КИЗЧИЧИТ ИИЛ ЭРАЛЛОЗЛАТЬТАР ИЧИНЕИТИЗР **SGAGGUGPPP ИЗВЕСТИЯ** ВЖЕЖЕ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР ВЖЕЖЕ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

առաթերերը հայերվեր

Աղոնց Հ. Տ. բարագրի ապակալ), Անական Ա. Կ. Գասպարյան Ա. Մ., հղիազարյան Ի. վ., Կասյան Մ. վ., Խուզավերգյան Վ. Մ., հազարով Ա. Գ. (պատ, բակրադիր), Ոիքոնով Մ. Չ., Փինացյան Վ. վ. (պատ, բարառղատ)։

РЕЛАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Чаниц І. Т. (зам. отв. резактора). Ананин А. К., Гаспаичн А. М., И. В. Касьми М. В., Назаров А. І. тотп. ретткгор). Пинадуеми В. В. (отв. секретарь), Симонов М. Худа грлин В. М.

ЦЗЧИНИ ВИЛ ТРУПРИЗЛИТЬНИ ИЧИТОГНИЗИ УВЦВИЦТИ ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЯ ССР

Տեխնիկական գիտութ սևշիա

XIII, Nº 4, 1960

Серия технических наук

электротехника

К. А. МЕЛИК-ВАРТАНЯН

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИНОМОВ ЧЕБЫПЕВА ОТ КОМПЛЕКСНОГО АРГУМЕНТА К РАСЧЕТУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

Введенне

Метолы синтеза фильтров и задача приближения функций тесно связаны с методами аппроксимации разработанными ныдающимся русским математиком Пафиутием Львовичем Чебышевым.

Приближение функций по Чебышеву нашло широкое применение иотому, что для многих задач из различных отраслей техники функции Чебышева являются оптимальным решением. В частности в теории фильтров доказывается, что оптимальным решением для функций характеристических параметров в нормированном виде являются функции Чебышева: в этом случае спитез дает наименьшее число элементов

Менее разработана другая возможность применения этих функций Рассмотрение полиномов Чебышева в комплексной области, нозволяет получить номограммы, пригодные для расчета электрических фильтров по характеристическим параметрам. При этом оказывается возможным учет ялияния невосполнимых потерь в элементах фильтра на его частотные характеристики

Настоящая работа является попыткой использования нолиномов Чебышева в этом направлении.

1. Из сравнения полиномов Чебышева в явном виде 1) и гиперболических функций 2) иргументы которых представляют коэффициенты передачи последовательного числа Г-образных полузвеньев видно, что они отличаются лишь знаками четных членов:

 $T_n(x) = \cos n \arccos (ch(0)) + 1$

$T_{a}(x) = 1$	$sh\frac{g}{2}=0$	
$T_k(\mathbf{x}) = \mathbf{x}$	$ch 2 \cdot \frac{8}{2} = 2sh^2 \frac{g}{2} + 1 = 22^2 \cdot 1$	ini
$T_2(x) = 2x^2 - 1$ (1)	$sh \frac{3}{2}g = 4 sh^3 \frac{g}{2} + 3 sh \frac{g}{2} - 4\Omega^3 - 3\Omega$	(2)
$T_3(x) = 4x^3 - 3x$	$ch 2g = 2ch^2 g = 1 = 8 \Omega^4 - 8 \Omega^2 + 1$	
$T_4(x) = 8x^4 - 8x^3 + 1$		
$7_5(x) = 16x^5 - 20x^3 + 5x$	$sn - g = sn(2g + \frac{2}{2}) = 162^3 + 202^3 + 52^3$.	

Легко видеть, что полиномы Чебышева степени и от аргумента /9 помноженные на /° будут тожлественны с функциями (2) носкольку

$$T_n(-jQ) = \cos n \arccos \left(-j \sin \frac{\pi}{2} \right) = \left\{ \begin{array}{cc} (-j)^n \sin \frac{\pi}{2} g & n = 1, 3 \cdots \\ (-j)^n \sin \frac{\pi}{2} g & n = 0, 2 \cdots \end{array} \right.$$
(3)

Приписав знаки и мнимую единицу левой части равенства, мы получим несколько видоизмененные полиномы, называемые сиперболическими функциями Чебышева 7h_n.

$$j^{a}T_{n}(-j\Omega) = Th_{n}(\Omega).$$
(4)

В явном виде, функции $Th_n(\Omega)$ имеют вид (2).

