)–(14) при граничных условиях (15) для случаев неоднородности $\alpha(\beta) = e^{\pm\theta}$, $\mu_1 = 0.2$, $v_1 = 3$, $v_2 = 4.2$ и шероховатости:

- 1) $m_1 = 0,15$, $q_1 = 0,2$, $m_2 = 0,2$, $q_2 = 0,25$;
 2) $m_1 = 0,15$, $q_1 = 0$, $m_2 = 0,2$ ($i = 1, 2$);
 3) $m_1 = 0$, $q_1 = 0$; 4) $m_1 = 0$, $q_1 = 0,2$, $q_2 = 0,25$.

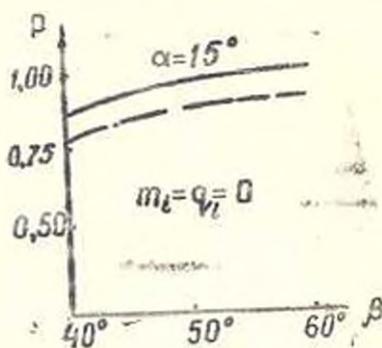


Рис. 2.

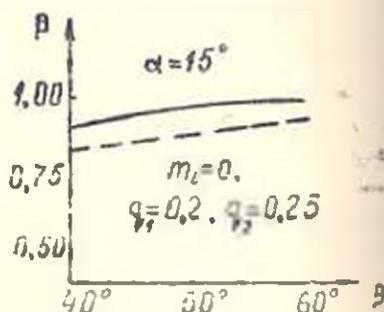


Рис. 3.

На рис. 2, 3 приведены графики, из которых можно сделать вывод, что неоднородность приводит к существенному увеличению сил давления на контактной поверхности $\theta = \beta$ в сравнении с однородным случаем.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Prandtl L. Anwendungsbeispiele zu einem Henckysten Satz über das plastische Gleichgewicht//Z. angew. Math. und Mech. — 1923. — В. 5. № 6 — С. 401—406.
2. Иалева Д. Д. Об одном обобщении решения Прандтля для сферического деформированного состояния//Тр. НИИ мат. ВГУ.—Воронеж, 1973.—Вып. 10.—С. 1—3.
3. Ершов Я. В., Иалева Д. Д., Романов А. В. Современные проблемы механики вязкости.—М.: Машиностроение, 1982.—144 с.
4. Задоян М. А. Пластическое течение конусообразных тел//ПММ.—1983.—Т. 47, вып. 2.—С. 209—218.
1960.—Т. 22, № 2.—С. 73—79.
5. Кузнецов А. И. Задача о неоднородном пластическом слое//Arch. Mech. Stoz.
6. Григорьев О. Д. Задача Прандтля для анизотропного неоднородного по толщине пластического слоя в равновесии полупространства под действием распределенной нагрузки//Изв. АН СССР, Инж. журнал. МТИ—1966—№ 3—С. 147—149.
7. Аликян Ж. Г., Задоян М. А. Пространственное течение пластически анизотропного клина между жесткими шероховатыми плантами//Изв. АН АрмССР. Механика.—1981.—Т. 34, № 3.—С. 39—44.

Ин-т механики
АН Армении

9. VI. 198

ГДК 699.841

Г. С. ГЕВОРКЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОД ЗДАНИЯМИ И СООРУЖЕНИЯМИ ВО ВРЕМЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Определены напряжения под зданиями и сооружениями от продольных и поперечных волн во время землетрясений. Значения этих напряжений необходимо для полной оценки взаимодействия и взаимовоздействия зданий и сооружений с грунтом основания.

Ил. 1. Библиогр. 3 назв.

Օրոշվել են երկրաշարժերի ժամանակ երկարակիսի և քարտեզային աղբյուրից անցնող շենքերի և կառույցների առկա կապի միջոցով աղբյուրից անցնող շենքերի և կառույցների միմյանց և հողատարածության հետ փոխազդեցության արժեքները:

Во время землетрясений в грунтах возникают продольные, поперечные и поверхностные волны, которые вызывают деформации в грунтах, зданиях и сооружениях [1, 2]. Чтобы математически сформулировать это напряженное состояние, прибегают к приближениям.

Для простоты рассмотрим гармонические продольные сейсмические волны, которые распространяются со скоростью C_1 по направлению оси OX . Координатная система показана на рисунке. При этом для смещений будем иметь: $u = u(x, t)$, $v = 0$, $w = 0$. Смещение по направлению оси OX обозначим $y_1(x, t)$. По нашим допущениям продольные сейсмические волны вызывают колебания гармонического типа, которые по направлению оси OX запишутся в виде [2]

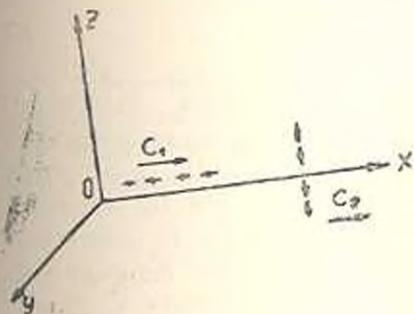


Рис.

$$y_1 = A \sin \left[\frac{2\pi}{L_1} (x - c_1 t) \right]. \quad (1)$$

где A — амплитуда колебаний, L_1 , c_1 — длина и скорость распространения продольной волны.

Максимальное относительное удлинение по направлению оси OX равно $\varepsilon_0 = A \frac{2\pi}{L_1}$, а максимальное сейсмическое ускорение a_{01} —

$$a_{01} = \left| \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} \right|_{\max} = A \left(\frac{2\pi c_1}{L_1} \right)^2 = A \left(\frac{2\pi}{T_1} \right)^2 \quad (2)$$



следовательно,

$$\epsilon_{01} = \frac{a_1 T_1}{2c_1} \quad (3)$$

а максимальное продольное сейсмическое напряжение—

$$\sigma_x = E\epsilon_x = \frac{T_1 F}{2c_1} a_{01}$$

Продольные сейсмические напряжения с учетом рассеяния энергии определяются по следующей формуле [2]:

$$\sigma_{x,z} = \epsilon E + k_1 \frac{\partial z}{\partial t} \quad (4)$$

где k_1 —некоторая известная постоянная величина,

$$\epsilon = \frac{\partial y_1}{\partial x} = -A \left(\frac{2\pi}{L_1} \right)^2 \cos \frac{2\pi}{L_1} (x - c_1 t),$$

откуда

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -A \left(\frac{2\pi}{L_1} \right)^2 c_1 \sin \frac{2\pi}{L_1} (x - c_1 t)$$

и

$$\left| \frac{\partial z}{\partial t} \right|_{\max} = A \left(\frac{2\pi}{L_1} \right)^2 c_1 = \frac{a_{01}}{c_1} \quad (5)$$

Совместно решив (3)–(5), окончательно получим

$$\sigma_{x,z} = \frac{a_{01}}{c_1} \left(\frac{ET_1}{2\pi} + k_1 \right) \quad (6)$$

Рассмотрим поперечные сейсмические напряжения. Распространяющиеся волны на одной и той же оси Ox в одном случае вызывают смещения, параллельные оси Ox (продольные волны), а в другом случае—перпендикулярные оси Ox или параллельно оси Oz (поперечные волны). Эти смещения происходят одновременно, но допущения в теории сейсмостойкости позволяют рассмотреть их отдельно [3]. При этом будем иметь: $u = 0$, $v = 0$, $w = w(x, t)$. $w(x, t)$ обозначим через $y_2(x, t)$ и предположим, что смещения w происходят по закону

$$y_2 = w = B \sin \frac{2\pi}{L_2} (x - c_2 t).$$

Поскольку во время действия поперечных волн происходит сдвиг, деформация будет определяться по формуле

$$\epsilon = \frac{\partial y_2}{\partial x} = B \frac{2\pi}{L_2} \cos \frac{2\pi}{L_2} (x - c_2 t), \quad (7)$$

где B — амплитуда колебаний поперечных волн.

Тогда

$$|\dot{\gamma}|_{\max} = \dot{\gamma}_0 = B \frac{2\pi}{L_2}, \quad (8)$$

максимальное ускорение будет равно

$$a_{02} = |a_2|_{\max} = \left| \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} \right|_{\max} = B \left(\frac{2\pi c_1}{L_2} \right)^2, \quad (9)$$

следовательно,

$$\dot{\gamma}_0 = \frac{a_{02} T_2}{2\pi c_1}. \quad (10)$$

Сдвиг характеризуется касательными напряжениями, поэтому максимальное напряжение при поперечных волнах будет равно

$$\tau = \tau_0 G = \frac{a_{02} T_2 G}{2\pi c_1}.$$

Теперь предположим, что снова поперечные волны распространяются синусоидально и при наличии вязкости материала происходит потеря энергии. Следовательно,

$$\tau_{p, z} = \tau G + K_2 \frac{\partial \tau}{\partial t}. \quad (11)$$

После определения $\frac{\partial \tau}{\partial t}$ для напряжений получим

$$\tau_{p, z} = \frac{a_{02}}{c_1} \left(\frac{T_2 G}{2\pi} + h_2 \right). \quad (12)$$

В действительности, продольные и поперечные волны воздействуют совместно и несинусоидально и для динамических (сейсмических) напряжений можно получить следующее выражение (без учета рассеяния энергии):

$$\sigma_z = -\frac{E}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{T_1 a_{01}}{c_1} \right)^2 + \left| \frac{T_2 a_{02}}{2(1+\mu)c_2} \right|^2}. \quad (13)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров А. Г. Метод низкочастотного анализа сейсмических сил.—Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1959.—283 с.
2. Зингер К. С. и др. Основы теории сейсмостойкости зданий и сооружений.—М.: Гостройиздат, 1970.—230 с.
3. Акопян А. Г., Геворкян Г. С. Об одном вопросе учета взаимодействия фундаментов сооружений атомной электростанции с грунтом основания для обеспечения безопасной ее эксплуатации в условиях сейсмичности//Тез. докл. IV науч.-тех. кон. мол. уч.—Ереван, 1965.—С. 24—25.

УДК 699.841

Г. М. САРКИСЯН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАНИЯ КОЛЕБАНИЙ ТРЕХСЛОЙНЫХ БАЛОК

Демпфирование изгибных колебаний слоистых конструкций посредством сдвиговой деформации вязко-упругих материалов, расположенных между слоями, позволяет в значительной мере интенсифицировать процесс затухания. Упруго-вязкостные свойства демпфирующего материала увязаны с величиной его сдвиговых деформаций. Оптимальный интервал отношений жесткостей балок (от 17 до 60), при котором достигается наибольшее затухание колебаний; почти не зависит от материала балок и обусловлен демпфирующим материалом. В качестве демпфирующего материала в слоистых ж/б конструкциях целесообразно использовать битум БН—70/30, ч. металлургических составных конструкциях—коррик поливинилхлоридный, (тип—А) или поливинилхлоридную пленку марки ГВ. Изучаемый принцип может применяться и для демпфирования крутильных колебаний.

Ил. 2 Табл. 1. Библиогр. 5 извл.

Կազմովի կլմենտների ծող տատանումների հանդարտացումը շերտերի միջև տեղադրված առաճգական-մածուցիկ նյութերի սաճրի միջոցով Թույլ է տալիս զգալի կերպով մեծացնել մարման բնթացրու Հանդարտացնող նյութի առաճգական-մածուցիկ հատկությունները պետր է կապված յինի սաճրի դեֆորմացիայի մեծության հետ: Անկախ հեծանների նյութից՝ տատանումների զգալի մարումը տեղի է ունենում, երբ շերտերի կոշտության հարաբերությունը 17-ից 60 է: Ծերտաղոր երկաթբետոնե կառուցվածքներում որպես հանդարտացնող նյութ նշատակահարմար է օգտագործել ԲН—70/30 մակնիշի բիտում, մետաղական կազմովի կառուցվածքներում՝ Ա տեսակի պոլիվինիլ-իդրոլիդային դորզիկ կամ պոլիվինիլիդորիտային թաղանթ: Ստումնախիբող սկզբունքը կարող է օգտագործվել նաև ուրրող տատանումների հանդարտեցման ժամանակ:

Осуществление демпфирования колебаний в машиностроении, мобильных машинах и в строительных конструкциях имеет особую актуальность. Одним из перспективных направлений в этой области является демпфирование изгибных колебаний слоистых балок посредством сдвиговой деформации вязкоупругих материалов между отдельными слоями. Указанный принцип демпфирования исследован американскими учеными Р. Дитаранто [1], С. Берт [2], Н. Ружичка [3].

Для проведения исследований по демпфированию колебаний посредством сдвиговой деформации вязкоупругих материалов были исследованы некоторые закономерности процесса затухания колебаний стеблей травянистых растений (рогоз, тростник, водосолнечник и др.) [4]. Гашение колебаний стеблей растений имеет место вследствие деформации сдвигов между отдельными смежными слоями тканей стебля, в частности, между листовыми влагалищами и стеблем.

Целью выполненной работы является исследование демпфирования колебаний трехслойных балок (рис. 1), и частности, определение оптимального вязкоупругого материала и его толщины; выявление

оптимального отношения жесткости слоев; изучение влияния температуры вязкоупругого материала на процесс затухания.

Как известно, наиболее распространенным методом определения демпфирующих свойств упругих систем является метод затухающих колебаний, позволяющий достаточно просто и надежно получать искомые характеристики демпфирования по виброграммам колебаний.

Методика исследования аналогична приведенной в [4, 5]

Для получения необходимой величины сдвиговых деформаций в упруго-пластическом материале, зависящей от отношения жесткости балок E_2I_2/E_1I_1 , последние выбирались разной толщины и из различных материалов. Отметим, что чем больше это отношение, тем выше величина изгибного перемещения балок и соответственно деформация сдвигов в демпфирующем материале. С этой целью соотношение жесткости балок (моментов инерции сечений при одномодульном материале балок) в опытах менялось в пределах от 3,4 до 108,8. Это достигалось выбором балок различных сечений и из различных материалов — стали 45 (закаленной), дюралюминия Д1П (111), органического

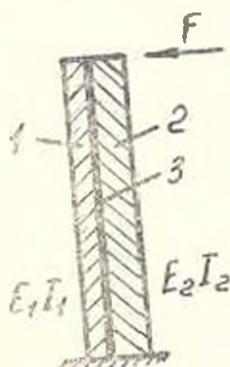


Рис. 1. Схема испытываемого образца: 1, 2 — балка; 3 — демпфирующий материал

стекла СТ-1 и бетона марки 250. В качестве демпфирующего материала применялись: пленка поливинилхлоридная, пластифицированная, марки ГВ; коврик поливинилхлоридный (тип А); латекс 50Н; клей БФ-2; резина техническая марки ОМБ (ГОСТ 7338-77); строительные битумы различных марок. Для изучения влияния температурного фактора на процесс демпфирования при применении в качестве демпфирующего материала битума использовалась климатическая камера.

В результате обработки полученных осциллограмм свободных колебаний определялись: среднее значение логарифмического декремента колебаний λ , частота колебаний ν и коэффициент затухания $\theta = \lambda \nu$. В таблице приводятся указанные показатели затухания свободных колебаний некоторых испытываемых образцов.

Как видно из таблицы, составные образцы имеют значительно высокий декремент, чем сплошной (монолитный). Так, например, при отношении моментов инерций сечений балок из органического стекла, равном 22,4, величины декремента колебаний составных образцов с демпфирующим материалом из пленки, коврика и битума превышают таковую монолитного образца в 2—2,2 раза. При использовании клея БФ-2 и резины технической указанное превышение составляет 1,6—1,8 раза. Неплохие показатели имеет битум БН-70/30 ($\lambda = 0,5$), обладающий приемлемой упруго-вязкоэластичной характеристикой. Однако его адгезия с органическим стеклом невысокая и хорошие результаты

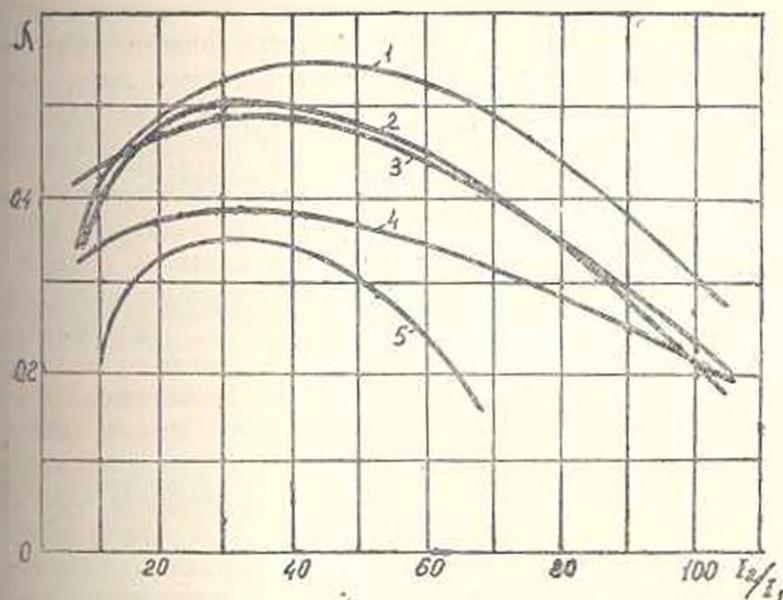
получаются при его использовании в металлических и бетонных балках.