Аргумент 2, будучи величиной отвлеченный, в общем случае является комплексом

$$\Omega = sh \, \frac{1}{2} = sh \, \frac{1}{2} \cos \frac{a}{2} - jch \, \frac{1}{2} \sin \frac{a}{2} = x + jv \tag{5}$$

и представляет собой удобный параметр для анализа и расчета цепочечных и мостиковых структур.

Как видно из выражения

$$2 = \begin{vmatrix} \sqrt{\frac{Z_1}{4Z_2}} & - \text{ цепочечные структуры,} \\ \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2 - Z_1}} & - \text{ мостиковые структуры,} \end{vmatrix}$$
(6)

(7 а. б. в. г.

параметр Ω в то же время является функцией частоты – и по смыслу может быть назван нормированной комплексной частотой.

2. С помощью (4) и (5) молули гиперболических функций Чебышева выражается в следующем виде:

 $|7h_1(\Omega)| = |sh^2 \frac{b}{2} + \sin^2 \frac{a}{2} = |\Omega|$

$$|Th_{\alpha}(\Omega)| = |\overline{sh} - b - \cos^2 a - 2 \Omega - 1 \cos \frac{1}{4} ||\Omega| + 1 \cos \frac{1}{4}$$

$$[Th_{2}(\Omega)] = \int sh^{2} \frac{3}{2}h + s\ln^{2} \frac{3}{2}a = 2^{2} \left|\Omega\right| \left|\Omega - j\cos\frac{\pi}{6}\right| \Omega + j\cos\frac{\pi}{6}$$

$$|Th_{4}(\Omega)| = |sh^{2}2b + \cos^{2}2a - 2^{3}|\Omega - i\cos\frac{\pi}{8}| + i\cos\frac{\pi}{8}|$$
$$|\Omega - j\cos\frac{3\pi}{8}| \Omega + j\cos\frac{3\pi}{8}|$$

Выраження 7а, б, в. г дают возможность получить наглядную геометрическую интерпретацию функций [Th_n (Q)]. На комплексной

4

Некоторые вопросы применения полиномов Чебышева

плоскости 2 различным, постоянным значениям модуля *М*, соответствует

а) в случае

$$|\mathcal{T}h_{1}(\Omega)| = \mathcal{M} = \text{const}$$
(8)

 - геометрическое место точек, равноудаленных от фиксированной гочки, нуля полинома Чебышева первой степени, совпадающей с началом координат; кривые представляют собой семейство концентрических окружностей с уравнением

$$x^2 + y^2 = \mathcal{M}^2$$
. (8a)

6) в случае

$$|Th_a | 2| = M = \text{const}$$
(9)

— геометрическое место гочек, для которых произведение расстояний до двух фиксированных точек нулей полинома Чебышева вгорой степени, есть величина постоянная, равная ¹/₂ *М*; кривые носят название овалов Кассиии. их ураннение, как можно видеть из рис. 1а следующее



Рис, 1. Учиты и сиперболичесьих чебышевских ф икций на комплексной илоскости 22.

$$\left[x^{2} + \left(y - \cos\frac{\pi}{4}\right)^{2}\right] \left[x^{2} + \left(y + \cos\frac{\pi}{4}\right)^{2}\right] = \frac{M^{2}}{4}; \quad (9a)$$

в) в случае

$$|Th_s|| = M = \text{const}$$
(10)

5

геометрическое место гочек для которых произведение расстояний до трех фиксированных точек — нулей полиноми Чебышева третьей степени, есть величина постоянная, равная $\frac{1}{4}$ Марис, 16

Аналогичный смысл имеют и функции более старших степеней. Кривые легко построить, пользуясь "пифагоровым" соотношением

$$M^{2} = sh^{2} n \frac{b}{2} + \begin{vmatrix} \sin^{2} n & \frac{a}{2} \\ \cos^{2} n \frac{a}{2} & n = 2.4 \cdots \end{vmatrix}$$
(11)

В этих формулах

- п число каскадно соелиненных и согласованных по характеристическому сопротивлению Г-образных структур (для симметричных и антиметричных фильтров цепочной структуры) рис. 5а;;
- тоже, для симметричных мостиковых структур (рис. 56).

При построении семейства кривых постоянного модуля *М*, получается сетка кривых постоянного значения фазовой меры *а.* Это семейство кривых представляет собой софокусные гиперболы, фокусами в гочках у = 1 и с уравнением

$$\frac{d^2}{\cos^2\frac{d}{2}} = \frac{d^2}{\sin^2\frac{d}{2}} = -1 \tag{12}$$

Пересечение обоих семейств кривых цает точки с лискретными значениями затухания b. Таким образом, с помощью геометрической интерпретации молулей гиперболических чебышевских функций, на комплексной плоскости мы получаем размещение затуханий и фазовых мер различных цепочечных и мостиковых структур (рис. 2, 3, 4).

4. Из рассмотрения кривых $|Th_{e}(\Omega)| = \text{const}$ (рис. 3) нилно, что гипербола, соответствующая фазе $a = 90^{\circ}$, является осью наибольших затухания. Она лелит все кривые постоянного M на верхикю в нижнюю ветви с равномерно убывакощими значениями затухания.

Кривая M = 1 называемая лемнискатой, делит все кривые семейства на две группы. Виутри лемнискаты нахолятся кривые с малым затуханием, в том числе значением b равным нулю: вне ее кривые с большим затуханием которое нигде на кривых не обращается в нуль. Поскольку по осям абсписс и ординат отложены, соответственно

$$x = \hat{s}h \, \frac{b}{2} \cos \frac{a}{2} \tag{13}$$

$$y = ch \frac{b}{2} \sin \frac{a}{2} \tag{14}$$

легко показать, что ось у-ов является областью идеальных фильтров, с полосой пропускания на отрезке $0 \ll y = 1$, полосой задерживания на отрезке $1 = y = \infty$ и с точкой среза при $y \Rightarrow 1$. Прв рассмотрении фильтров типа *m*, полосой задерживания является также ось абсцисс. Таким образом частота среза удовлетворяет условию



Рис. 2. Молули гиперболических чебышевских функций Th, (2) на комплексной плоскости 2.

$$M = |Th_2|\Omega| = \left| 2\frac{Z_1}{4Z_2} - 1 \right| = 1.$$
(15)

Ось ординат может быть вспользована при решении задач на илеальные фильтры. Кривые для случаев n 1 и 3 (рис. 2 и 4) обладают аналогичными свойствами.

 5. Учет потерь в элементах фильтра приводил к тому, что при всех частотах

$$a \le \pm$$
 17)

Это обстоятельство сдвигает все характеристики фильтра в комплексную область Таким образом, комплексная область, расположенная вирало от осн ординат — область реальных фильтров, фильтров с потерями. При этом, кверху от осн х-ов расположена область ф. н. ч., книзу от осн х-ов — область ф. в. ч., а рассматриваемые совместно дают область полосоных фильтров. Кривые в обенх областях представляют зеркальные изображения (рис. 6)

6. Пормированная частота ценочечных ф. н. ч. (рис. эг)

К. Мелик-Вартанян

$$2 = \left[\frac{Z_{1}}{Z_{2}} + \frac{1}{R_{2}} \right] \frac{R_{1}}{R_{2}} + \frac{1}{R_{2}} \left[\frac{R_{1}}{R_{2}} \right]^{2} + \omega^{2} L C \left(\frac{R_{1}}{R_{2}} \right)^{2} + \omega^{2} L C \left(\frac{R_{1}}{R_{2}} \right)^{2} + \frac{1}{R_{2}} L C \left(\frac{R$$

гле

$$k = \frac{\frac{L}{R_{\pm}}}{\frac{R_{\pm}}{R_{\pm}C}}$$

При k 1, т с при условни равенства постоянных времени

$$\frac{L}{R_g} = R_1 C,$$

выражение (18) приводится к внау

$$2 = sh \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \left[\frac{R_1}{R_2} - j \frac{1}{2} \omega \right] \quad IC = x - jy.$$
(19)

откуда видно, что из двух слагаемых пормированной комплексной частоты, перное слагаемое не зависит от частоты ю, а второе слагаемое прямо ей пропорционально. Это говорит о том, что в области ф. и ч., ось нормированных частот ¹² будет идти параллельно оси у-ов рис. 6).

Из анализа уравнения (18) вытекает, что требование равенства постоянных времени, является необходимым. Выражение

$$\frac{1}{R_1C} = R_1C \qquad .20$$

является условием оптимального соотношения параметров. при котором обеспечиваются наименьшие затухания в полосе пропускания фильтра В самом дел. минимум функции $k = \frac{1}{k}$ имеет место при k = 1. При любом положительном k отличном от единицы

$$k - \frac{1}{k} > 2, \qquad (21)$$

что связано с возрастанием х и у по сравнению с тем значением, которое имеет место при k = 1. Это приводит к смещению характеристик фильтра вправо и вверх Смещается вправо, в сторону больших затуханий и ось нормированных частот. Затухания в полосе проиускания возрастают. Следует отметить, что у идеальных фильтров постоянные времени также равны между собой: « $R_{\pi} = R_{\pi}C = 0$. Из двух фильтров меньшее затухание в полосе проиускания и лучшее

8









разделение частот будет иметь тот, чья ось нормированных частот расположена ближе к оси ординат – оси идеальных фильтров.