Таблица

№	Материал балок	Демпфирующий материал	Отношение моментов инерции сечений балок	Декремент колебаний λ	Частота ν , /ци	Коэффициент затухания, %
1	Оргстекло	Клей	6,9	0,315	9,80	3,00
2		Пленка		0,307	11,49	3,52
3		Коврик		0,405	13,16	5,32
4		Битум		0,399	15,15	4,58
5		Латекс		0,398	11,11	3,64
6	Сплошной из оргстекла	—	—	0,215	6,17	1,32
7	Оргстекло	Клей	22,4	0,380	14,70	5,58
8		Пленка		0,520	14,92	7,76
9		Коврик		0,472	16,66	7,86
10		Битум		0,505	18,88	9,56
11		Резина		0,126	14,92	6,36
12	Сплошной из оргстекла	—	—	0,231	0,72	2,24
13	Оргстекло	Клей	108,6	0,163	26,04	4,89
14		Пленка		0,264	24,57	6,48
15		Коврик		0,199	25,57	5,09
16		Битум		0,232	27,03	6,27
17	Сплошной из оргстекла	—	—	0,170	14,28	2,43
18	Сталь	Клей	0,340	0,200	22,73	4,55
19		Пленка		0,340	23,81	8,09
20		Резина		0,250	22,74	5,65
21		Латекс		0,282	21,28	5,96
22		Битум		0,295	28,57	8,46
23		Коврик		0,292	25,90	7,30
24		Сплошной из стали толщиной 3 мм		—	—	0,162
25	То же, толщ. 1,6 мм	—	—	0,085	7,93	0,67
26	Сталь, дюрлюминий	Клей	8,8	0,077	21,74	1,67
27		Резина		0,182	23,25	4,23
28		Латекс		0,258	23,25	5,93
29		Битум		0,350	29,41	10,20
30	Бетон	Битум	24,1	0,294	12,19	3,58
31		Резина		0,231	9,00	2,08
32		Коврик		0,262	11,11	2,91
33		Пленка		0,240	10,64	2,95
34		Латекс		0,240	9,80	2,35
35	Сплошной из бетона	—	—	0,202	5,94	1,40

На рис. 2 приводятся графики изменения декремента колебаний от величины отношения жесткостей балок. В зависимости от упруго-вязкостных свойств демпфирующего материала каждый из них проявляет оптимальную характеристику, т. е. имеет экстремальную ве-

зависимости декремента колебаний при определенном интервале отношения моментов инерции балок испытываемых образцов.



Ил. 2. Зависимость декремента колебаний образцов от величины отношения моментов инерции сечений балок. Испытуемые образцы из оргстекла с демпфирующими материалами: 1 — пленка, 2 — битум БН-70/30, 3 — коврик, 4 — клей ГФ-2, 5 — испытываемый образец из бетона с демпфирующим материалом БН-70/30.

При использовании в качестве демпфирующего материала битума влияние температурного фактора на процесс демпфирования значительно. Эксперименты показали, что декремент колебаний наибольший и относительно постоянный в пределах температуры окружающей среды от -15°C до 40°C .

Результаты экспериментов показывают, что демпфирование колебаний посредством сдвиговой деформации вязко-упругих материалов позволяет в значительной мере повысить процесс затухания колебаний. Этот процесс зависит в основном от величины отношения жесткостей балок, упруго-вязкой характеристики демпфера. Оптимальный интервал отношения жесткостей балок, при котором достигается наибольшее затухание колебаний, почти не зависит от материала балок и обусловлен демпфирующим материалом. Этот интервал в среднем можно принять в пределах от 17 до 60.

В проведенных опытах с подобранными демпфирующими материалами наилучшие характеристики имеют пленка поливинилхлоридная (типа А) и битум Б-70/30. Битум БН-70/30 можно рекомендовать для использования в слоистых железобетонных конструкциях. В металлических составных конструкциях, целесообразно использовать пленку, коврик или латекс, не исключается использование самого битума.

Применение битума технологично, поскольку не требуется операции приклеивания. Оптимальная толщина битумного слоя колеблется в пределах 1,5—3 мм. Дальнейшее повышение толщины почти не влияет на характеристики затухания. Использование остальных демпфирующих материалов требует подбора специальных клеев, которые должны иметь хорошие адгезионные свойства как с материалом конструкции, так и с демпфиром. Изучаемый принцип может применяться и для демпфирования крутильных колебаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дитаранто Р., Блесингейл В. Затухание колебаний трехслойных балок // Тр. АН Арм. ССР. Инженер. Конструирование и технологии машиностроения.—1967.—№ 1.—С. 35—43.
2. Бегу С., Умкин Л., Крикин В. Демпфирующие в слоистых балках с упругими телами, податливыми по отношению к сдвигу // Там же.—1967.—№ 1.—С. 19—25.
3. Гурьянц Н. Е. Демпфирование резонансных колебаний в конструкции несущих элементов деформацией вязкоупругих материалов // Там же.—1961.—№ 4.—С. 43—55.
4. Саркисян Г. М., Своякян Е. А., Султанян Г. А. Принцип демпфирования изгиба стоек таврических рабтшей в строительных конструкциях // Промышленность, строительство и архитектура Армении.—1988.—№ 9.—С. 62—64.
5. Норин Ю. Н. Виброметрия.—М.: Машиноиздат, 1957.—460 с.

АрмСХИ

15.11.89

Изв. АН Армении (сер ТН), т. XLV, № 1—2, 1992, с. 24—30

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.762.621.771.8

С. Г. АГБАЛЯН, С. А. АСИЛА, А. С. АРУТЮНЯН

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКСТРУЗИИ МОНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Исследованы процессы компактирования порошковых материалов на основе жидкого металла, выбраны оптимальные параметры экструзии (температура, продолжительность нагрева, коэффициент вытяжки, исходная пористость заготовки и угол загибки), обеспечивающие беспористую структуру. По оптимальным параметрам экструзии получены опытные партии деталей из порошков стали 40Х и изучены их механические свойства. Выявлено, что свойства экструдированных порошковых сталей не уступают стандартных, а в некоторых случаях превосходят их.

Ил. 3. Библиогр. 5 назв.

Տար արտադրան միջոցով ուսումնասիրվել է կրկաթի հիմքով փոշևայտվելի խտացման գործընթացը: Ընտրվել են տար արտադրան օպտիմալ պարամետրերը (չէրմոստրանա աղացման ժամանակը, արտադրան գործակիցը, հախնական ծակոտկենսությունը և մաքրմանը անկյունը): Բաներ ապահովում են անծակոտկեն կառուցվածքի ստացումը:

Եւր արտադրման պայմանայ պարամետրներով պողպատ 40X մակնիշի փոշիներէջ պատ-
 տասին 11 փ-բննուան միջնամասեր և ուսումնասիրողի նրանց միջանդիական հատկու-
 թյուններ. Չարտիկ է. որ փոշիներէջ տար արտաձողումով ստացված պողպատները իրենց
 հատկութիւններով չեն զիջում ստանդարտային պողպատների հատկութիւններին և Լույնիակ
 որջ փոշիներով չերազանցում են նրանց:

Одним из основополагающих направлений в порошковой металлургии является создание материалов и изделий с беспористой структурой. Пористость, являясь концентратором напряжений, резко снижает физико-механические свойства и износостойкость материала, вызывает ускоренную коррозию.

Теория и практика порошковой металлургии показывают, что наиболее компактирование металлических порошков может быть достигнуто поэтапно: 1) предварительное формование их в пористую заготовку, со спеканием или без него; 2) горячая обработка пористой заготовки давлением (формование и уплотнение до $\theta \rightarrow 0\%$) [1, 2]. К весьма перспективным методам формирования, обеспечивающим получение беспористых материалов и изделий, относится экструзия. В процессе экструзии пористых материалов наблюдается изменение не только формы тела, но и его объема, что вносит определенную особенность в характер формоизменения и силовой режим по сравнению с деформацией монолитных металлов и сплавов.

Целью работы является исследование процессов компактирования порошковых материалов методом экструзии, выбор оптимальных режимов и геометрических параметров матрицы, обеспечивающих беспористую структуру. Для этой цели принята технология, включающая формование заготовок, нагрев и экструзию. В качестве исходного материала брали железный порошок ПЖРВ. Основными факторами, влияющими на процесс экструзии, являются: T_2 — температура, С; τ — продолжительность нагрева, мин; λ — коэффициент вытяжки; $\theta_{исх}$ — исходная пористость; α — угол матрицы. Оптимизацию их осуществляли математическими методами планирования эксперимента [3, 4]. В качестве параметра оптимизации брали остаточную пористость экструдированных заготовок.

По результатам предварительных экспериментов выбраны математические модели типов

$$\theta_1 = c_1 \left(\frac{T}{100} \right)^{b_1} \tau^{b_2} \lambda^{b_3} \quad (1)$$

$$\theta_2 = c_2 \lambda^{b_4} \theta_{исх}^{b_5} \alpha^{b_6} \quad (2)$$

где θ_1, θ_2 — остаточные пористости экструдированных заготовок, %; $c_1, c_2, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ — неизвестные коэффициенты, подлежащие определению.

Прологарифмировав уравнения (1) и (2), получим

$$\bar{y}_1 = b_{01} + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 \quad (3)$$

$$\bar{y}_2 = b_{02} + b_4 x_4 + b_5 x_5 + b_6 x_6 \quad (4)$$

где $\bar{y}_1, \bar{y}_2, b_{01}, b_{02}, x_1, \dots, x_6$ — логарифмические выражения.

Для решения (3) и (4) реализован полный факторный эксперимент 2^3 . Определены уровни и интервалы варьирования факторов, а также их кодированные значения. По матрицам планирования и результатам экспериментов найдены неизвестные параметры моделей (1) и (2):

$$b_1 = e^{5,430} \left(\frac{T}{100} \right)^{-1,449} \tau^{-0,185} k^{-0,375}, \quad (5)$$

$$b_2 = e^{1,275} \tau^{-0,896} b_{\text{исх}}^{0,032} \alpha^{0,018}. \quad (6)$$

Построчные дисперсии опытов S_i^2 (дисперсии для каждого опыта) в каждой точке факторного пространства определяли по формуле [4]

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{f}, \quad (7)$$

где y_i — результат i -го дубля (поворота) опыта в центре плана, \bar{y}_i — среднее арифметическое значение всех n дублей центрального опыта, $f = (n - 1)$ — число степеней свободы (n — число повторов каждого опыта).

По результатам расчета дисперсии опытов проверяли однородность ряда дисперсий по критериям Кохрена [4], для чего находили значения G -критерия

$$G_{\text{расч}} = \frac{S_{i_{\text{max}}}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}, \quad (8)$$

где $S_{i_{\text{max}}}^2$ — наибольшая в ряду дисперсия, которую сравнивают со значением G -критерия, взятым из таблицы [4] в зависимости от уровня значимости α (принимаем $\alpha = 0,05$), числа степеней свободы и числа опытов N .

Ряд дисперсий считается однородным, если

$$G_{\text{расч}} < G_{\text{табл}}. \quad (9)$$

В нашем случае для модели (5) $\sum_{i=1}^N S_i^2 = 0,3172$, $S_{i_{\text{max}}}^2 = 0,0512$, а для модели (6) — $\sum_{i=1}^N S_i^2 = 0,6906$, $S_{i_{\text{max}}}^2 = 0,1458$. Тогда по формуле (8) для модели (5): $G_{\text{расч}} = 0,167$, а для модели (6) — $G_{\text{расч}} = 0,211$. При $\alpha = 0,05$, число степеней свободы $f = n - 1 = 1$ и число опытов $N = 9$ табличное значение $G_{\text{табл}} = 0,610$ [4]. Поскольку выполняется условие (9), то ряд дисперсий однородный.

В связи с тем, что дублирование опытов было равномерным, то адекватность принятой модели (5) и (6) оценивается по формуле [4]

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{n}{N-m} \sum_{i=1}^N (y_{ii} - \bar{y}_i)^2, \quad (10)$$

где n —число членов аппроксимируемого полинома, включая свободный член ($m=4$). Из полученных данных имеем: для модели (5)—

$$\sum_{i=1}^N (y_{ii} - \bar{y}_i)^2 = 0,2572, \quad (11)$$

$$S_{\text{ост}}^2 = 0,10288; \quad (12)$$

для модели (5)—

$$\sum_{i=1}^N (y_{ii} - \bar{y}_i)^2 = 0,5286, \quad (13)$$

$$S_{\text{ост}}^2 = 0,21144. \quad (14)$$

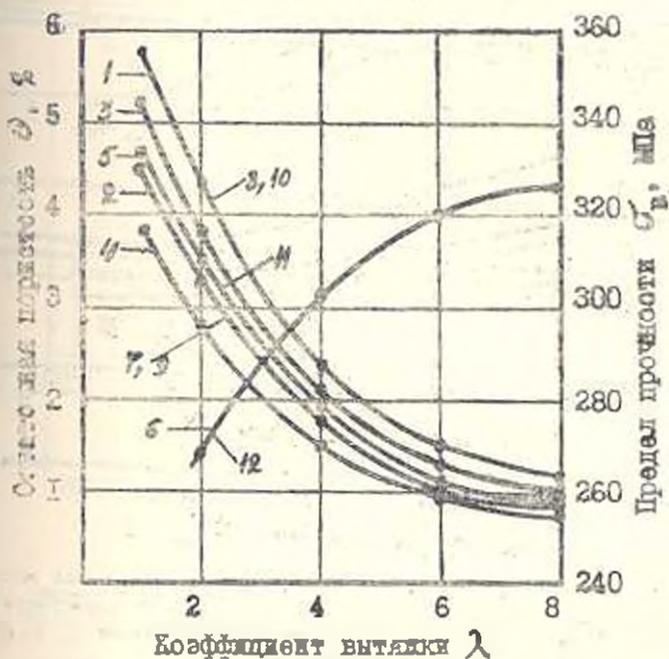


Рис 1. Зависимость остаточной пористости и предела прочности от коэффициента вытяжки: 1-6 — $\theta_{\text{нск}} = 25\%$; $\alpha = 45^\circ$; 7-12 — $T_1 = 1100^\circ\text{C}$, $\tau_1 = 45$ мин; 1 — $T_2 = 950^\circ\text{C}$, $\tau_2 = 20$ мин; 2 — $T_2 = 1120^\circ\text{C}$, $\tau_2 = 20$ мин; 3 — $T_2 = 950^\circ\text{C}$, $\tau_2 = 80$ мин; 4 — $T_2 = 1150^\circ\text{C}$, $\tau_2 = 80$ мин; 5 — $T_2 = 1050^\circ\text{C}$, $\tau_2 = 50$ мин; 6 — $T_2 = 1080^\circ\text{C}$, $\tau_2 = 45$ мин; 7 — $\theta_{\text{нск}} = 15\%$; $\alpha = 30^\circ$; 8 — $\theta_{\text{нск}} = 35\%$; $\alpha = 30^\circ$; 9 — $\theta_{\text{нск}} = 15\%$; $\alpha = 60^\circ$; 10 — $\theta_{\text{нск}} = 35\%$; $\alpha = 60^\circ$; 11 — $\theta_{\text{нск}} = 25\%$; $\alpha = 35^\circ$; 12 — $\theta_{\text{нск}} = 25\%$; $\alpha = 45^\circ$.

Так как $S_{\text{ост}}^2 > S_{\text{в}}^2$ (для модели (5) $S_{\text{в}}^2 = \frac{\sum S_{\text{в}}^2}{N} = 0,0341$, для

модели (6) $S_{\text{в}}^2 = \frac{\sum S_{\text{в}}^2}{N} = 0,0767$), то адекватность модели (5) и (6)

проверяем по критерию F (критерий Фишера):

$$F_{расч} = \frac{S_{расч}^2}{S_{у.ср}^2} = 3,017 \text{ и } 2,757. \quad (15)$$

При уровне значимости $\alpha = 0,05$, числе степеней свободы $f_{расч} = N - m = 5$ и $f = N(n - 1) = 9$ табличное значение $F_{табл} = 3,480$ [4]. Поскольку $F_{расч} < F_{табл}$, гипотезы об адекватности модели (5) и (6) при 5%-ном уровне значимости не отвергаются.

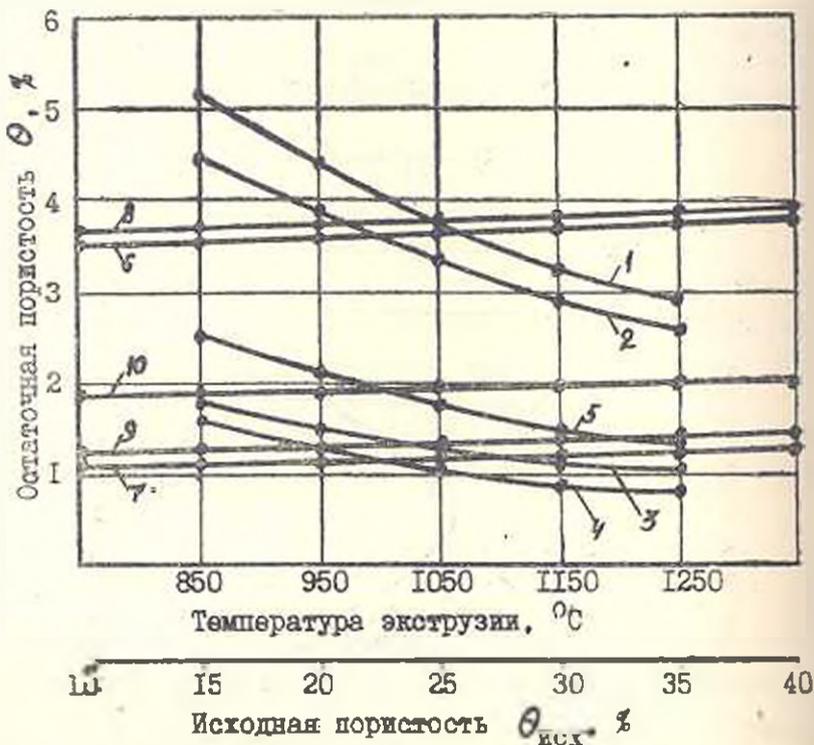


Рис. 2. Зависимость остаточной пористости экструдированных заготовок от температуры экструзии (кривые 1—5) и исходной пористости (кривые 6—10): 1—5 — $\theta_{исх} = 25\%$, $\alpha = 45^\circ$; 6—10 — $T_{эк} = 1100^\circ\text{C}$, $\tau_1 = 45$ мин; 1 — $\tau_2 = 20$ мин, $\lambda = 2$; 2 — $\tau_2 = 80$ мин, $\lambda = 2$; 3 — $\tau_2 = 20$ мин, $\lambda = 6$; 4 — $\tau_2 = 80$ мин, $\lambda = 6$; 5 — $\tau_2 = 50$ мин, $\lambda = 4$; 6 — $\lambda = 2$, $\alpha = 30^\circ$; 7 — $\lambda = 6$, $\alpha = 30^\circ$; 8 — $\lambda = 2$, $\alpha = 60^\circ$; 9 — $\lambda = 6$, $\alpha = 60^\circ$; 10 — $\lambda = 4$, $\alpha = 45^\circ$.