7. Не трудно показать, что и в случае ф. в. ч. рис. 5 д. условием оптямального соотношения параметров будет та же зависимость

$$\frac{L}{R_1} = R_2C_2$$
 (22)

Поскольку в случае ф. в. ч.

$$\Omega = \int \left\{ \frac{Z_1}{4Z_2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\frac{R_2}{R_1} + j\omega \int \overline{LC}} = \frac{1}{\frac{R_2}{R_1} + j\omega \int \overline{LC}} \right\} = \frac{1}{\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{R_2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{R_2}}}{\frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{R_2}}}$$
(23)

ось нормированных частот получится как обращение в комплексной плоскости прямон. т. е., представится в виде полуокружности радиуса

$$\begin{array}{c|c} 1 & R \\ \hline 4 & R_2 \end{array}$$
 (рис. 6)

Величниу раднуса легко найти, зная координаты концов днаметра:

$$\lim_{n \to 0} \frac{Q}{2} + \frac{1}{2} + \frac{R_1}{R} = x; \quad y = 0;$$

$$\lim_{n \to 0} \frac{Q}{2} = 0; \quad x = 0 \quad y = 0$$

Точка пересечения оси нормированных частот с лемнискатой кривои $\mathcal{M}=1$) является гочкой среза, что равносильно распространению и на реальные фильтры условия (15), с помощью которого определялась частота среза иля идеальных фильтров. Тем самым придается мятематическая определенность точке среза, которая у реальных фильтров находится в пределах переходной полосы. Таким образом, верхняя ветвь лемпискаты геометрическое место гочек среза электрических фильтров п. ч., в. ч. в полосовых. На этой кривой затухания b будут больше чем в любых точках соответствующих полос пропускания.

8. Полученные кривые молули функций $Tb_{0}(2)$ на комплексной илоскоств даки возможность легко определить нараметры по задашному затуханию b_{i} при частоте среза ω_{c} . С -той целькі, на лемпискате находим b_{i} и определяем соответствующие у, и x_{i} (рис. 8). Тогда параметры определяются из следующих соотношений:

а) в случае ф. н. ч





11=4



ŝ









Некоторые вопросы применения полиномов Чебышевы

$$x_{t} = \frac{1}{2} \int \frac{\overline{R}_{1}}{R_{0}}$$

$$y_{t} = \frac{1}{2} m_{t} \int \overline{LC}$$

$$\frac{L}{R_{t}} = R_{0}C$$
(24)

б) в случае ф. в. ч.

$$x_{i} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\frac{R_{2}}{R_{1}}} - \frac{R_{2}}{R_{1}}$$

$$\mathbf{y}_{c} = \frac{\mathbf{w}_{c}}{2} \cdot \frac{\mathbf{I}}{\frac{R_{z}}{R_{1}}} \quad \mathbf{H} \quad \frac{L}{R_{1}} = R_{z}C$$

В том случае, если заданы уровни затухания *b*_{пах} и *b*_{пан} соответственно в полосе пропускания и в полосе задержинания задача летко сволится к предыдущему типу

9. Для решения системы ураинений (24) яли (25) с четырьмя неизвестными параметрами фильтра *Cl. R₁R*, можно зпалться сопротивлением *R₁*(*R₁*) в зависимости от типа конденсатора, который предполигается использовать.

Если задано сопротивление нагрузки, необходимое четвертое уравнение может быть легко получено исходя из условий согласования фильтра с нагрузкой.

С помощью номограмм рис. 2 – можно решать более сложные задачи, если ях дополнить кривыми постоянного затухания, представляющими собой семейство софокусных элипсов с фокусами в точках $y = \pm 1$ [3]. В этом случае представляется возможным учесть дополнительные затухания, возникающие из-за несогласованности опти мального номинального характеристического сопротивления фильтра с сопротивлением нагрузки, т. е. фактически исходить из заданных требований к рабочим параметрам. Объем статья не разрешает нам более детально рассмотреть эти нопросы

Заключенне

 Рессмотрение модулей полиномов Чебышена от комплексного вргумента нормированной комплексной частоты) лаёт общую картину влияния диссинативности элементов схемы на фильтрующие свойства четырехполюсников.

Наилучшее разделение частот и наименьшие собственные затухания имеют фильтры, у которых оси нормированных частот расположены ближе к оси ординат — оси идеальных фильтров. Чем даль-

13

(25)

ше ось Ω от осн у-ов, тем сильнее стирается грань между полосами пропускания и задерживания, хуже фильтрующие свойства, и, наконец, за лемнискатой (кривой M = 1) расположена область четырехполюсников, у которых из-за значительных потерь в элементах, нет четко выраженных полос, отличающихся по затуханию

2. Оптимальное соотношение параметров

изнестное в электротехнике как условие Хенисайда, было вывелено им применительно к длинным линиям с распределенными нараметрами и характеризует цель с потерями, но без искажений [1].

 $\frac{L}{R_s} = R_s C$

Выражения (17), (19), (23), рассматриваемые совместно с кривыми $|Th_{\pi}(\Omega)| = \text{солst}$, позволяют прийти к выводу, что "условие Хевисайда" полностью применимо и в случае фильтров нижних частот и верхних частот, характеризуя соотношение параметров, соответ ствующее минимальному собственному звтуханию в полосе пропускаиия фильтра.

3. Модули гиперболических функций Чебышева на комплексиой илоскости представляет собой семейства кривых, которые могут быть использованы в качестве помограмм для расчета эдектрических фильтров. Для облегчения расчета, следует построить, также семейства кривых b = const и a = const представляющих собою, соответственно софокусные эллинсы и гиперболы с фокусами в точках $y = \pm 1$.

Достоинство метода – легкость определения потерь в отдельных звеньях фильтов.

4. Поскольку стенень и функции Чебышева соответствует числу каскално соединенных звеньев, все фильтры, расчитываемые по описанному методу, получаются из и однотипных звеньев. Это обстоя тельство является недостатком, поскольку современные сложные фильтры состоят из комбинации звеньев k и m, причем, наилучшие результаты получаются тогда, когда значения m различны.

Опатитут электротехники АН Армянской ССР

Поступило 10 У 1960

Կ Ա. ՄԵԼԵՑ-ՎԱԲԴԵՆԵՑԱՆ

ՉԵՐԵՇԵՎԵ ՊՈԼԵՆՈՄՆԵՐԵ ԴԵՐԱՌՈՒՄԸ ԼԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՖԵԼՏՐՆԵՐԻ ՀԱՇՎՈՒՆ ՀԱՄԱՐ

Ամփոփում

Հոդվածում դիավամ է Չև կուս պոլինոմները կաիված կոմպլերո փո վախականից և այդ պոլինոմների կիրառումը Էլնկարական ֆիլտըների հաշվման մեջ։ Ցուլց է տրված, որ Չերիշևի 1000 ֆունկցիանները համապա-

14

տասխանում են ռ կասկաղ միացած 🗁ածև կիսաօգակներին և 🍧 կասկադ

վիացած սիմեարիկ կամբջակային օղակներին։

7 հ. Չ՝ ֆունկցիաների մարուլները կարելի է արտամայուել կոմպլերո մարքունիան վրա Կասինիի կորերի ձեռվ։ Դա մատրադիություն է ապլա այց կորերը օգտագործել որպես ճամոդրամաներ էլեկտրական ֆիլադների մաշվոն մամարո

Գրակաիկալուծ այդ Նոմոդրամաները թուլ կատև Տեշտությանը գտնել ֆիլարի կորուստեսիրը և սուսքսալ անձրանեշտ պարամետրերը։

ЛНТЕРАТУРА

- 1 Акульшин П. К., Кощеев П. І., Кульбацкий К. Т. Геприм сиязи по проволам, Связыкадат, 1940.
- Электрических схем но их заданным частогным х рактеристикам^{**} докт. диссертания, М., 1959.
- Мелик-Вартаныя К. А. Полиномы Чебышева в комплексион области и функции затухания и ко-ффинисита фалы заектрических фильтров^{*}. Известия АШ Арминской ССР^{*} серия техн. наук. № 1, 1960.
- 4 Тафт В. А. "Основы методики расчета ливейных электрических схем по заданвым их частотных характеристикам", М., 1954.
- 5. Cauer W. Theorie der linearen Wechselstromschaltungen, 1251.
- b. Guillemin E. Communication networks, vol. 11, 1917.

Klein W. Tschebyscheftsche Funktionen Archiv für Elektrotechnik, XXXIX, 1950.