Анализ моделей (5) и (6) показал, что пористость экструдированных образцов находится в прямой зависимости от основных факторов ($T_{эк}$, τ_2 , λ , $\theta_{исх}$, α). Как и следовало ожидать, большое влияние оказывает коэффициент вытяжки (λ), затем следует температура экструзии ($T_{эк}$), продолжительность нагрева (τ_2), исходная пористость заготовки ($\theta_{исх}$) и угол матрицы (α).

На рис. 1—3 приведены графические зависимости математических моделей (5) и (6), анализ которых позволил выбрать в качестве оптимальных параметров: $\lambda = 5 \dots 8$, $T_{эк} = 1050 \dots 1150^\circ\text{C}$, $\tau_2 = 30 \dots 60$ мин, $\theta_{исх} = 20 \dots 25\%$, $\alpha = 45 \dots 60^\circ$.

Выбор $\lambda=5...8$ объясняется еще и тем, что именно при этих значениях обеспечиваются высокие прочностные свойства ($\sigma_b \geq 312-338$ МПа). Это хорошо видно из кривых 6 и 12 (рис. 1). Высокий предел прочности экструдированного материала объясняется минимальной остаточной пористостью ($0 < 1,2\%$).

Как видно из рис. 1-3, при повышенных значениях параметров экструзии ($\lambda > 8$, $T_s > 1150^\circ\text{C}$, $\tau_s > 60$ мин, $b_{\text{исх}} > 25\%$, $\alpha > 60^\circ$) не обеспечивается беспористая структура, поэтому верхний предел параметров брали: $\lambda = 8$, $T_s = 1150^\circ\text{C}$, $\tau_s = 60$ мин, $b_{\text{исх}} = 25\%$, $\alpha = 60^\circ$.

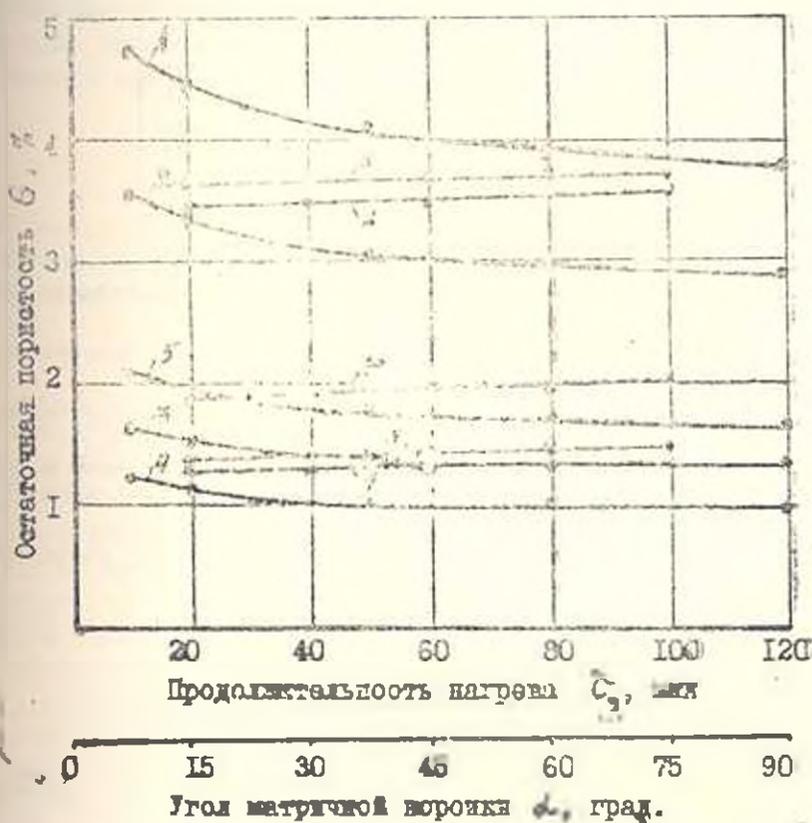


Рис. 3. Зависимость остаточной пористости экструдированных заготовок от продолжительности нагрева экструзии (кривые 1-5) и угла матрицы (кривые 6-10): 1-5 - $b_{\text{исх}} = 25\%$, $\alpha = 45^\circ$; 6-10 - $T_s = 1100^\circ\text{C}$, $\tau_s = 45$ мин; 1 - $T_s = 950^\circ\text{C}$, $\lambda = 2$; 2 - $T_s = 1150^\circ\text{C}$, $\lambda = 2$; 3 - $T_s = 950^\circ\text{C}$, $\lambda = 6$; 4 - $T_s = 1150^\circ\text{C}$, $\lambda = 6$; 5 - $T_s = 1050^\circ\text{C}$, $\lambda = 4$; 6 - $\lambda = 2$, $b_{\text{исх}} = 15\%$; 7 - $\lambda = 6$, $b_{\text{исх}} = 15\%$; 8 - $\lambda = 2$, $b_{\text{исх}} = 35\%$; 9 - $\lambda = 6$, $b_{\text{исх}} = 35\%$; 10 - $\lambda = 4$, $b_{\text{исх}} = 25\%$.

По оптимальным параметрам экструзии изготовлены опытные партии деталей из порошков стали 40X и изучены их механические свойства (табл.). Для сравнения приведены механические свойства литых и горячепрессованных порошковых сталей. Как видим, свойства экструдированных порошковых сталей и стандартных примерно равны.

тогда как свойства горячепрессованных сталей несколько ниже, что связано с остаточной пористостью.

Таблица

Механические свойства конструкционных легированных сталей (стандартных [5] и порошковых)

Марка стали	$\sigma_{0.2}$ МПа	$\sigma_{0.1}$ МПа	δ_5 %	δ_{10} %	КС, кДж/м ²	НВ МПа	Тер. обработки
Стандартные: 40Х (ГОСТ 4543-71)	800	1000	10	45	600	217- 269	Закалка - 860°C в масле, отпуск - 500°C в воде или в масле
Порошковые: П40Х (горячепрес- сованные, $v_p = 4 - 5\%$)	534	741	8	38	51	201- 210	
П40Х (экструдиро- ванные, $v_p < 1.2\%$)	800- 820	1000- 1050	10-12	45	550- 620	220 261	

ЛИТЕРАТУРА

1. Мавруки Н. В. Технология порошковой металлургии. - Ереван: Айтастан, 1986. - 232 с.
2. Павлов В. А., Кипарисов С. С., Шербина В. Я. Обработка давлением порошковых цветных металлов. - М.: Металлургия, 1977. - 176 с.
3. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
4. Павик Ф. С., Арсов Я. Б. Оптимизация процессов технологии металлов методом планирования экспериментов. - М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. - 304 с.
6. Журавлева В. Н., Николаева О. И. Машиностроительные стали. Справочник. Изд. 3-е, перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1981. - 391 с.

ЕрПИИ

7.111.1991

Изв. АН Армении (сер. ТН), т. XLV, № 1-2, 1992, с. 30-35.

ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.1.001.24

ДЖАГАРА ДИБАН ИБРАГИМ

ТЕОРЕМА ТЕЛЛЕДЖЕНА, ПРИМЕНИТЕЛЬНАЯ К ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ

Впервые доказывается применимость теоремы Телледжена к электроэнергетическим системам и получена её необходимая форма.

Полученная теория проверена численным примером.

Из 2, Библиогр.: 3 назв.

Առաջին անգամ ապացուցվում է Քելվինի թեորեմի կիրառելիությունը էլեկտրաէներգետիկական համակարգի համար և ստացվում է նրա անհրաժեշտ սեփականությունը և ստուգվում է թվային օրինակով:

В последние годы для решения задач из области электроэнергетических систем (ЭС) широко применяются возможности теоремы Телледжена—энергетической теории электрических цепей [1—3]. Тем не менее до настоящего времени не показана в теоретическом плане применимость теоремы Телледжена к ЭЭС. В работе [2] приведены формы этой теоремы для ЭЭС, однако без теоретического обоснования и численной иллюстрации.

Целью настоящей работы является установление формы теоремы Телледжена для ЭЭС и ее проверка на конкретном численном примере. Как известно, согласно этой теореме, если имеется направленный граф электрической цепи с N ветвями, то сумма произведений мгновенных значений напряжений U_k и токов I_k всех ветвей, удовлетворяющих законам Кирхгофа, равна нулю

$$\sum_{k=1}^N u_k i_k = 0. \quad (1)$$

Поскольку в теории ЭЭС режимные параметры описываются только комплексными величинами, то если от (1) перейти к комплексным значениям напряжений и токов, получим

$$\sum_{k=1}^N \dot{U}_k I_k = 0, \quad (2)$$

где \dot{U}_k и I_k являются комплексными напряжением и током ветви.

Из теоремы Телледжена вытекает, что для составления выражения (2) единственным требованием является удовлетворение системы напряжений второму закону Кирхгофа, а системы токов—первому закону Кирхгофа. Из этого единственного и основного требования следует, что: а) комплексные напряжения и токи могут быть параметрами различных режимов одной и той же электрической цепи; б) комплексные напряжения могут быть режимными параметрами одной электрической цепи, а комплексные токи—другой, но идентичной первой; в) комплексные напряжения и токи могут быть режимными параметрами электрической цепи, ветви которой могут быть любой структуры.

В настоящей работе впервые рассматривается последнее свойство теоремы Телледжена, на основании которого становится возможным показать применимость этой теоремы к ЭЭС. Предположим, что ЭС состоит из $(M+1)$ узловых точек, из которых один узел с индексом «0» выбирается базисным (балансирующим), а остальные M узлов являются стационарными и нагрузочными. Схему замещения ЭЭС представим в виде многополюсника с $(M+1)$ полюсами, концы которых соединены с помощью внешней окружности (рис. 1). Из рис. 1 можно заметить, что внутренняя окружность разграничивает пассивную часть ЭЭС, в которой отсутствуют пассивные узлы. Здесь приводится только распределение комплексных напряжений и токов по всем ветвям, т. е. те режимные параметры, относительно которых

записывается теорема Теллеждена. Предполагается, что при обыкновенной постановке задачи установившегося режима он рассчитан, в результате чего получено соответствующее распределение комплексных напряжений и токов, приведенных на рис. 1. В силу равновесия схемы можно утверждать, что системы комплексных напряжений и токов, показанных на рис. 1, должны соответственно удовлетворять второму и первому законам Кирхгофа. Тогда, рассматривая схему (рис. 1), как направленный граф, к нему применим теорему Теллеждена, представленной при записи режимных параметров в виде комплексных величины. Учитывая, что система уравновешивается в результате функционирования активной и пассивной частей схемы, можно написать следующее уравнение баланса мгновенных мощностей для системы в целом:

$$\sum_{l=0}^M n_l i_l = \sum_{s=1}^N u_s i_s \quad (3)$$

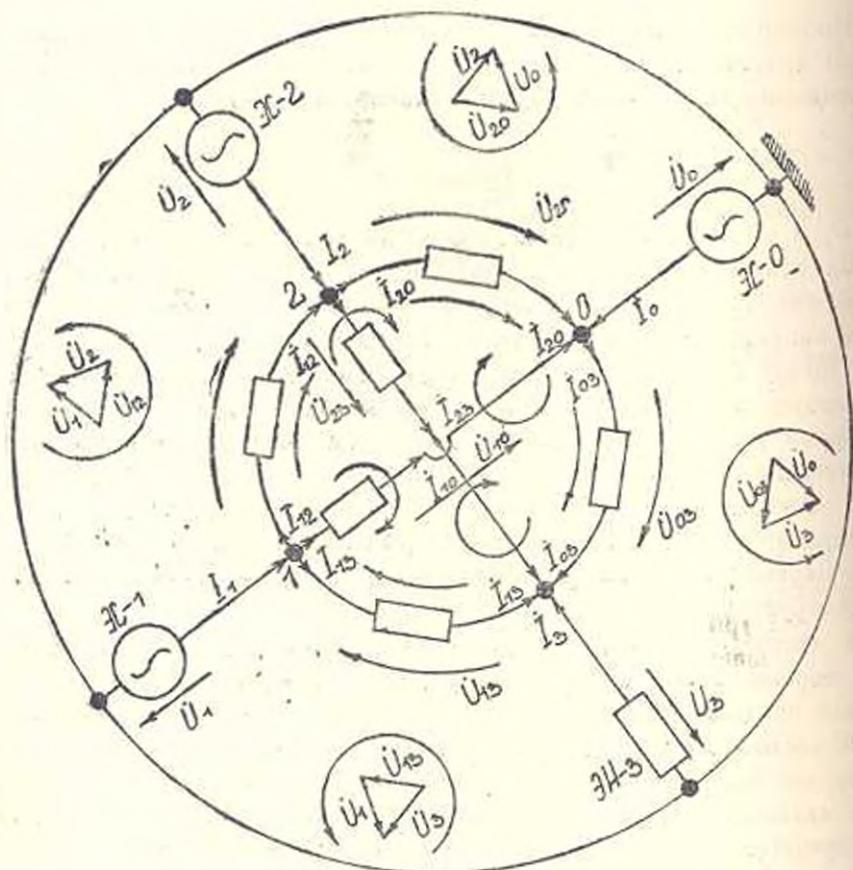


Рис. 1. Схема замещения ЭЭС в виде многополюсника.

Сумма в левой части уравнения (3) относится к выходам: каждый член её является мгновенной мощностью, поступающей в сеть (нагрузочные узлы рассматриваются как стационарные узлы с обрат-

ными знаками). Сумма в первой части относится к ветвям и каждый ее член является мгновенной мощностью, поставляемой элементу ветви B . Можно заметить, что полученное уравнение (3) не отличается от уравнения (1), вытекающего из теоремы Телледрена. В данном случае полученное уравнение (3) изображает эту теорему для ЭЭС. Если перейти от мгновенных значений напряжений и токов к их комплексным значениям, получим

$$\sum_{m=1}^M U_m I_m = \sum_{n=1}^N U_n I_n \quad (4)$$

Уравнение (4) изображает теорему Телледрена для ЭЭС, представленную через комплексные напряжения и токи. В частном случае, когда в схеме (рис. 1) будут отсутствовать внешние ветви, получим (2). Таким образом, уравнение (4), написанное на основании теоремы Телледрена, является более общим, чем уравнение (2), установленное самим Телледреном [1], и может называться обобщенным выражением теоремы, написанным для ЭЭС.

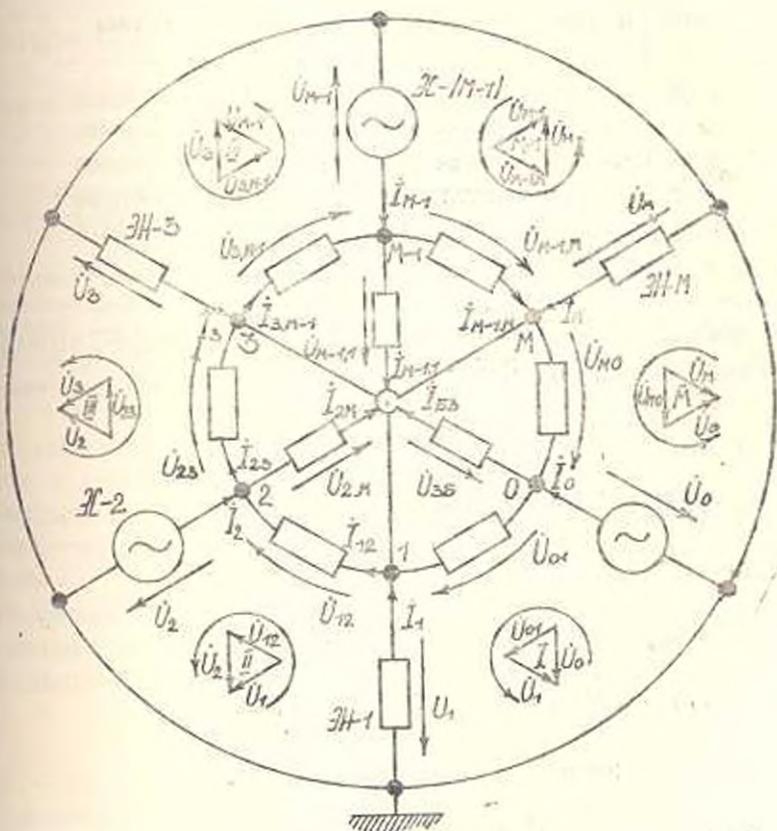


рис. 2. Схема замещения исследуемой ЭЭС.

Теперь переходим к численной проверке обобщенного выражения Телледрена для одной конкретной схемы ЭЭС (рис. 2). Можно за-

метить, что схема на рис. 2 представлена в такой же форме, как исходная обобщенная схема, показанная на рис. 1. Исследуемая ЭЭС состоит из четырех узлов, из которых три являются стационарными, а один — нагрузочным. Базисный узел обозначен индексом «0». Исходная информация относительно схемы (рис. 2) приведена в [3]. Значения узловых комплексных напряжений и токов приведены в табл. 1, а значения комплексных напряжений и токов ветвей — в табл. 2.