24344445 00А 458ЛЕФЗЛЕБЬСЕРЕ ЦАЦАБЛЕВЕ SEQUALSEP ИЗВІСІНЯ ХКАДІМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Shiniphuhui ahmuip, ubehu

XIII, Nº 4, 1960

Серия техническых наук

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

М. М. КАРАНЕТЯН

К ВОПРОСУ ОБ АТМОСФЕРНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯХ В ПЕРЕДВИЖНЫХ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ АГРЕГАТАХ

Широкое развитие передвижных электрифицированных агрегатов (ПЭА), применяемых в торфяной промышленности, в сельском хозяйстве, строительстве и т. п., ставит, особенно остро, обеспеченность безопасности и безаварийной работы электрооборудования указанных агрегатов.

Передвижные электрифицированные агрегаты питаются через понизительные подстанции от линии перелачи 6—10 кв. При этом подвижные машины питаются от понизительной подстанции через неэкранированный шланговый кабель [1, 2].

Многолетний опыт ноказывает, что эти агрегаты в процессе эксплуатации подвергаются воздействию атмосферных перенапряжений. вследствие чего имеют место повреждения и выход из строя электрооборудования В связи с этим величина перенапряжения в указанных установках приобретает важное значение.

При грозовых разрядах в линии электроперадачи 6—10 ка, после срабатывания защитных анпаратов, установленных на стороне высокого напряжения, защитные аппараты инзконольтной стороны подстанции срабатывают вследствие поднора напряжения на корпусе подстанции (рис. 1). При этом максимальная величина потенциала на корпусе подстанции определяется согласно рис. 2.

$$u_{sn} = \frac{2 u_{d-sn} + 2}{z + z_c} \,. \tag{1}$$

где: $z = \frac{z_c \cdot z_r r_{an}}{z_c \cdot r_{an} + z_c \cdot z_r + \cdots + z_n}$ — эквивалентное расчетное сопро-

тивление заземления подстанции; $z_c = 230$ ом — волновое сопротивление ление системы трех проводов ЛЭП 6-10 кв, $z_z = 100 - 150$ ом — волновое сопротивление незкранированного шлангового кабеля [2], $r_m = 10$ ом — принятая величина импульсного сопротивления заземления подстанции; $u_{d,max}$ 1100 кв — принятое минимальное разрядное напряжение изоляции ЛЭП 6-10 кв.

При приведенных значениях *г*ис получим и_{ки} = 80,5— 90,3 кв. Волия напряжения такой сравнительно большой величины распространяется по кабелю до двигателя, где часть волны огражвется, а часть преломляется.

* Далее во исех рисунках Ran и Raw састемирале 2. Изв. ТН, № 3 В настоящей работе приводятся расчет и экспериментальные данные перенапряжения в подвижной машине при заданной приходящей волне и заданных z, и z, для различных величии сопротивления заземления подвижной машины (r₁₄).

 При определении величных опасных перенапражений в шланговом кябеле и двигателе подвижной машины (ПЭА), рассматриваются при трех условнях работы кабеля (рис. 3). Для упрощения принимаем, что к кабелю подключен один дингатель без учета его входной емкости. Рассмотрим волновой процесс для трех условий работы кабеля.

An-10	
Ran Ukn Zk 2 Zag	Puc 2 1. Lu - Uxn M. Lar
8 an Un Zx 28 Ram 6 A Ran Un control + Zan 6 A Ran Un control + Zan	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
Puc. 3 PRan	Pue 4

Рис. 1. Эквивальниная скема замещения переданижного электрифицированного агрегата. Рис. 2. Расчетная скем: для определения потенциала на корпусе поницительной подстанции. Рис. 3. Принципиальная расчетная скема определения перенапряжения в ПЭА для трех условий работы кабеля. Рис. 4. Расчетная скема для определения перенапряжения в подвиж вой машине.

1 Кабель ра мотан и по всей длине лижит на земле – Перноначально рассмотрим волновон процесс и перенапряжения в подвижной машине при отсутствии отражении в преломлении волч от заземления подстанции и нейтрали двигателя $\frac{2l}{V_s} > l < \frac{2l}{V_s} \cdot где:$ и V_s – средние скорости распространения электромагнитной волны по кабелю и по обмотке двигателя, l_s и l_s – ллина кабеля и обмотки двигателя.

В расчетах, согласно рис. За, принимаем, что от точки II по ка. белю и подрижной машине распространяется прямоугольная беско-

18

нечная волна и Затухание воли в кябеле и в обмотке двигателя пока не учитывается

Рассмотрим случай, когда в конне трех жил кабеля с волновыми сопротивлениями $z_{12} = z_{22} = z_{33}$ полключены три фазы обмотки двигателя с волновым сопротивлением z_{31} . В конце четвертой "иулевой" жилы кабеля с волновым сопротивлением $z_{44} = z_{11}$ подключено сопротивление r_{33} (рис. 4).

Определим величины напряжения и точках 1, 2, 3 и 4, составляя систему уравнений для падающих ч ограженных воли:

$$u_{\mu n} = u_{1}^{1} = u_{1}^{1} = u_{1}^{1} = i_{1}^{1} (z_{11} - 2z_{12}) - i_{4}^{1} z_{12}$$

$$u_{\mu n} = u_{2} = 3 + i_{4} - i_{4} z_{11}$$

$$- u_{1}^{11} = -u_{2} = -u_{3}^{11} = i_{1}^{11} (z_{11} + 2z_{12}) + i_{1}^{11} z_{12}$$

$$- u_{4}^{11} = 3 t_{4}^{1} z_{12} + t_{1} z_{11}$$

В уравнениях (2) прилято, что взаимные волновые сопротивления между жилами кабеля одинаковы $z_{12} = z_{13} = z_{14}$ и т. д. Известно, что $+ u_1^{11}$: $u_4 = u_4^1 + u_4^{11}$; $i_1 = i_1^4 + i_1$; $i_4 = i_4^1 + \dots$ Кроме того имеем граничные условия на выволях двигателя М (рис. 4)

$$\begin{aligned} u_2 - u_4 &= i_2 \cdot i_{\beta 1} \\ u_4 &= i_4 \cdot r_{\rm NM} \end{aligned} \tag{3}$$

Решая уравнения (2 и 3), получим выражения:

$$u_{4} = 2u_{\kappa n} \frac{(z_{11} - z_{12}) z_{21} + (z_{41} + z_{11} - z_{12}) r_{3u}}{(z_{11} + z_{11}) (z_{11} - r_{1u}) - z_{12} (r_{3u} - 3z_{12} - 2z_{11})}$$

$$u_{4} = 2u_{\kappa n} \frac{(z_{41} + z_{11} - z_{12}) r_{3u}}{(z_{11} + z_{41}) (z_{11} + r_{3u}) - z_{12} (r_{3u} - 3z_{12} - 2z_{11})}$$

$$\Delta u_{24} = u_{4} - u_{4} = 2u_{\kappa n} \frac{(z_{11} - z_{12}) \cdot 1}{(z_{11} + z_{41}) (z_{11} + r_{3u}) - z_{12} (r_{3u} - 3z_{12} - 2z_{11})}$$
(4)

Так как волновые сопротивления всех трех фазовых обмоток двигателя одинаковы и кроме того, принимая одинаковыми частичные волновые сопротинления всех жил кабеля. будем иметь напряжения $u_1 = u_2 = u_3$.

11. уравнения 4) видно, что перенапряжение Δu_{24} . коздействующее на изоляцию обмотки двига еля, имеет максимальное значение при $r_{30} = 0$; $\Delta u_{24} = 2u_{xn} \frac{1}{z_{11} - z_{12} - z_{12}} = \frac{1}{z_{12} - z_{12}} = \frac{1}{z_{12} - z_{12}} = 0;$ при $r_{30} = \infty;$ = 0.

Рассмотрим волновой пронесс с учетом многократного отражения волн (кон (кон (кон стражения). Из уравнения (4) найдем эконвалентные конфициенты отражения между .рабочей жилой кабеля и одной фазовой обмоткой двигателя и 34 между "нулевой" жилой кабеля и сопротивлением ли

$$= 2 = 2 \frac{(z_{11} - z_{12} + z_{31} + (z_{11} - z_{13}) r)}{(z_{11} + z_{31})(z_{11} + r_{33}) - z_{12} (r_{334} - 3z_{12} - 2z_{11})}$$

$$= 2 \frac{(z_{11} - z_{13})(z_{11} + r_{334}) - z_{12} (r_{334} - 3z_{12} - 2z_{11})}{(z_{11} + r_{334}) - z_{12} (r_{334} - 3z_{12} - 2z_{11})}$$

Таким образом, при l = 0 от точек 2 и 4 имеем первые отраженные волны напряжения соответственно равные $u = u^{11} = \beta_4 \cdot u_{un}$. Эти волны при $T_u = \frac{I_u}{V_u}$ отражаются от сопротивления r_{un} и определяются выражениями:

$$\frac{4r_{4n} + z_{11} + 3}{4r_{4n} + z_{11} + 3}$$

$$\frac{6r_{3n}u_{3}^{n} + (2z_{3n} + z_{11} + 3z_{12})u_{1}^{n}}{4r_{3n} + z_{11} + 3z_{12}}$$
(6)