Таблица 1

Узлы	Комплексные напряжения	Комплексные токи
0	220,0000 + j 0,0000	0,405726 - j 0,361215
1	220,8101 + j 4,5220	0,736332 - j 0,351749
2	221,2768 + j 4,15 1	0,921117 - j 0,439161
3	204,1766 + j 9,3 51	2,063175 - j 1,152125

Таблица 2

Ветви	Комплексные напряжения	Комплексные токи
1-0	0,810164 + j 4,522007	0,055417 + j 0,009825
2-0	1,276815 + j 4,151672	0,046707 + j 0,000450
0-3	15,823370 + j 9,325263	0,507850 - j 0,350935
1-2	-0,466585 + j 0,370380	0,006649 + j 0,025136
1-3	16,633911 + j 13,847255	0,674266 - j 0,340710
2-3	17,100190 + j 13,476380	0,881059 - j 0,414*89

Для рассматриваемой ЭЭС обобщенное выражение, вытекающее из теоремы Телледжена, будет иметь следующий вид:

$$\dot{U}_0 \dot{I}_0 + \sum_{i=1}^3 \dot{U}_i \dot{I}_i = \sum_{i=1}^6 \dot{U}_i \dot{I}_i. \quad (6)$$

Пользуясь табл. 1, можно установить, что

$$\dot{U}_0 \dot{I}_0 + \sum_{i=1}^3 \dot{U}_i \dot{I}_i = 48,57654 + j 7,316860,$$

а затем из табл. 2 —

$$\sum_{i=1}^6 \dot{U}_i \dot{I}_i = 48,576520 + j 7,316800.$$

В результате получаем

$$\sum_{i=0}^3 \dot{U}_i \dot{I}_i - \sum_{i=1}^6 \dot{U}_i \dot{I}_i = 0 + j 0,$$

что и требовалось доказать.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Tellegen A. A. A general network theorem with application//Philips, res. rep. — 1952. — P. 259—269.*
2. *Хачатрян В. С., Эгмекчян Э. А. Метод коррекции установившихся режимов электрических систем//Электричество.—1987.—№ 3.—С. 6—14.*
3. *Хачатрян В. С. К вопросу об определении производных от потерь активной и реактивной мощности по активным мощностям станционных узлов//Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.—1970.—№ 2.—С. 101—108.*

ЕрПИ

№ 1. 1991

Изв. АН Армении (сер. ТИ), т. XLV, № 1—2, 1992, с. 35—40

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

УДК 621.382.2

Г. С. КАРАЯН, А. А. МАКАРЯН, А. Г. МАНУКЯН, И. Р. ОГАНЯН

ФОТОВОЗБУЖДЕНИЕ МОЩНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТОКА В ЧЕТЫРЕХСЛОЙНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ

Обсуждается возможность генерации мощных электрических колебаний в неоднородных (по типу проводимости) полупроводниковых структурах при воздействии постоянного оптического сигнала. Найденны выражения для периода колебаний, а также условия, налагаемые на параметры внешней цепи, обеспечивающие генерацию.

Ил. 3. Библиогр. 3 назв.

Քննարկվում է հազարգծիանութիան անհամասեմ կիսահաղորդչային կառուցվածքներում էլեկտրական հզոր տատանումների առաջացման հնարավորությունը հաստատուն օպտիկական ճառագայթման ազդեցության տակ: Գտնված են արտահայտություններ տատանման պարբերության համար, ինչպես նաև արտաքին շղթայի պարամետրերի վրա դրվող այն պայմանները, որոնք ապահովում են առաջացումը:

В электронике, в частности, оптоэлектронике, вычислительной технике и автоматике, успешно можно использовать явление генерации мощных электрических колебаний в неоднородных полупроводниковых структурах (ЦПС), индуцированных постоянным оптическим сигналом.

Рассмотрим простейшую четырехслойную *p-n-p-n*-структуру, модель которой показана на рис. 1. Пусть энергия фотона падающего света удовлетворяет условию

$$E_x - e l E_{cr} - kT < h\nu < E_x - kT, \quad (1)$$

где E_x — ширина запрещенной зоны, l — средняя длина свободного пробега носителей тока, E_{cr} — пороговое значение электрического поля в обратносмещенном переходе, обуславливающее край поглощения. Если среднее значение E электрического поля в обратносмещенном переходе превосходит E_{cr} , то фотоны поглощаются в объеме перехода, создавая электронно-дырочные пары. Фоторожденные электроны и

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Tellegen A. A. A general network theorem with application//Philips, res. rep — 1952. — P. 259—269.*
2. *Хачатрян В. С., Эгмекчян Э. А. Метод коррекции установившихся режимов электрических систем//Электричество.—1987.—№ 3.—С. 6—14.*
3. *Хачатрян В. С. К вопросу об определении производных от потерь активной и реактивной мощности по активным мощностям станционных узлов//Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.—1970.—№ 2.—С. 101—108.*

ЕрПИ

№ 1.1991

Изв. АН Армении (сер. ТИ), т. XLV, № 1—2, 1992, с. 35—40

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

УДК 621.382.2

Г. С. КАРАЯН, А. А. МАКАРЯН, А. Г. МАНУКЯН, И. Р. ОГАНЯН

ФОТОВОЗБУЖДЕНИЕ МОЩНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТОКА В ЧЕТЫРЕХСЛОЙНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ

Обсуждается возможность генерации мощных электрических колебаний в неоднородных (по типу проводимости) полупроводниковых структурах при воздействии постоянного оптического сигнала. Найдены выражения для периода колебаний, а также условия, налагаемые на параметры внешней цепи, обеспечивающие генерацию.

Ил. 3. Библиогр. 3 назв.

Քննարկվում է հազարգիտիչների անհամասեղ կիսահաղորդչային կառուցվածքներում էլեկտրական հզոր տատանումների առաջացման հնարավորությունը հաստատուն օպտիկական ճառագայթման ազդեցության տակ: Գտնված են արտահայտություններ տատանման պարբերության համար, ինչպես նաև արտաքին շղթայի պարամետրերի վրա դրվող այն պայմանները, որոնք ապահովում են առաջացումը:

В электронике, в частности, оптоэлектронике, вычислительной технике и автоматике, успешно можно использовать явление генерации мощных электрических колебаний в неоднородных полупроводниковых структурах (ЦПС), индуцированных постоянным оптическим сигналом.

Рассмотрим простейшую четырехслойную *p-n-p-n*-структуру, модель которой показана на рис. 1. Пусть энергия фотона падающего света удовлетворяет условию

$$E_x - e l E_{cr} - kT < h\nu < E_x - kT, \quad (1)$$

где E_x — ширина запрещенной зоны, l — средняя длина свободного пробега носителей тока, E_{cr} — пороговое значение электрического поля в обратносмещенном переходе, обуславливающее край поглощения. Если среднее значение E электрического поля в обратносмещенном переходе превосходит E_{cr} , то фотоны поглощаются в объеме перехода, создавая электронно-дырочные пары. Фоторожденные электроны и

дырки под влиянием электрического поля переходят в соседние для коллектора n - и p -области и уменьшают потенциальный барьер перехода, тем самым видоизменяя ВАХ структуры.

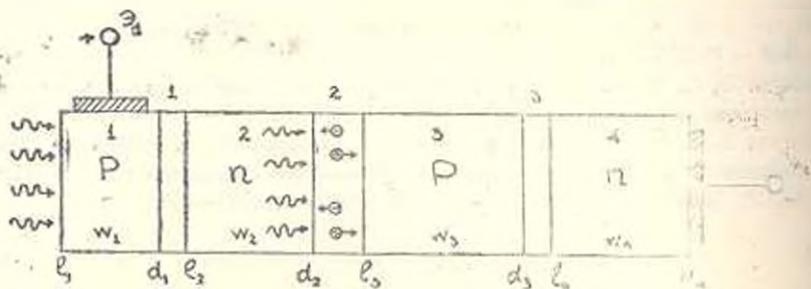


Рис. 1 Модель рассматриваемой структуры

Предположим, что интенсивность и частота света таковы, что ВАХ структуры при освещении принимает вид, показанный кривой 2 на рис. 2. Напряжение и нагрузочное сопротивление в внешней цепи можно выбрать так, чтобы нагрузочная линия имела вид кривой 3 на рис. 2. Тогда система без освещения имеет лишь одно стационарное состояние (точка $A(V_0, I_0)$). При освещении опять таки имеется одно стационарное состояние (точка $B(V_2, I_2)$). Состояние B может существовать при условии $E(B) \geq E_{кр}$, поэтому, если выбрать значение $E_{кр}$ таким, что $E(B) < E_{кр}$, состояние B запрещенное. Как показано на рис. 2, абсцисса точки B $V_2 \approx 1$ В, т. е. значение электрического поля мало и условие (1) не выполняется. Следовательно, система должна переходить в допустимое состояние, например, в соответствующее состояние на темновой ВАХ.

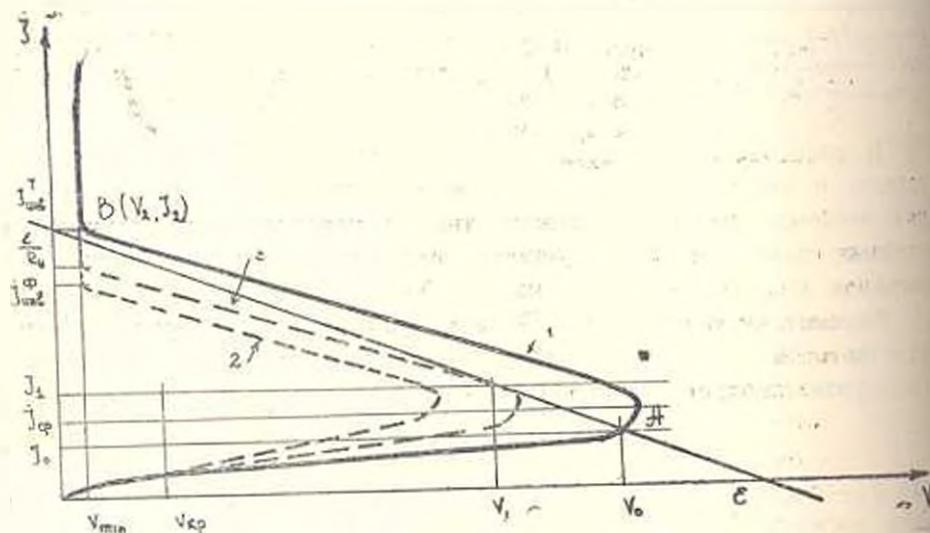


Рис. 2. Семейство ВАХ структуры при отсутствии (1) и наличии (2) и (3) освещения.

Под влиянием освещения система выходит из стационарного состояния A и (из-за отрицания состояния B) остается в динамическом режиме. Причем, напряжение на структуре все время остается больше некоторого критического напряжения $V_{кр}$, соответствующего электрическому полю $E_{кр}$. Во время нарастания напряжения на структуре оно достигнет некоторого значения V_1 (рис. 2), при котором нагрузочная линия касается одной кривой из семейства ВАХ при падении освещения. Очевидно, что амплитуда колебаний тока и напряжения соответственно равны

$$J_m = J_{кр} - J_1, \quad V_m = V_1 - V_{кр}. \quad (2)$$

Расчеты проведем для симметричной структуры ($i_1 = i_2$, $\beta_1 = \beta_2$, $\xi_1 = \xi_2$, $W_1 = W_2$, $V_1 = V_2$), ВАХ которой при $eV_2 > kT$ можно описать системой уравнений [1, 2]

$$\begin{cases} J = I_1 (\xi_1 - 1) - i_1 \xi_1 V \xi_1, \\ J = 2i_1 \beta_2 (\xi_1 - 1) - \frac{V_2}{r_2} + j_\phi, \\ V = V_1(J), \end{cases} \quad (3)$$

где $i_1 = \exp \left\{ \frac{eV_1}{kT} \right\}$, $j_\phi = \int_{i_1}^{g_2} e g dx$.

Здесь g —скорость фотогенерации носителей, i_1 —ток насыщения эмиттера, β_2 —коэффициент переноса неосновных носителей через вторую базу.

Во втором уравнении системы (3) пропущен член, связанный с фотогенерированными электронами и дырками, проходящими над барьером коллектора в соседние p - и n -области соответственно, а в первом—член, обусловленный переносом этих же носителей к эмиттерному переходу, поскольку они пренебрежимо малы.

Параметры J_1 и V_1 можно определить из условия, что нагрузочная линия является касательной к кривой $V(J)$ в точке (V_1, J_1) . В результате получается

$$J_1 = \frac{i_1 \delta_1^2}{4} \left[\left(\frac{2\beta_2}{\beta_2 - R_n} \right)^2 - 1 \right], \quad V_1 = z - \frac{R_n i_1 \delta_1^2}{4} \left[\left(\frac{2\beta_2}{\beta_2 - R_n} \right)^2 - 1 \right].$$

Используя эти формулы и зависимость $V(J)$, можно получить минимальное значение фототока $J_{кр}$, когда начинается лавинная генерация:

$$J_{кр}^{\phi} = \frac{i_1 \delta_1^2}{4} \cdot \frac{\left(1 + \frac{R_n}{r_2} \right)^2}{\frac{\beta_2}{\beta_2 - R_n} - \frac{z}{r_2}}$$

Для определения минимального значения напряжения $V_{кр}$ предположим, что максимальное по времени электрическое поле в коллекторе $E_{max} = a^{-1} V \bar{V}_1$ уменьшается в n раз, т. е. $E_{кр} = E_{max} \cdot n^{-1}$, где $a = [2\epsilon\epsilon_0 x_2 x_3 (x_2 + x_3)^{-1} e^{-1}]^{1/2}$, x_2 — концентрация примесей в k -ой базе. Тогда $V_{кр} = \frac{V_1}{n^2}$, а для максимального значения тока $J_{кр}$ получаем

$$J_{кр} = i_1 \left(\beta_2^2 i_1^2 - \frac{\beta_2^2 V_{кр}}{i_1 r_2} + 2\beta_2 \delta_1 \sqrt{\frac{\delta_1^2}{4} - \frac{\beta_2^2 V_{кр}}{i_1 r_2}} \right).$$

Из системы (3) легко получить формулы для тока и напряжения срыва

$$J_{ср}^{\Phi} = J_{ср}^T = \frac{i_1 \delta_1^2}{4} \left[\left(\frac{2\beta_2}{\beta_2^2} \right)^2 - 1 \right], \quad (4)$$

$$V_{ср}^{\Phi} = V_{ср}^T - r_2 J_{ср}^{\Phi} = r_2 \frac{i_1 \delta_1^2}{4\beta_2^2} - r_2 J_{ср}^{\Phi} \quad (5)$$

где $\beta_2^* = 2\beta_2 - 1$, а индексы „Т“ или „Ф“ означают, что данная величина относится к ВАХ без освещения или при наличии освещения. Соотношения (4) и (5) показывают, что под влиянием света ток срыва не меняется, а напряжение линейно уменьшается в зависимости от фототока. Из той же системы уравнений (3) можно найти ток инверсий

$$J_{инв}^T = i_1 \delta_1^2 \frac{2\beta_2}{(\beta_2^*)^2} \quad (6)$$

$$J_{инв}^{\Phi} = \frac{\beta_2 i_1 \delta_1^2}{(\beta_2^*)^2} \left[1 - \frac{\beta_2 J_{\Phi}}{\beta_2 i_1 \delta_1^2} + \sqrt{1 - \frac{4\beta_2^2 J_{\Phi}}{i_1 \delta_1^2}} \right].$$

Найденные значения величины (4)–(6) дают возможность выбрать параметры внешней цепи

$$\frac{V_{ср}^{\Phi} - V_{min}}{J_{инв}^{\Phi} - J_{ср}} < R_p < \frac{V_{ср}^T - V_{min}}{J_{инв}^T - J_{ср}},$$

$$\frac{V_{ср}^{\Phi} J_{инв}^T - V_{min} J_{ср}}{J_{инв}^T - J_{ср}} < \xi < \frac{V_{ср}^T J_{инв}^{\Phi} - V_{min} J_{ср}}{J_{инв}^{\Phi} - J_{ср}}.$$

Обычно значение V_{min} имеет порядок ~ 1 В.

Для оценки частоты колебаний, следуя [1, 3], вычислим время переключения $\tau_{ск}$ из состояния (V_1, J_1) в $(V_{кр}, J_{кр})$ под влиянием фотоимпульса, т. к. g имеет инд. показанный на рис. 3, а для нулевого приближения

$$J_0 = e g W_{переход} \approx e g W_{переход}^{ср} = e \sqrt{\frac{e g_0 (x_2 + x_3) e r_2 i_1 \delta_1^2}{2 x_2 \beta_2^2}}.$$

Тогда для $\tau_{\text{ак}}$ получаем следующее соотношение [1, 3]:

$$\tau_{\text{ак}} = \tau_n \ln \left\{ \frac{J_{\text{зд}} - J_1}{c} + 1 \right\}, \quad (7)$$

где введены обозначения

$$c = \frac{4\gamma^2 \tau_n \ln(2\gamma + \sqrt{4\gamma^2 - 1})}{\tau \sqrt{4\gamma^2 - 1}} J_{\Phi},$$

$$\gamma = \left(1 + \frac{R_2}{r_2}\right)^{-1}, \quad \frac{1}{\tau_n} = \frac{D}{W_2} \ln(2\gamma + \sqrt{4\gamma^2 - 1})^{-1}. \quad (8)$$

W_2 — ширина второй базы.

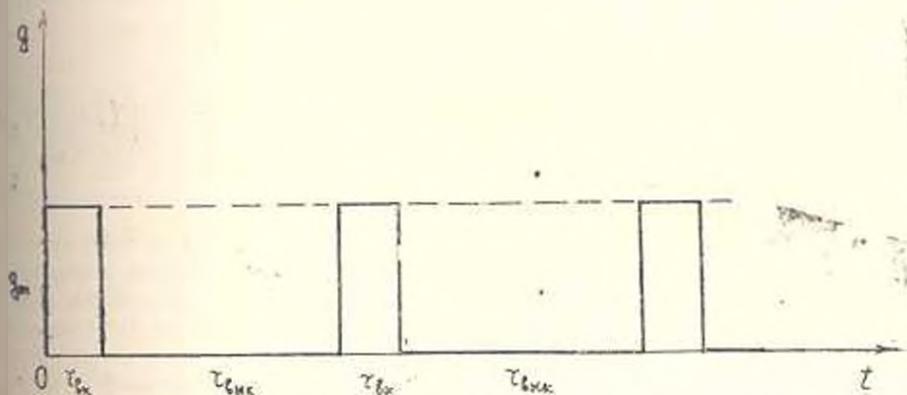


Рис. 3. Аппроксимация кривой скорости фотогенерации электронно-дырочных пар.

Формула (7) получена решением задачи переключения данной структуры, когда в функции $I(t)$ сохранен только монотонно возрастающий во времени член. Если считать, что время обратного перепада $\tau_{\text{ак}} \approx \delta \tau_{\text{ак}}$ (что обычно выполняется для тиристора), то для периода колебаний получим

$$T \approx 6\tau_{\text{ак}}. \quad (9)$$

Из уравнений (7) — (9) вытекает, что частота электрических колебаний зависит от амплитуды колебаний тока, а также интенсивности света S : с ростом амплитуды колебаний тока частота уменьшается, а рост фототока увеличивает частоту. Для выбранного значения критического поля $E_{\text{кр}}$ пороговая частота падающего света, вызывающего генерацию электрических колебаний, задается формулой

$$\nu_{\text{порог}} \approx \frac{1}{h} (E_{\text{к}} - kT - eIE_{\text{кр}}).$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Керман Г. С., Физические свойства неоднородных полупроводниковых структур // ФТП. — 1985. — № 7. — С. 1367.

2. Караян Г. С., Давидян А. А., Асатрян Р. С. Теоретическое исследование некоторых характеристик фотополупроводников // Изв. АН Арм. ССР. Сер. Физика — 1985. — № 2. — С. 85—90.
3. Чалогов В. Е., Елсеян Ю. А. Физические основы работы силовых полупроводниковых приборов. — М.: Энергия, 1973. — 280 с.

ЕрГУ, ИРФЭ АН Армения

3. IX 1990

Изв. АН Армения (сер. ТН), т. XLV, № 1—2, 1992, с. 40—41

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.383.33.639.014

Г. А. МАКАРЯН, А. А. ВАРДАНИЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОНИКАЮЩЕЙ РАДИАЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ СИЛОВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ СЕРИИ 2ТН ДЛЯ БОРТОВОЙ ТЕХНИКИ

Рассматривается радиационная стойкость силовых биполярных транзисторов серии 2ТК. Определены основные изменения статических параметров транзисторов после облучения γ -излучением и нейтронами. Разработаны методы определения коэффициента усиления и стабилизации параметров статического коэффициента усиления транзистора и коэффициента передачи. Определены константы деградации. Даны рекомендации по повышению радиационной стойкости силовых биполярных транзисторов.

Ил. 3. Таблицы: 6 шт.

Փնտրվում է 2ТК սերիայի էլեկտրոնային սրտեղիանորմերի համազարգացման հարմարեցման հարցը. որոշված է արմատադրի ֆիզիկական ստատիկ պարամետրերի ճիշտությամբ տվյալների փոփոխությունը զամբա շահաներով և էկստրաներով համազարգացման մշակման և նոր սեռուղան միաներով, որոնք և անոյն գնահատելու հասանելի փոփոխման ստատիկ գործակցի և կոնկրետ-կոնկրետի հաղցման շարժան փոփոխությունները արհեստագործականը: Իրոշված են անոյն հաշվարկային հաստատունները: Զորված են էլեկտրոնային սրտեղիանորմերի համազարգացման կարևորագույնը բարելավելու ուղիները:

Изменения статических параметров силовых биполярных транзисторов после облучения носят сложный характер. Структурные радиационные нарушения, возникающие под действием проникающего излучения, обуславливают устойчивые изменения статических характеристик транзисторов. Изменения этих параметров после воздействия облучения объясняется уменьшением времени жизни носителей заряда (НЗ) в базовой области транзисторной структуры (ТС). Радиационная стойкость маломощных транзисторов подробно исследована в [1]. Силовые транзисторы, рассчитанные на большие токи (от 30 А до 250 А), мало изучены.

Исследуемые транзисторные ключи (ТК) разрабатывались в двух исполнениях: в первом исполнении это четыре параллельно включенные ТС, а во втором это двухкаскадный транзистор Дарлинг-

тона. ТК первого и второго исполнений соответственно предназначены на постоянный ток коллектора до 250 А и 100 А при постоянном напряжении коллектор-эмиттер 150 В и 300...400 В.

Основным элементом вышеуказанных ТК являются идентичные круглые тестовые ТС с диаметром 16 мм, изготовленные по базовой технологии методом тройной односторонней диффузии алюминия, бора и фосфора в n -слой обращенных эпитаксиальных $n-p^+n$ структур.

Полученные ТК подвергались гамма- (γ) и нейтронному (n) облучению. Доза гамма-облучения составляет 10^{11} р.с $^{-1}$, а интегральный поток нейтронов — $\Phi = 10^{13}$ н.см $^{-2}$ при энергии $E = 0,1$ МэВ. После облучения параметры ТК значительно меняются из-за образования радиационных дефектов в функциональных областях ТС. Ухудшаются статические параметры — коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером $h_{21э}$, и напряжение насыщения коллектор-эмиттер $U_{наэ}$, изменение которых обусловлено снижением времени жизни неосновных ПЗ. Графики зависимости коэффициента $h_{21э}$ от коллекторного тока I_c , а также вольт-амперные характеристики (ВАХ) при разных базовых токах I_b после радиационного воздействия приведены на рис. 1—3.

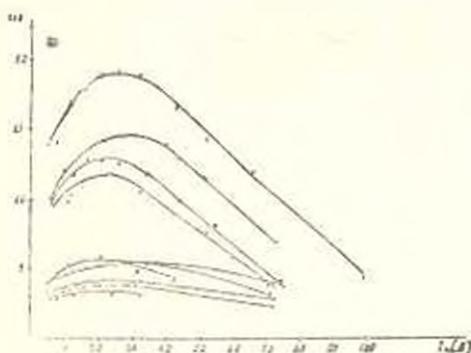


Рис. 1. Кривые зависимости $h_{21э} = f(I_c)$ при $U_{наэ} = 5$ В для ТК: х — соответствует ТК второго исполнения, а о — первого исполнения.

После облучения у ТК обоих исполнений значения коэффициентов усиления уменьшаются по сравнению со значениями $h_{21э}$ до облучения (рис. 1). Аналогично, для ТК второго исполнения коэффициент усиления по току во всем интервале от 40 А до 250 А на два порядка больше, чем у ТК первого исполнения. Отношение значений $h_{21э}$ ТК обоих исполнений после специального воздействия приближаются и становятся порядка 3—4 (рис. 1), что подтверждается также исследованиями [2].

В рамках работы был разработан новый теоретический механизм, позволяющий без разрушения ТК рассчитать основные электрические параметры ТС. Согласно этому механизму изменение электрических параметров транзисторного ключа после специального воздействия обусловлено соответствующими изменениями параметров отдельных транзисторных структур, входящих в состав ключа. По результатам

экспериментального исследования характеристик транзисторных ключей вычисляются электрические параметры отдельных ТС.

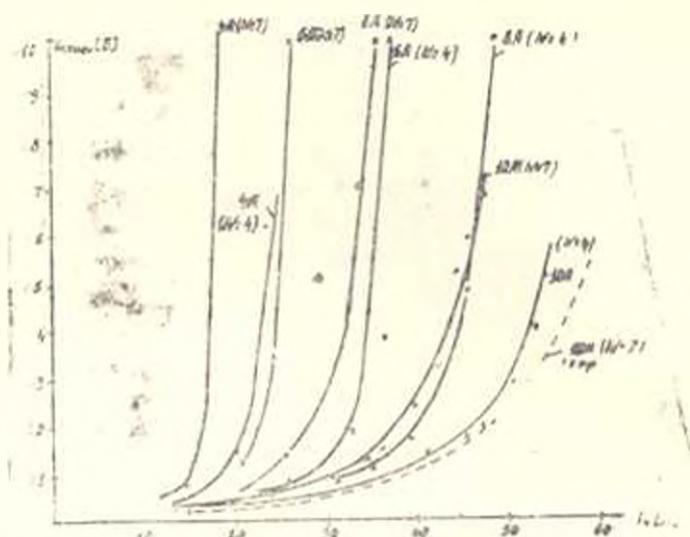


Рис. 2 ВЛХ ТК первого исполнения № 4 и 7 при разных базовых токах. Пунктирная линия соответствует теоретической кривой при $I_b = 10$ А для ТК № 4

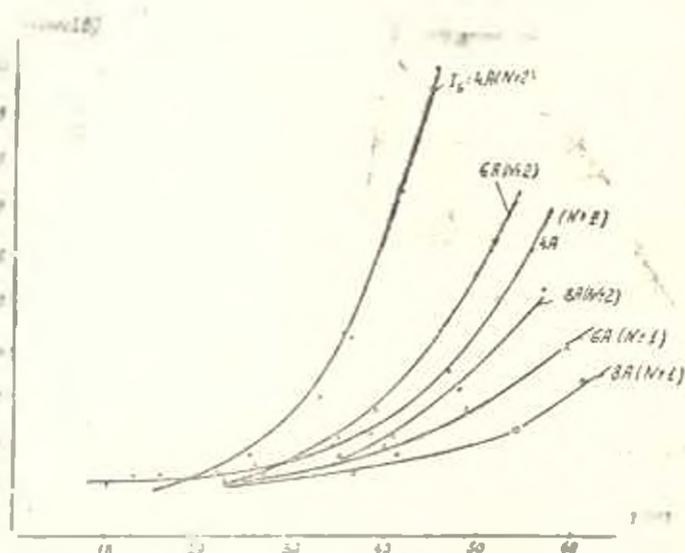


Рис. 3 ВЛХ двух ТК второго исполнения № 1 и 2 при разных базовых токах $I_b = 4$ А.

Для напряжения насыщения коллектор-эмиттер одиночной транзисторной структуры типа $n^+ - p - n - n^+$ согласно [3, 4] справедливо выражение

$$U_{c, \text{нас}} = I_c R_c \left(1 - \frac{\alpha_1}{W}\right), \quad (1)$$

где α_1 определяется соотношениями

$$\operatorname{ch} a x_1 = (c + 1) \frac{I_p}{I_c} + 1, \quad a^2 = \frac{c + 1}{2\tau_p D_p} \quad (2)$$

Здесь I_c — ток коллектора в режиме насыщения, R_c — сопротивление немодулированного коллекторного слоя, x_1 — толщина коллекторного слоя, модулированная неравновесными НЗ, W — толщина коллекторного слоя, $c = \frac{\mu_n}{\mu_p}$ — отношение подвижности электронов и дырок, τ_p — время жизни дырок в коллекторном слое.

Для дырочного тока I_p в точке $x = 0$ (этой точке соответствует коллекторный переход) на основании [5] находим

$$I_p = \frac{h_{21s}^0 I_B - I_c}{h_{21s}^0 + 1} \quad (3)$$

где I_c — базовый ток, h_{21s}^0 — максимальный коэффициент усиления по току или коэффициент усиления по току в граничной точке. Подставив (3) в (2), получим

$$\frac{\eta - 1}{h_{21s}^0 + 1} (c + 1) + 1 = \operatorname{ch} \left[\left(\frac{c + 1}{2c} \right)^{1/2} \frac{x_1}{L} \right] \quad (4)$$

где $\eta = h_{21s}^0 I_B / I_c$ — глубина насыщения, $L = \sqrt{\tau_p D_p}$ — длина диффузии дырок в коллекторном слое.

Заметим, что при получении (1) пренебрегается падением напряжения на p - n -переходах по сравнению с падением напряжения на высокоомном слое коллектора.

Согласно (1) и (4) рассчитаны ВАХ первого исполнения. Предполагается, что после воздействия радиации изменениями концентрации и подвижности основных НЗ можно пренебречь. При коллекторном токе I_c для ТК первого исполнения напряжение насыщения ТС вычисляется при токе $I_B = 4$, т. к. ТК первого исполнения состоит из четырех параллельно соединенных структур. На рис. 2 показаны также теоретические и экспериментальные зависимости ВАХ ТК № 4 после облучения при базовом токе $I_B = 10 \text{ А}$.

Одной из важнейших характеристик силовых транзисторов является коэффициент h_{21s} , в связи с чем скорость деградации этой характеристики после воздействия радиации приобретает первостепенное значение. Рассмотрим зависимость константы K_R радиационного изменения коэффициента h_{21s} от коллекторного тока I_c для ТС, где $K_R = (1/h_{21s} - 1/h_{21s0}) \Phi$, а h_{21s} , h_{21s0} — значения коэффициента усиления по току, измеренные при фиксированном напряжении коллектор-эмиттер $U_{кэ} = \text{const}$. Из (1) и (4) при условиях $L > x_1$ и $U_{кэ} = \text{const}$ для K_R получается выражение

$$K_R = K_B = \frac{I_{c0}}{I_c} \left(1 - \frac{I_c}{I_{c1}} \right)^2 K_2, \quad I_c > I_{c1}, \quad I_c < I_{c1}, \quad (5)$$

где $A_B = (1/A_{21}^0 - 1/A_{21}^0)^2$ определяется согласно [6] радиационными процессами в активной базе и слое пространственного заряда эмиттерного перехода, $t_{01} = W^2 / D$ — время пролета НЗ через коллекторный слой, $I_{c1} = U_{c2} S_{c1} / R$ — коллекторный ток насыщения в граничной точке, ρ — удельное сопротивление коллекторного слоя, S_e — площадь эмиттера, $K = (1/\epsilon - 1/\epsilon_0) \Phi$ — коэффициент радиационного изменения времени жизни дырок в коллекторном слое.

Согласно (5) радиационное изменение коэффициента A_{21} в режиме насыщения определяется, в основном, параметром коллекторного слоя $W^2(1/D - 1/L_0^2)$, уменьшением которого улучшаются электрические характеристики ТС после специального воздействия. Это приводит к сужению области насыщения, в связи с чем радиационные изменения в режиме насыщения уменьшаются. Следовательно некоторыми из технологических решений, необходимых для получения специальной стойкости ТС, являются условия $W^2(1/D - 1/L_0^2) \ll 1$ и $I_{kc} \approx I_{c1}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коршунов Ф. П., Гитальский Г. В., Иванов Г. М. Радиационные эффекты в полупроводниковых приборах. — Минск: Наука и техника, 1978 — 232 с.
2. Авалян Р. В., Варданян А. А., Киракосян Г. Г., Шаболян А. С., Соловьев твердотельные транзисторные ключи с многокаскадным усилением // Изв АН АрмССР, Сер. ТН, — 1990. — Т. XI. III, № 5. — С. 220 — 225.
3. Пуклянец К. Б., Бингелис А. Ю. Расчет напряжения насыщения мощных высоковольтных $n-p-n-p$ -транзисторов // Электронная техника, Сер. 2. Полупроводниковые приборы, — 1990. — Вып. 2 (137). — С. 68 — 73.
4. Варданян А. А. Расчет и конструирование силовых транзисторных ключевых элементов. — Ереван: Меганарт, 1991. — 201 с.
5. Кремниевые планарные транзисторы / Под ред. Я. А. Федотова. — М.: Сов. радио, 1973. — 273 с.
6. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники / Под ред. Е. А. Ладыгина. — М.: Сов. радио, 1980. — 315 с.

УДК 532.546

С. М. КАЗАРЯН, Э. К. МУРАДЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСЛОЙНОЙ ТОЛЩИ ПО ДАННЫМ ОПЫТНЫХ ОТКАЧЕК

Рассматривается задача определения гидродинамических параметров двухслойного гидравлически связанного водоносного горизонта и его разделяющего слоя. Используя данные опытных откачек и расчетные формулы для определения давления в напорных горизонтах при различных режимах и малых временах откачки воды из этих горизонтов, получены формулы для определения всех гидродинамических параметров. Эти параметры можно применять для различных прямых задач гидродинамики.

Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

Գիտարկվում է ճշգրտագրված կապի մեջ գտնվող երկու ջրատար շերտերի և նրանց բաժանող թաղանթի ջրապահունակության որոշման խնդիրը։ Օգտվելով փորձային ջրհանման աղյուսների և փոքր ժամանակների խառնուրդի չափումներից, ստացվում են հաշվարկային տարրեր ուժիմունքով բնական պայմաններում ճշգրտվող հաշվարկային բանաձևեր, օգտագործվում է մեթոդ հաշվարկի բանաձևերի թույլ պարամետրերի որոշման համար։ Վերջիններս կարող են եզրագրվել ֆիզիոլոգիկալ կապի տարրեր ուղիղ խնդիրը լուծելու։

Современные методы определения гидродинамических параметров базируются на уравнениях неустановившегося движения подземных вод. В данной работе приведена методика расчета параметров трехслойной фильтрующей толщи по данным опытных откачек. В основу методики положены зависимости, полученные в результате аналитических решений задач неустановившейся фильтрации [1, 2], которые для малых времен откачки без учета инфильтрации при различных режимах из водоносных горизонтов приводятся в [3]. Для случая одной наблюдательной скважины в схеме опытного куста (рис.) включены три центральные и одна наблюдательная скважина.

При откачке из двух горизонтов через центральную скважину (рис.) расчетные формулы записываются в виде [2]

$$S_i''(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} R_i^{(i)}(r, t) - \frac{\Delta H}{T} T_i R_{iM}^{(i)}(r, t), \quad (i = 1, 2)$$

$$S_{1,2}(r_0, t) = \frac{Q}{4\pi T} R_M(r_0, t) \mp \frac{\Delta H}{T} T_{2,1}$$

$$S_2(r_0, t) = S_1(r_0, t) + \Delta H,$$

где

$$R_{iM}^{(i)}(r, t) = -Ei\left(-\frac{r^2}{4t_i t}\right) - \frac{A^0 B^0 h_i}{2(A^0 - 1)} \varphi_i\left(\frac{r^2}{A^0 a_i}, t\right),$$

$$R_{1M}^{(2)}(r, t) = a_r r_1^* \operatorname{Erf} \left(\sqrt{\frac{r^2}{4a_1 t}} \right) - \frac{2A^0 + a_r(A^0 - B^0)}{2(A^0 - 1)} \times$$

$$\times b_1 r_1^* \varphi_1 \left(\frac{r^2}{A^0 a_1}, t \right),$$

$$R_{2M}^{(1)}(r, t) = \frac{A^0 + B^0}{2(A^0 - 1)} b_1 \varphi_1 \left(\frac{r^2}{a_1}, t \right) - \operatorname{Ei} \left(-\frac{r^2}{4A^0 a_1 t} \right),$$

$$R_{2M}^{(2)}(r, t) = \frac{A^0 r_1^*}{2(A^0 - 1)} b_1 \varphi_1 \left(\frac{r^2}{a_1}, t \right) - r_1^* \operatorname{Ei} \left(\sqrt{\frac{r^2}{4A^0 a_1 t}} \right), \quad (2)$$

$$R_M(r_0, t) = \ln \frac{2,25 A^0 a_1 t}{r_0^2} = -\operatorname{Ei} \left(-\frac{r_0^2}{4A^0 a_1 t} \right).$$

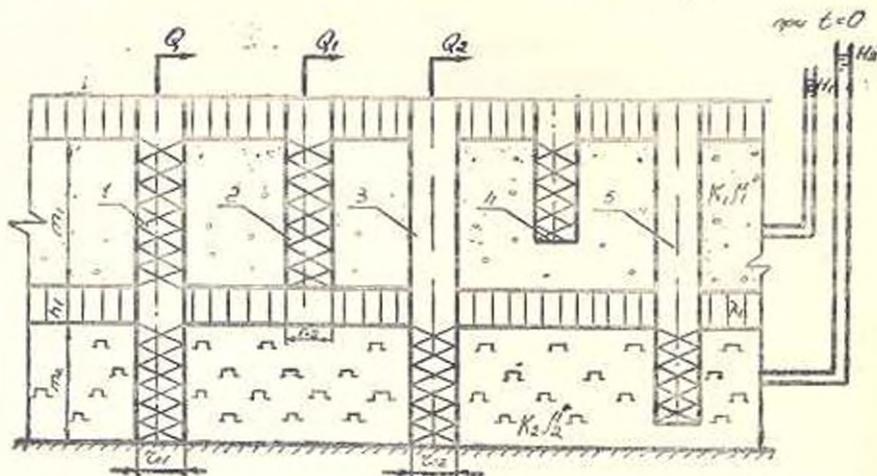


Рис.

При откачке из верхнего водоносного горизонта через центрального скважину 2 с расходом Q_2 расчетные формулы имеют вид [3]

$$S_{iM}^0(r, t) = \frac{Q_i}{4\pi T_1} R_{iM}^1(r, t), \quad (i = 1, 2), \quad (3)$$

$$S_{iM}^0(r_0, t) = \frac{Q_i}{4\pi T_1} R_M^0(r_0, t),$$

где

$$R_{1M}^1(r, t) = -\operatorname{Ei} \left(-\frac{r^2}{4a_1 t} \right) + \frac{A_1^0}{2N_0} b_1 \varphi_1 \left(\frac{r^2}{A^0 a_1}, t \right),$$

$$R_{2M}^1(r, t) = \frac{B^0}{N^0} b_1 \left[\left(\frac{r^2}{a_1}, t \right) - \varphi_1 \left(\frac{r^2}{A^0 a_1}, t \right) \right], \quad (4)$$

$$R_M^0(r_0, t) = -\operatorname{Ei} \left(-\frac{r_0^2}{4a_1 t} \right) = \ln \frac{2,25 a_1 t}{r_0^2}.$$

При откачке из нижнего водоносного горизонта через центральную скважину 3 с расходом Q_2 расчетные формулы имеют вид [3]

$$S_{1M}^H(r, t) = \frac{Q_2}{4\pi T_2} R_{1M}^H(r, t), \quad (i = 1, 2),$$

$$S_{2M}^H(r_0, t) = \frac{Q_2}{4\pi T_2} R_{2M}^H(r_0, t), \quad (5)$$

где

$$R_{1M}^H(r, t) = \frac{A^0 b_1}{N^0} \left[\varphi_1 \left(\frac{r^2}{a_1}, t \right) - \varphi_1 \left(\frac{r^2}{A^0 a_1}, t \right) \right],$$

$$R_{2M}^H(r, t) = \frac{A_1^0}{2H^0} b_1 \varphi_1 \left(\frac{r^2}{a_1}, t \right) - \text{Ei} \left(\frac{r^2}{4A^0 a_1 t}, t \right), \quad (6)$$

$$R_{2M}^H(r_0, t) = -\text{Ei} \left(-\frac{r_0^2}{4A^0 a_1 t} \right) = \ln \frac{2,25 A^0 a_1 t}{r_0^2}.$$

В (1)–(6) введены обозначения: Ei — название интегральной показательной функции; Erf — интеграл вероятности (функция ошибок Гаусса); $\varphi \left(\frac{r^2}{a_i^2}, t \right)$ — вновь табулированные функции [1]; a_i — коэффициент проницаемости верхнего ($i = 1$) и нижнего ($i = 2$) напорных слоев; b_i — коэффициент перетекания; $S_i(r, t)$ — понижения уровня подземных вод на расстояние r от скважины в первом и втором напорных водоносных слоях в момент времени t ; m_i, K_i, μ_i^* — соответственно мощности, коэффициенты фильтрации и упругой подотдачи для водоносных слоев; h_i, λ_i — мощности и коэффициенты фильтрации раздельного слоя:

$$A^0 = \frac{\mu_2}{a_1}, \quad A_1^0 = A^0 - B^0, \quad B^0 = \frac{b_2}{b_1}, \quad N^0 = A^0 - 1, \quad a^0 = A^0 + 1,$$

$$B_1^0 = B^0 + 1, \quad A_2^0 = A^0 + B^0, \quad \tau = b_1 t, \quad a_i = \left(\frac{km}{\mu^0} \right)_i, \quad b_i = \frac{\lambda_i}{h_i \rho_i}$$

$$A_2^0 = A^0 - B^0(1 + \sigma_T), \quad a_2 = \frac{T_2}{T_1}, \quad T = T_1 + T_2, \quad T_i = (km)_i,$$

$$r' = r - r_0, \quad r_1^* = \sqrt{\frac{r}{T_0}}, \quad r^* = (r - r_0) \sqrt{A^0}, \quad r_2^* = r_1^* \sqrt{A^0}.$$

Из системы (1) имеем

$$T = \frac{Q}{4\pi} \frac{\ln(t_2/t_1)}{S(r_0, t_2) - S_2(r_0, t_1)} = \frac{Q}{4\pi} \frac{\ln(t_2/t_1)}{S_1(r_0, t_2) - S_1(r_0, t_1)}, \quad (7)$$

а из (3) и (5) получаем

$$T_1 = \frac{Q_1}{4\pi} \frac{\ln(t_2/t_1)}{S_1(r_0, t_2) - S_1(r_0, t_1)}, \quad T_2 = \frac{Q_2}{4\pi} \frac{\ln(t_2/t_1)}{S_2(r_0, t_2) - S_2(r_0, t_1)} \quad (8)$$

Для контроля определенных T_1 , T_2 и T имеет место выражение

$$T = T_1 + T_2.$$

Подставляя найденные значения T_1 , T_2 и T в систему (1), определяем

$$A^0 a_1 = \frac{r_0^2}{2,25 t_1} \exp \left\{ \left[S_{1,2}(r_0, t_1) \pm \frac{\Delta H}{T} T_1 \right] \frac{4\pi T_1}{Q_1} \right\}. \quad (9)$$

С другой стороны из (5) и (6) имеем

$$A^0 a_1 = \frac{r_{25}^2}{2,25 t_1} \exp \left[S_{2M}^0(r_{25}, t_1) \frac{4\pi T_2}{Q_2} \right], \quad (10)$$

а из (4) —

$$a_1 = \frac{r_{02}^2}{2,25 t_1} \exp \left[S_{2M}^0(r_{01}, t_1) \frac{4\pi T_1}{Q_1} \right]. \quad (11)$$

Далее из (3) и (5) получим

$$\begin{aligned} \frac{S_1^0(r_{21}, t_1)}{S_1^0(r_{25}, t_1)} &= \frac{\varphi_1(r_{21}^2/a_1, t_1) - \varphi_1(r_{21}^2/A^0 a_1, t_1)}{\varphi_1(r_{25}^2/a_1, t_1) - \varphi_1(r_{25}^2/A^0 a_1, t_1)}, \\ \frac{S_2^0(r_{25}, t_1)}{S_2^0(r_{25}, t_1)} &= \frac{\varphi_1(r_{25}^2/a_1, t_1) - \varphi_1(r_{25}^2/A^0 a_1, t_1)}{\varphi_1(r_{25}^2/a_1, t_1) - \varphi_1(r_{25}^2/A^0 a_1, t_1)}. \end{aligned} \quad (12)$$

По первой и второй уравнений системы (12) и по значению $A^0 a_1$ путем подбора определяется параметр a_1 и берется его среднее значение с учетом (11). Из (9) с учетом (11) и (12) получим значения A^0 .

Далее из системы (3) определяется

$$b_2 = \frac{4\pi T_2 N^0}{Q_1} \frac{S_{2M}^0(r_{25}, t_1)}{\varphi_1\left(\frac{r_{25}^2}{a_1}, t_1\right) - \varphi_1\left(\frac{r_{25}^2}{A^0 a_1}, t_1\right)}. \quad (13)$$

Из системы (5) имеем

$$b_1 = \frac{4\pi T_1 N^0}{Q_2 A^0} \frac{S_1^0(r_{24}, t_1)}{\varphi_1\left(\frac{r_{24}^2}{a_1}, t_1\right) - \varphi_1\left(\frac{r_{24}^2}{A^0 a_1}, t_1\right)}, \quad (14)$$

а из (3) и (5) —

$$b_1 = \left[S_1^0(r_{24}, t_1) \frac{4\pi T_1}{Q_1} + \text{Ei} \left(-\frac{r_{24}^2}{4a_1 t_1} \right) \right] \frac{2N^0}{A_1^0 \varphi_1\left(\frac{r_{24}^2}{A^0 a_1}, t_1\right)}, \quad (15)$$

$$b_2 = b_1 A^0 \frac{2N^0}{\varphi_1\left(\frac{r_{25}^2}{a_1}, t_1\right)} \left(\frac{4\pi T_2}{Q_2} S_2^0(r_{25}, t_1) + \text{Ei} \left(-\frac{r_{25}^2}{4A^0 a_1 t_1} \right) \right). \quad (16)$$

В (13) и (16) $r_{24,25}$ и $r_{31,32}$ — расстояния соответственно между контрольными (2, 3) и наблюдательными (4, 5) скважинами.

Для проверки достоверности из (3) и (5) определяются значения T_1 и T_2 :

$$T_1 = \frac{Q_1}{4\pi S_1^0(r_{31}, t_1)} R_1^0(r_{24}, t_1) = \frac{Q_1}{4\pi S_2^0(r_{25}, t_1)} R_2^0(r_{31}, t_1). \quad (17)$$

$$T_2 = \frac{Q_2}{4\pi S_1(r_{31}, t_1)} R_1^0(r_{24}, t_1) = \frac{Q_2}{4\pi S_2(r_{25}, t_1)} R_2^0(r_{31}, t_1). \quad (18)$$

Далее по данным h_2 и b_1 определяем B^0 и следующие параметры:

$$K_1 = \frac{T_1}{m}, \quad \sigma_1^* = \left(\frac{k\pi}{\omega_1} \right)_1, \quad b_1 h_1 \sigma_1^* = b_2 h_2 \sigma_2^* = T_2.$$

Указанные комплексы и параметры можно определить по данным опытных кустов, в состав которых входят две наблюдательные скважины в каждом напорном слое.

Предлагаемый метод определения гидродинамических параметров является наиболее приемлемым, а результаты этих данных вполне достоверны для их использования при решении прямых задач гидродинамически подземных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казарян С. М. Водный обмен на фоне вертикального дренажа.—Ереван: АИИ, 1988.—268 с.
2. Казарян С. М., Мурадян Э. К. Движение подземных вод к скважине в слоистой толще без инфильтрации при откачке из верхнего и нижнего водоносных горизонтов//Изв. АН Армянн. Сер. ТН.—1991.—Т. XLIV, № 1.—С. 30—34.
3. Мурадян Э. К. Фильтрация в многослойной толще без инфильтрации при малых и больших временах откачки через скважины из водоносных горизонтов//Изв. АН Армянн. Сер. ТН.—1991.—Т. XLIV, № 3.—С. 136—141.

УДК 532.542

Р. М. РАФАЭЛЯН, Э. П. АЦИЯՆՑ, А. С. МЕЛИКЯՆ

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ И ОПОРОЖНЕНИИ ТРУБОПРОВОДА

Получены аналитические зависимости для определения неустановившегося процесса заполнения и опорожнения трубопровода.

Предлагаются простые формулы для определения времени заполнения и опорожнения трубопровода с учетом гидравлических сопротивлений.

Ил. 3. Библиогр.: 6 назв.

Գիտարկվող խնդիրն առաջանում է ճնշումային խողովակների շահագործման ժամանակ, որոնց միջոցով կատարվում է որոշակի հեռավորության վրա տեղադրված ավտոմատ սարքերի կառավարումը:

Առաջված բաղաձեռն ճնարկությունն էն տալիս հաշվելու խողովակի լցման և դատարկման տևողությունը՝ կախված խողովակի սկզբում և վերջում եղած ճնշման մեծությունից, խողովակի երկարությունից և ճիգրավչիկական առ մեծություններից:

Рассматриваемая задача возникает при эксплуатации напорных автоматизированных орошительных систем, включающих гидравлические линии, по которым осуществляется дистанционное управление элементов гидроавтоматики. Вопрос заполнения и опорожнения трубопровода исследован многими авторами [1—5]. Анализ этих работ показывает, что в них недостаточно выявлена динамика процесса с учетом гидравлических сопротивлений, а в некоторых случаях полученные решения неудобны для практических расчетов и не удовлетворяют граничным условиям.

Целью настоящей работы является уточнение метода расчета заполнения и опорожнения трубопровода, выявление качественных закономерностей движения.

На рис. 1 приведена расчетная схема для рассматриваемых случаев.



Рис. 1. Расчетная схема трубопровода.

Для описания процесса заполнения, исходя из характера движения, принимается модель несжимаемой жидкости. Дифференциальное

равнение, описывающее неустановившийся процесс заполнения трубы, имеет вид

$$x \frac{d^2 x}{dt^2} = gH - \frac{(\xi + 1)}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 - \frac{\lambda x}{2D} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 - xg \sin \alpha. \quad (1)$$

После преобразований уравнение (1) сводится к линейному дифференциальному уравнению

$$\frac{du}{dx} + f(x)u = \varphi(x), \quad (2)$$

общее решение которого равно

$$U = \frac{1}{x^B e^{kx}} \left[e^{kx} x_0 U_0 + \int_{x_0}^x \left(\frac{A}{x} - m \right) x^B e^{kx} dx \right], \quad (3)$$

где t — текущее время, x — координата перемещения переднего фронта воды, H — напор, ξ — коэффициент местного гидравлического сопротивления, λ — коэффициент гидравлического сопротивления по длине, D — диаметр трубопровода, α — угол наклона трубопровода,

g — ускорение силы тяжести, $f(x) = \frac{B}{x} + k$, $\dot{U} = \left(\frac{dx}{dt} \right)^2$, $m = 2g \sin \alpha$.

$$\varphi(x) = \frac{A}{x} - m, \quad A = 2gH, \quad B = \xi + 1, \quad k = \frac{\lambda}{D}.$$

После интегрирования при условии $x = x_0$, $u = u_0$ (3) и пренебрежении гидравлическими сопротивлениями ($\xi = 0$, $\lambda = 0$) получается зависимость, описывающая изменение скорости движения воды в процессе заполнения трубопровода

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{-mx^2 + 2Ax + 2x_0 u_0 - 2Ax_0 + mx_0^2}{2x}}. \quad (4)$$

а после интегрирования выражения (4) при $\xi = 0$, $\lambda = 0$ — закон движения переднего фронта воды в процессе заполнения трубопровода

$$x = \sqrt{2gH} t - \frac{g \sin \alpha}{4} t^2. \quad (5)$$

При учете гидравлических сопротивлений $\xi = \xi_{\text{ак}} + \frac{l_0}{2D}$:

$$x = \sqrt{\frac{2gH}{\xi + 1}} t - \frac{g \sin \alpha}{2(\xi + 2)} t^2. \quad (6)$$

где $\xi_{\text{ак}}$ — коэффициент местного гидравлического сопротивления, l_0 — длина трубопровода.

Как видно из выражения (6), движение жидкости в процессе заполнения трубы с точностью до постоянной совпадает с характером

движения твердого тела, брошенного вверх с начальной скоростью. Из уравнения (4) также следует, что максимальная высота подъема воды при мгновенном открытии сечения в начале трубопровода равна

$$x_{\max} = 2H. \quad (7)$$

Анализ уравнения (3) показывает, что в зависимости от параметров системы движение в трубопроводе может совершаться как апериодическим, так и колебательным образом, последний, в частности, подтверждается расчетным путем на ЭВМ (рис 2). Время полного заполнения трубопровода равно

$$T_{\text{пол}} = \frac{l_0 \sqrt{2}}{g \sin \alpha}$$

$$\times \left(\sqrt{z_{\text{из}} + \frac{2gl}{2D} + 1} - \sqrt{z_{\text{из}} + \frac{2gl}{2D} - 2 \frac{l_0 \sin \alpha}{2D}} \right) \quad (8)$$

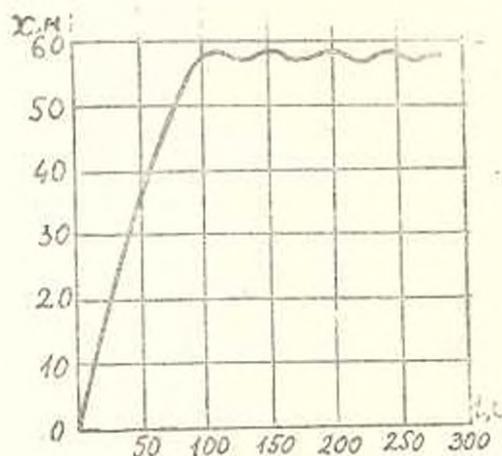


Рис 2. Координата движения переднего фронта воды в процессе заполнения трубопровода

При описании процесса опорожнения (рис. 1) предполагается, что первоначально трубопровод находится под давлением воды. На конце трубопровода напор равен h_0 , а в начале трубопровода ($x=0$) — $(H_0 + h_0)$, где H_0 — геодезическая высота подъема воды. Опорожнение трубопровода начинается при открытии затвора в начале трубопровода за промежуток времени $T_1 = l_0/a$, где a — скорость распространения упругих колебаний в трубопроводе.

Для определения изменения напора и скорости течения жидкости используются волновое уравнение для напора [6].

$$\frac{\partial^2 H}{\partial t^2} = u^2 \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} \quad (9)$$

и уравнение движения вида

$$\frac{\partial(H+z)}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} = 0, \quad (10)$$

где $\frac{\partial z}{\partial x} = \sin \alpha = \frac{H_0}{l_0}$.

Изменение пьанора в трубопроводе после открытия затвора описывается зависимостью

$$H(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(C_n \cos \frac{n\pi a t}{l} - D_n \sin \frac{n\pi a t}{l} \right) \sin \frac{n\pi x}{l}, \quad (11)$$

где

$$C_n = \frac{l}{l_0} \left(a_n \cos \frac{n\pi a T_2}{l_0} + b_n \sin \frac{n\pi a T_2}{l_0} \right),$$

$$D_n = \frac{2h_0 l^2 \cos n\pi}{a l_0^2 \pi^2 n^2} + \frac{l}{l_0} \left(b_n \cos \frac{n\pi a T_2}{l_0} - a_n \sin \frac{n\pi a T_2}{l_0} \right),$$

$$a_n = \frac{2A l_0}{T_2 a \pi^2 n^2} \sin \frac{n\pi a T_1}{l_0},$$

$$b_n = -\frac{2h_0 l_0 \cos n\pi}{T_2 a \pi^2 n^2} + \frac{2A l_0}{T_1 a \pi^2 n^2} \left(\cos \frac{n\pi a T_2}{l_0} - 1 \right),$$

$$A = H_0 + h_0, \quad T_1 = \frac{l_0}{a}, \quad T_2 = \frac{h_0 T_1}{l_0 + h_0}.$$

Имея $H(x, t)$, из уравнения (10) определяется соответствующее изменение скорости

$$\begin{aligned} V(x, t) &= \frac{g}{l_0} \left[T_2 \left(\frac{h_0}{2} - A \right) - \frac{A T_1}{2} \right] - g \sin \pi t + \\ &- \frac{2ag l_0}{T_1 n^2 \pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \left(\cos \frac{n\pi a T_1}{l_0} - 1 \right) \cos \frac{n\pi x}{l_0} - \\ &- \frac{g}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \sin \frac{n\pi a T_1}{l_0} - b_n \left(\cos \frac{n\pi a T_2}{l_0} - 1 \right) \right] \cos \frac{n\pi x}{l_0} - \\ &- \frac{g}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \left[C_n \sin \frac{n\pi a t}{l} - D_n \left(\cos \frac{n\pi a t}{l} - 1 \right) \right] \cos \frac{n\pi x}{l}. \quad (12) \end{aligned}$$

Входящая в выражения (11) и (12) длина колонны жидкости l в процессе опорожнения уменьшается. Если пренебречь влиянием упругости стенок трубопровода, то изменение по времени длины колонны определяется зависимостью

$$l = l_0 - \frac{K S \pi \alpha}{2(1 + \xi)} t^2 \quad (13)$$

откуда время полного опорожнения трубопровода будет равно

$$T_{\text{оп}} = \sqrt{\frac{2(1 + \xi) l_0}{g \sin \alpha}} \quad (14)$$

На рис. 3 показан характер изменения скорости в процессе опорожнения, описываемый зависимостью (12) при следующих расчетных параметрах:

$$T_1 = l_0/a, \quad T_2 = l_0/2a, \quad h_0 = H_0, \quad A = 2H_0, \quad V_0 = Ag/a, \quad \tau = l/a, \quad x = 0.$$

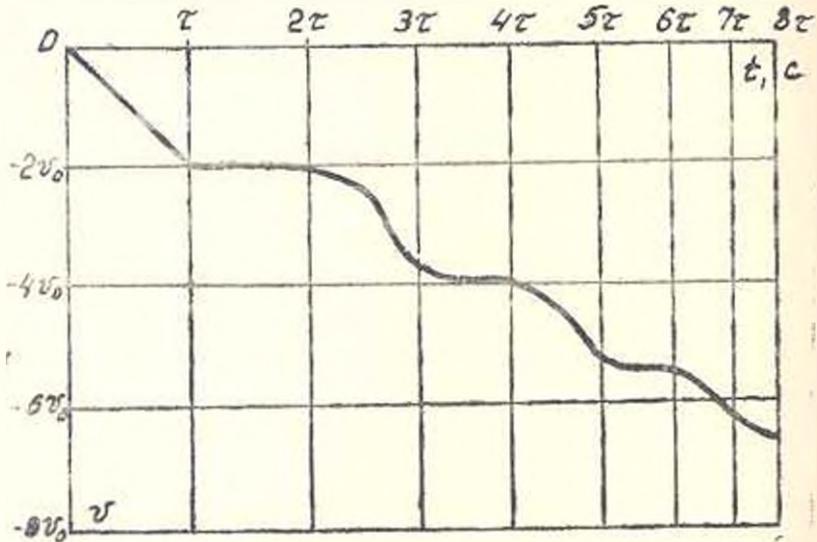


Рис. 3. Расчетная кривая изменения скорости в проц. ссе опорожнения трубопровода.

По формулам (8) и (14) проведен расчет времени заполнения и опорожнения гидравлической линии связи в виде трубки, по которой осуществляется дистанционное управление запорным устройством. Расчетные параметры экспериментальной установки: общая длина трубки $l_0 = 113$ м, $l_0 = l_1 + l_2$, $l_1 = 18$ м, $l_2 = 95$ м, диаметры составных частей трубки $D_1 = 21$ мм, $D_2 = 9$ мм, напор в начале трубки $H = 89$ м. Коэффициенты местных гидравлических сопротивлений соответственно равны: $\xi_{\text{вх}} = 200$, $\xi_{\text{из}} = 120$, $\lambda = 0,01$, а угол наклона трубки $\alpha = 9^\circ$. Согласно расчету время заполнения $T_3 = 45$ с, а сопротивления $T_{\text{оп}} = 206$ с.

Экспериментальным путем получено: $T_1 = (42-45)$ с, а время опорожнения $T_{\text{оп}} = (190-195)$ с.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Чумаков Г. А., Шевченко Б. А., Логвиненко А. И. Влияние на величину гидроудара при заполнении трубопровода его параметров и некоторых других факторов // Кн. Математические модели рабочих процессов в гидродневмосистемах.—Київ, 1961.—С. 32—36.
2. Приходько И. А., Пуртов Н. А., Филин Н. В. Расчет ударного давления при заполнении трубопровода с местным сопротивлением // Химическое и нефтяное машиностроение.—1980.—№ 6.—С. 15—16.
3. Шульгин В. В. О гидравлическом ударе при заполнении трубы жидкостью // Известия вузов. Машиностроение.—1979.—№ 10.—С. 88—91.
4. Каземханов В. П. К теории неустановившегося течения жидкости при заполнении трубопроводов // Сб. Гидродинамика лопастных машин и общая механика.—Воронеж.—1981.—Вып. 1.—С. 3—17.
5. Сборник задач по машиностроительной гидравлике // Под ред. КукOLEВСКОГО И. И. и Подвиза Л. Г.—М.: Машиностроение, 1981.—464 с.
6. Чирный И. А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах.—М.: ГИТТЛ, 1951.—223 с.

АрмНИИВТНГ

18.IV, 1990

Изв. АН Армении (сер. III), т. XLV, № 1-2, 1992, с. 55—58

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.3

Ф. О. АВЕТИСЯН, Ю. М. ШАХНАЗАРЯН

ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ—КАК ИСТОЧНИК ТОКА

Фазовращатель наряду с изменением модуля и фазы выходного напряжения и тока, обладает свойством источника тока. Рассматривается фазовращатель, способный регулировать выходной ток с условием, что данное его значение не меняется при изменении нагрузки в широком диапазоне.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 3 назв.

Փազաճառարը բարձր էլեկտրաճնշման ու հասանելի շարժման և փոփոխ փոփոխումներ, անփոփոխ է նաև լուծարման աղբյուրի հատկությունները: Երկարաճանձ փոփոխարժեքը կարող է կարգավորել էլեկտրաճնշմանը աշխույժ, որ բնորոշ շարժ առձեռններում փոփոխվելիս հասանելի կարգավորված ճնշումը արժեքը անփոփոխ է անփոփոխել:

Ниже рассматривается возможность использования фазовращателя в качестве источника тока. Исследуется мостовой фазовращатель, электрическая схема которого приведена на рис. 1 а (активные сопротивления катушек и конденсаторов пренебрежены). Покажем, что при одновременном изменении значений сопротивлений R и R_n при соблюдении условия $\frac{R_n}{2R} = \text{const}$ величина тока в нагрузке остается неизменной. Для простоты анализа нагрузка фазовращателя принята чисто активной. Используя метод эквивалентного генератора, схему рис. 1 а представим схемами рис. 1 б и рис. 1 в. При этом величины

ЭДС, тока и внутреннего сопротивления эквивалентного генератора равны

$$E_{\text{эк}} = jU_1 \frac{2R}{X} = U_1 \frac{2R}{X} e^{j\pi/2}, \quad j = \frac{E_{\text{эк}}}{2R} = j \frac{U_1}{X}, \quad Z_{\text{вн}} = 2R. \quad (1)$$

Ток в нагрузке R_n согласно рис. 1а определится выражением

$$i_n = j \frac{2R}{2R + R_n} = j \frac{U_1}{X} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_n}{2R}}. \quad (2)$$

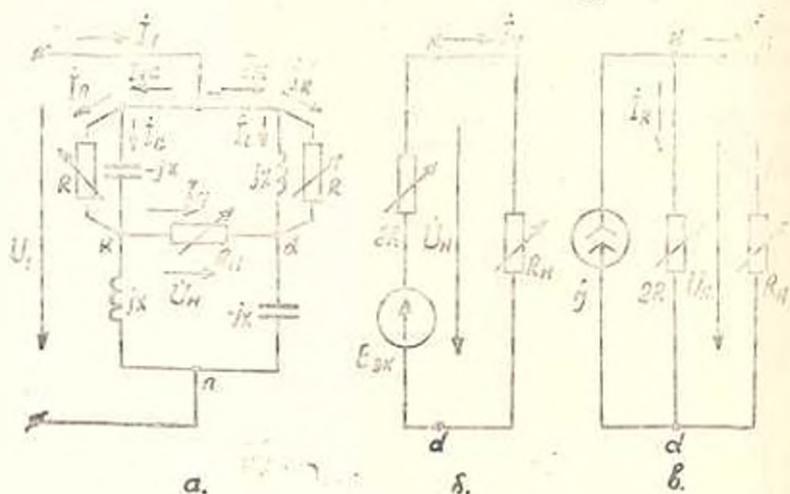


Рис. 1.

Согласно (2), при заданном значении сопротивления реактивных элементов схемы X и напряжения питания U_1 , ток в нагрузке фазовращателя зависит от отношения $\frac{R_n}{2R}$ и при $\frac{R_n}{2R} = \text{const}$ он оказывается неизменным. При изменении величины сопротивления нагрузки R_n , регулируя схему путем изменения величины R и соблюдая отношение $\frac{R_n}{2R} = \text{const}$, можно получить различные значения неизменного тока в нагрузке. Величину тока в нагрузке можно регулировать и изменением величины реактивных сопротивлений элементов, входящих в схему фазовращателя, соблюдая их равенство. Преобразовав соединение «треугольник» $k-d-n$ в эквивалентную звезду для входного тока, получим выражение

$$i_1 = \frac{U_1}{X^2} \cdot \frac{2RR_n}{2R + R_n}. \quad (3)$$

Отметим, что схема при этом работает в режиме резонанса.

Связь между выходным и входным токами фазовращателя определится как

$$i_n = j i_1 \frac{X}{R_n}. \quad (4)$$

Комплексные коэффициенты передач по напряжению и по току получим

$$K_U = \frac{U_n}{U_1} = j \frac{R_n}{X} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_n}{2R}} \quad (5)$$

$$K_I = \frac{i_n}{i_1} = j \frac{X}{R_n} \quad (6)$$

КПД фазовращателя определится как

$$\eta = \frac{U_n I_n}{U_1 I_1} = \frac{1}{1 + \frac{R_n}{2R}} \quad (7)$$

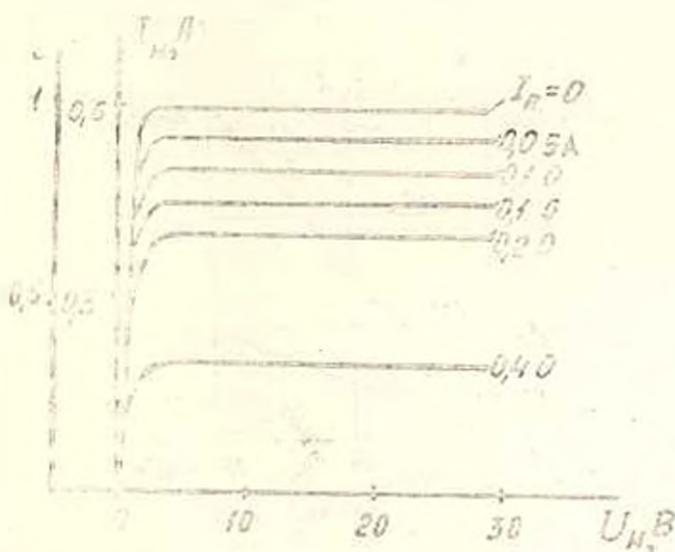


Рис. 2.

По полученным выражениям проведены расчеты для параметров фазовращателя при $U_1 = 60$ В, $X = X_L = X_C = 100$ Ом. Сопротивления нагрузки R_n брались такими, чтобы напряжение на выходе фазовращателя не превышало 30 В. При $R_n = 0$ работа фазовращателя невозможна. Величина сопротивлений регулируемых резисторов R выбирались такими, чтобы отношения $\frac{R_n}{2R}$ для каждой ступени выходного тока I_n оставались неизменными. Результаты расчета сведены в таблицу.

По данным таблицы построены кривые, приведенные на рис. 2. На рис. 3 приведены кривые изменения I_1 , I_n и U_n в зависимости от изменения R_n при $I_n = 0,6$ А. Выходная характеристика такого фазовращателя, приведенная на рис. 2, идентична выходной характеристике транзистора с общей базой.

I_n, A	R_n, Ω	$2R, \Omega$	$R_n/2R$	η	U_n, B	I_n, A	I, A	K_0	K_1
0,67	50,0 1,0	∞	0	1,000	33,0 0,6	0	0,50 0,06	0,50 0,01	2,0 10,0
0,55	54,5 1,1	600,0 12,0	0,09	0,917	30,0 0,6	0,15	0,30 0,06	0,50 0,01	1,8 9,2
0,50	60,0 1,2	300,0 6,0	0,20	0,833	30,0 0,6	0,10	0,30 0,06	0,50 0,01	1,6 8,3
0,45	66,6 1,3	200,0 4,0	0,33	0,752	30,0 0,6	0,15	0,30 0,06	0,50 0,01	1,5 7,5
0,40	75,0 1,5	150,0 3,0	0,50	0,666	30,0 0,6	0,20	0,30 0,06	0,50 0,01	1,3 6,6
0,27	150,0 5,9	75,0 1,5	2,00	0,333	30,0 0,6	0,40	0,30 0,06	0,50 0,01	0,6 3,3

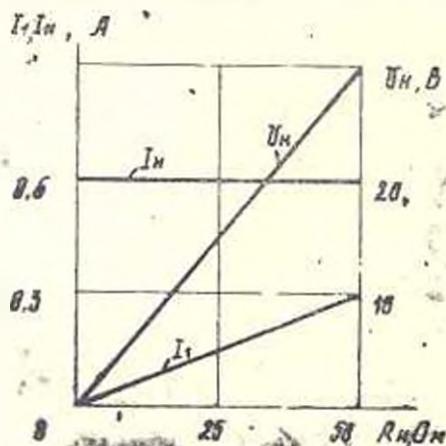


Рис. 3.

Выявлено еще одно свойство известного фазовращателя—наряду с изменением модуля и фазы выходного напряжения и тока, возможность использования его в качестве источника тока, причем величину выходного тока источника можно регулировать при достаточно высоких КПД и коэффициенте мощности. Он может быть использован в тех схемах электропривода, где применение транзисторов не оправдано.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ильинский Н. Ф. Элементы теории и применение электропривода со свойствами управляемого «источника момента»//Электротехника—1974.—№ 10.—С. 45—48.
2. Чиликин М. Г., Ключев В. И., Сандлер А. С. Теория автоматизированного электропривода.—М.: Энергия, 1979.—615 с.
3. Лоботовский И. Н. Теория электрических цепей.—М.: Радио и связь, 1990.—215 с.

УДК 532.546

Р. С. ИСАХАНИЯН, С. Дж. ХАЛЯТЯН

ОСЕСИММЕТРИЧНАЯ ЗАДАЧА ТЕОРИИ
ФИЛЬТРАЦИОННОЙ КОНСОЛИДАЦИИ ГРУНТОВ
С УЧЕТОМ ВОЗРАСТАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ

Рассматривается решение осесимметричной задачи фильтрации, когда верхняя и нижняя поверхности грунта водонепроницаемы. Фильтрация происходит под действием равномерно распределенной возрастающей нагрузки, зависящей от времени. В процессе уплотнения меняется соотношение между фазами грунта, которое учтено в уравнении равновесия.

Ил. 1. Библиогр. 1 назв.

Չփռվել է ձծանցման օսեսիմմետրիկ առնչությունների լուծումը երբ ընտեղի վերին և ստորին մակերևույթները ջրափոխանչելի են: Փծանցումը ընթանում է նսվասարաչափ բարձրված աեղ բեռնվածքի ազդեցության տակ, որը կարճված է ժամանակից: Փեղացման ընթացքում փոփոխվում է ընտեղի փուլերի միջև փոխաշարքերոթյանը, որը նաչի է աեղված նսվասարաչափ բյան նախասրման մեղ:

Основные уравнения осесимметричной задачи фильтрации в деформируемых грунтах с учетом изменений соотношений между фазами грунта в процессе фильтрации даны в работе [1].

В данной работе рассматривается уравнение осесимметричной задачи фильтрации с учетом равномерно-распределенной нагрузки $q=q(t)$, зависящей от времени по заданному закону (рис.).

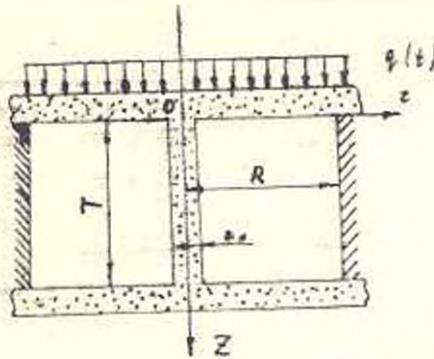


Рис.

Если в работе [1] применить грунт несильносжимаемый, а воду считать несжимаемой, то выведенное уравнение имеет вид

$$\frac{\partial H}{\partial t} = (\alpha + \beta z) \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} + \alpha \left(\frac{\partial^2 H}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial H}{\partial r} \right) + f(t), \quad (1)$$

где

$$\alpha = \frac{k(1 + \epsilon_{cp})}{\gamma \epsilon}, \quad \beta = \frac{(\gamma - \gamma_{ге})k}{\gamma(1 + \epsilon_{cp})}, \quad f(t) = \frac{1}{\gamma} \frac{dq}{dt}$$

$H = H(r, z, t)$ — искомый напор, z_0 — осредненный коэффициент пористости грунта, α — коэффициент уплотнения грунта, γ — объемный вес воды, $\gamma_{ск}$ — удельный вес скелета грунта, k — коэффициент фильтрации.

Допустим, что граничные поверхности $z=0$ и $z=T$ — водопроницаемые. При этом начальные и граничные условия будут

$$H(r, z, t)|_{t=0} = \frac{q(0)}{\gamma} = H_0, \\ H_{z=0} = H_{z=T} = 0, \quad H_{r=r_0} = 0, \quad \left. \frac{\partial H}{\partial r} \right|_{r=R} = 0. \quad (2)$$

Решение уравнения (1) с условиями (2) находим в виде

$$H(r, z, t) = H_1(r, z, t) + H_2(r, z, t),$$

где H_1 является решением однородного уравнения (3) с начальными и граничными условиями (4)

$$\frac{\partial H_1}{\partial t} = (\alpha + \beta z) \frac{\partial^2 H_1}{\partial z^2} + \alpha \left(\frac{\partial^2 H_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial H_1}{\partial r} \right), \quad (3)$$

$$H_1(r, z, t)|_{t=0} = \frac{q(0)}{\gamma} = H_0,$$

$$H_1|_{z=0} = H_1|_{z=T} = 0, \quad H_1|_{r=r_0} = 0, \quad \left. \frac{\partial H_1}{\partial r} \right|_{r=R} = 0, \quad (4)$$

а H_2 является решением неоднородного уравнения (5) с начальными и граничными условиями (6)

$$\frac{\partial H_2}{\partial t} = (\alpha + \beta z) \frac{\partial^2 H_2}{\partial z^2} + \alpha \left(\frac{\partial^2 H_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial H_2}{\partial r} \right) + f(t), \quad (5)$$

$$H_2(r, z, t)|_{t=0} = 0,$$

$$H_2|_{z=0} = H_2|_{z=T} = 0, \quad H_2|_{r=r_0} = 0, \quad \left. \frac{\partial H_2}{\partial r} \right|_{r=R} = 0, \quad (6)$$

Приняв $\alpha + \beta z = V$ и применяя к уравнению (3) метод Фурье, получим его решение в виде

$$H_1(r, z, t) = \frac{2H_0}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\exp(-\lambda_{nm}^2 \beta t)}{\omega_n^2 \gamma_1 \gamma_2 (\omega_n)^2 \gamma_1 (\gamma_1)} \left| \frac{1}{2\gamma_1 \sqrt{\alpha}} \right| + \\ + F_0(2\gamma_1 \sqrt{\alpha + \beta T}) \left| 1 - \frac{8z}{\pi} F_1(2\gamma_1 \sqrt{\alpha + \beta z}) U_0(\omega_n r) \right|, \quad (7)$$

где

$$F_0(2\gamma_1 \sqrt{\alpha + \beta T}) = J_0(2\gamma_1 \sqrt{\alpha + \beta T}) Y_1(2\gamma_1 \sqrt{\alpha}) - \\ - J_1(2\gamma_1 \sqrt{\alpha}) Y_0(2\gamma_1 \sqrt{\alpha + \beta T}),$$

$$F_1(2\nu_1 \sqrt{x + \beta z}) = J_1(2\nu_1 \sqrt{x + \beta z}) Y_1(2\nu_1 \sqrt{x}) - \\ - J_1(2\nu_1 \sqrt{x}) Y_1(2\nu_1 \sqrt{x + \beta z}),$$

$$U_0(\omega_k r) = J_0(\omega_k r) Y_0(\omega_k r_0) - J_0(\omega_k r_0) Y_0(\omega_k r),$$

$$\Phi(\nu_1) = (x + \beta T) F_1^2(2\nu_1 \sqrt{x + \beta T}) - \sqrt{x(x + \beta T)} F_1(2\nu_1 \sqrt{x + \beta T}) \times \\ \times [J_0(2\nu_1 \sqrt{x + \beta T}) Y_0(2\nu_1 \sqrt{x}) - Y_0(2\nu_1 \sqrt{x + \beta T}) J_0(2\nu_1 \sqrt{x})],$$

$$v_1(\omega_k) = \frac{2|J_0^2(\omega_k r_0) - J_1^2(\omega_k R)|}{(\pi \nu_1)^2 F_1^2(\omega_k R)},$$

ω_k — корни характеристического уравнения

$$J_0(\omega_k r_0) Y_1(\omega_k R) - Y_0(\omega_k r_0) J_1(\omega_k R) = 0,$$

а ν_1 — корни характеристического уравнения

$$J_1(2\nu_1 \sqrt{x + \beta T}) Y_1(2\nu_1 \sqrt{x}) - J_1(2\nu_1 \sqrt{x}) Y_1(2\nu_1 \sqrt{x + \beta T}) = 0,$$

$$\omega_k = \frac{M_2 \beta}{l \sqrt{x}}, \quad k_{0k}^2 = \mu_k^2 + \nu_k^2.$$

Приняв $x + \beta z = v$, будем искать решение задачи (5), (6) в виде

$$H_2(r, z, t) = \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} T_{kl}(t) U_0(\omega_k r) \sqrt{v} F_1(2\nu_1 \sqrt{v}).$$

Решение задачи (4), (6) будет

$$H_2(r, z, t) = \sum_{l=1}^{\omega} \sum_{k=1}^{\infty} T_{kl}(t) \sqrt{x + \beta z} F_1(2\nu_1 \sqrt{x + \beta z}) U_0(\omega_k r),$$

где

$$T_{kl}(t) = \int_0^t \exp(-\beta^2 \nu_k^2 \tau - \omega_k^2 \tau) (t - \tau) f_{kl}(\tau) d\tau,$$

$$f_{kl}(\tau) = \frac{2f(\tau)}{\pi \nu_1 \omega_k^2 \Phi(\nu_1) v_1(\omega_k)} \left[F_0(2\nu_1 \sqrt{x + \beta T}) + \frac{1}{\omega_k \sqrt{x}} \right].$$

Для примера рассмотрим случай, когда нагрузка возрастает экспоненциально по линейному закону $q(t) = \alpha_1 t + \beta_1$. Тогда распределение напрягов для любого заданного момента времени t будет

$$H(r, z, t) = H_1(r, z, t) + H_2(r, z, t),$$

где H_1 определяется из выражения (7), а H_2 имеет вид

$$H_2(r, z, t) = \sum_{l=1}^{\omega} \sum_{k=1}^{\infty} \varphi_{kl}(t) \sqrt{x + \beta z} F_1(2\nu_1 \sqrt{x + \beta z}) U_0(\omega_k r),$$

где

$$T_{\text{н}} = \frac{2a_1 (1 - \exp(-\beta^2 v_1^2 - \alpha \omega_1^2) t)}{\pi \gamma v_1 \omega_1^2 \Phi(v_1) \theta_1(\omega_1) (\beta^2 v_1^2 + \alpha \omega_1^2)} \left[F_0(2v_1 \sqrt{\alpha + \beta l'}) + \frac{1}{\pi v_1 \sqrt{\alpha}} \right]$$

Полученные зависимости могут быть использованы при строительстве аэродромных покрытий, промышленных зданий, автомобильных дорог и др.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Барсегян Р. М. Осесимметричная задача теории фильтрации в неоднородных деформируемых грунтах // Докл. АН АрмССР.—1983—Т. 1.XXVI, № 3—С. 120—124.

ЕРШ

28.11.1991

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА К. С. ЗАВРИЕВА

Кириак Самсонович Завриев—известный ученый с мировым именем в области строительной механики и сейсмостойкости сооружений. Своей многогранной научно-педагогической деятельностью он внес неоценимый вклад в становление и развитие строительной науки в Закавказье, в дело подготовки научных работников и инженеров.



К. С. Завриев родился в 1891 г. в Тифлисе в армянской семье. Отец—Самсон Завриев был военным топографом, полковником, мать—Мария Меликова занималась воспитанием детей.

К. С. Завриев в 1908 г. с Золотой медалью окончил Тифлисскую мужскую гимназию и поступил в Петербургский институт инженеров путей сообщения. Еще будучи студентом, работал помощником по постройке Дворцового моста, а после окончания института в 1914 году с Золотой медалью был приглашен в институт железнодорожного транспорта преподавателем для чтения лекций по сопротивлению материалов и высшей математике.

В 1921 г. К. С. Завриев возвращается на работу в Тифлис. Он спроектировал ряд железнодорожных мостов, одновременно приступил к научно-педагогической деятельности в Тифлисском государственном политехническом институте на должность профессора.

В 1928 г. К. С. Завриев назначается заместителем директора по научной работе Закавказского института сооружений (ЗКС). В 1930 г., будучи руководителем ЗКС, приехал в Ереван, выступил с докладом перед научно-технической общественностью Еревана и основал Армянский институт сооружений (АИС) на правах филиала ЗКС. Далее он оказывал большую помощь и поддержку в становлении АИС самостоятельным институтом под названием АИС, АрмНИИСА, а в настоящее время АрмНИИСС (Армянский научно-исследовательский институт сейсмостойкого строительства).

У Киряка Самсоновича было много учеников не только в Тбилиси, но и в других городах страны, в том числе и в Армении.

В 1940 г. К. С. Завриев был назначен председателем Бюро антисейсмического строительства при Грузинском филиале АН СССР, преобразованного в 1947 г. в Институт строительного дела, а в 1962 г. переименованного в Институт строительной механики и сейсмостойкости АН СССР. Он бесценно руководил им до конца своей жизни.

Научную деятельность К. С. Завриев начал еще будучи студентом. При проверке проектного материала строительства Дворцового моста им было замечено несовершенство упругого метода расчета по допускаемым напряжениям и был предложен новый метод расчета по критическим нагрузкам. Эта работа привлекла внимание проф. С. П. Тимошенко и по его рекомендации работа К. С. Завриева была опубликована в 1913 г. в «Сборнике» Петербургского института инженеров путей сообщения.

Разрушительные землетрясения в Гори (1920 г.) и Леннакане (1926 г.) поставили перед ученым вопрос обеспечения достаточной сейсмостойкости зданий и сооружений. Им в 1927 г. была предложена идея применения замкнутых антисейсмических поясов в зданиях, обеспечивающих пространственную работу при сейсмических толчках. В то время в мире господствовала остаточная теория сейсмостойкости, разработанная японским ученым Омори, который пренебрегал дополнительными силами, вызванными деформациями сооружений в процессе землетрясения. К. С. Завриев разрабатывает теорию сейсмостойкости на динамической основе. Он показал, что сейсмические силы должны быть значительно больше, нежели это следует по статической теории сейсмостойкости. Теория, предложенная К. С. Завриевым, в настоящее время признается во всем мире как единственный правильный подход к решению проблем сейсмостойкого строительства. Под руководством К. С. Завриева были разработаны первые карты сейсмического районирования Закавказья на основе инженерно-геологических данных. К. С. Завриев был выдающимся инженером, автором многочисленных проектов, он руководил

конструированием многих ответственных узлов здания Театра оперы и балета в г. Ереване. Занимался вопросами проектирования составов бетона, предварительно напряженного железобетона, расчета железобетонных элементов, расчета мостовых опор глубокого заложения и многими другими.

С. Г. ШАГИНЯН

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

Ռ. Տ. Ասախեյան, Ճակցման միացումների ամբողջական բարձրացման մասին	9
Գ. Հ. Խաչատրյան, Խ. Մ. Արզումանյան, Կոնտակտային երևույթները զուսավոր համա- ժույցվածքների սինթետիկ կորուստից պատրաստված զործիքներով նուրբ մշակ- ման դեպքում	8
Ա. Ա. Իրիզորյան, Պլաստիկորեն անհամասնո զանգվածի հոսունությունը կոնական անհարթ մակերևույթների միջև	11
Կ. Ս. Կետրջյան, Ծննդերի և կառուցվածքների տակ երկրաշարժական լարումների մե- ծությունների որոշումը երկրաշարժերի ժամանակ	17
Հ. Ա. Խաբրյան, Բռաչերտ հեծանների մարման տատանումների փորձնական հետա- զոտումները	20
Ո. Գ. Աղբալյան, Ո. Ո. Ասլյա, Ա. Ո. Հարությունյան, Տար արտամղումով փոշենյու- թերից մանոմետրաղների ստացման տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները	24
Գ. Թ. Կրեպյով, Ի. Էլեչևի Թիոբեմի կիրառելիությունը էլեկտրաէներգետիկական համա- կարգի համար	30
Հ. Ո. Կաբայան, Ա. Հ. Լակայան, Ա. Հ. Մանուկյան, Ի. Ռ. Օմանյան, Քառաչերտ կիսահաղորդային կառուցվածքներում հոսանքի հզոր տատանումների լուսա- զրոտումը	35
Գ. Ա. Մակարյան, Ո. Ո. Կարգույան, Քոչոչ օբյեկտներում կիրառվող 2 Տկ սերիայի ուժային արանդիստորների պարամետրերի վրա ներթափանցող նառաղայթման ազդեցության ուսումնասիրությունը	40
Ա. Ո. Կապարյան, Է. Կ. Մուրադյան, Հիդրոգիսամիկական պարամետրերի որոշումը բաղամաչերտ ֆիլտրացիոն հողաշերտերից փորձնական ջրհանման տվյալներով	45
Ռ. Ո. Ռաֆայելյան, Է. Գ. Աշխիանց, Ո. Ս. Մելիֆոնյան, Հեղուկի շնաստատված շարժ- ման հաշվարկը խողովակի լցման և դատարկման ընթացքում	50
Ֆ. Հ. Ավետիսյան, Յու. Մ. Շախնագարյան, Փուլաստոնը որպես հոսանքի աղբյուր	55
Ի. Ս. Իսախանյան, Ա. Ա. Խալարյան, Մծացման պնդացման տեսության առաջնահա- մաչափ խնդիրը հալվի առևելով աճող բնակվածքը	59
Ս. Գ. Շագինյան, Ակադեմիկոս Կ. Ս. Զավրիևի ձևերյան 100-ամյակի առթիվ	53

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Т. Т. Аракелян, О повышении прочности сварных соединений	3
Г. Г. Хачатрян, А. М. Арзуманян, Контактные явления при тонкой обработке цветных сплавов инструментами из синтетического корунда	8
А. А. Григорян, Течение пластически неоднородной массы между шероховатыми коническими поверхностями	11
Г. С. Геворкян, Определение значений сейсмических напряжений под зданиями и сооружениями во время землетрясений	17
Г. М. Саркисян, Экспериментальное исследование затухания колебаний трехслойных балок	20
С. Г. Агбалян, С. А. Асила, А. С. Арутюкян, Технологические особенности экструзии монометаллических порошковых материалов	24
Дж. Д. Ибрагим, Теорема Телледтана, применительная к электроэнергетическим системам	30
Г. С. Караян, А. А. Макарян, А. Г. Манукян, Н. Р. Оганян, Фотовозбуждение мощных колебаний тока в четырехслойных полупроводниковых структурах	35
Г. А. Микарян, А. А. Вардениян, Исследование влияния проникающей радиации на параметры силовых транзисторов серии 2ТК, для бортовой техники	40
С. М. Казарян, Э. К. Мурадян, Определения гидродинамических параметров многослойной толщи по данным опытных откачек	45
Р. М. Рафаэлян, Э. П. Ацинян, А. С. Мелконян, Расчет параметров неустановившегося движения жидкости при заполнении и опорожнении трубопровода	50
Ф. О. Автисян, Ю. М. Шахназарян, Фазовращатель—как источник тока	55
Р. С. Исаханян, С. Дж. Халатян, Осесимметричная задача теории фильтрационной консолидации грунтов с учетом возрастающей нагрузки	59
С. Г. Шагинян, К 100-летию со дня рождения академика К. С. Завриева	63