Выраження (6) получены аналогично выражения (4). При эремени $t = 2 T_{\mu}$ волны напряжений u^{10} и u^{10} в точках 2 и I снова отражаются с соответствующими значениями, определяемыми уравнениями

$$\begin{split} w_{V}^{W} &= \frac{2u_{0}^{W}}{z_{11}} - \frac{2u_{1}^{W}}{z_{11}} (z_{11} + r_{39}) - \frac{|-u_{1}^{W}|(z_{11} - z_{32})(z_{11} + \delta z_{12})}{z_{11} - z_{31}} - \frac{1}{z_{11}} (z_{11} + r_{39}) - \frac{|-u_{1}^{W}|(z_{11} - z_{32})(z_{11} + \delta z_{12})}{(z_{11} + z_{11})(z_{11} + r_{39}) - z_{12}(r_{39} - 3z_{12} - 2z_{11})} \\ u_{V}^{W} &= \frac{u_{V}^{W}[r_{39} + 2u_{1} + 5z_{10} - z_{11}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} - 3z_{12}) - 2z_{11})}{(z_{11} + z_{21})(z_{31} + r_{39}) - z_{12}(r_{39} - 3z_{12} - 2z_{11})} \\ \frac{6u^{W}}{u_{11}} - \frac{2u^{W}}{z_{21}} (z_{11} + r_{39}) - z_{12}(r_{39} - 3z_{12} - 2z_{11})}{(z_{11} + z_{21})(z_{11} + r_{39}) - z_{12}(r_{39} - 3z_{12} - 2z_{11})} \end{split}$$

полученными аналогично 4).

В дальнейшем процесс отражения в узле II и на вынодах \mathcal{M} соответственно повторяются через каждый промежуток времени $\Delta t = T_{**}$

В виду того, что нейтряль двигателя практически изолирована, рассмотрение ироцесса многократных отражений производится с учетом этого обстоятельства. При времени $t = 2 T_{+}$ со стороны изолированной нейтрали двигателя к точке 2 козвранцается волна $\Delta u_{24} = \Delta u_{24}$, которая преломляется; при этом

$$\Delta u_{\text{strp}} = \Delta r_{\text{str}} \Delta v_{\text{str}}$$
(8)

где: $\Delta z_{a} = \frac{2 z'_{a}}{z_{x1} + z_{z1}}$ - эквивалентный коэффициент преломления, z'_{1} -

волновое сопротивление одной "рабочей" жилы кабеля (для волны приходящей со стороны нейтрали двигателя), когда четвертая жила заземлена через сопротивление r_{10} ; $z_{k1}^r = z_{11} + 2 z_{12} - \frac{3 z_{12}}{z_{11} + r_{10}}$ рис. 4 .

В момент времени $t = 4T_1$ в точке 2 имеется преломленная волна $\Delta u_{24}^{1} = \Delta \beta_2 \Delta x_e \cdot \Delta u_{24}$: где $\Delta 5_2 = \Delta x_2 - 1$. В дальнейшем, в точке 2, этот процесс повторяется через каждый промежуток времени поскольку преломленные волны пр. распространяясь по кабелю доходят до заземления подстанции r_{an} , гле соответственно отражаются

Для получения максимального значения перенапряжения в начале обмотки и на корпусе двигателя следовало бы учесть достаточно большое число отражении и преломлений. Целесообразность такого рассмотрения целиком зависит от значений отраженных воли на выводах двигателя M и в нейтрали двигателя H. Кроме того, при двином рассмотрении полностью игнорируется затухание и деформация воли в кабеле и в обмотке двигателя, существенно снижающие величину перенапряжения [2, 3, 8].

При учете значения коэффициентов Δz_{a} (8) и (τ_{1x} — коэффициент затухания воли в обмотке двигателя), оказывается, что влияние преломленной нолны $\Delta u_{24 \text{ вр}}$ на величину перенапряжения в начале обмогки двигателя получается максимальным при $t = 2 T_{1}$ и доходит до значения (0.7 - 2.2)⁰/₀ от u_{xn} ; и момент времени $t = 4 T_{a}$ преломленияя волна уменьшается и меняет знак ($\Delta \alpha_{a} < 1$; $\Delta 3_{a} < 0$). В дальнейшем влияние $\Delta u_{24 \text{ вр}}$ еще больше уменьшается.

Учитывая вышеизложенное в расчетах перенапряжения в подвижной машине с учетом многократных отражений, влиянием преломленной волны $\Delta u_{24,mp}$ пренебрегаем.

Таким образом, при учете затухания воли в кабеле выражения $u_{z}(t)$ и $u_{4}(t)$ примут вид:

При практических расчетах и графических построениях следует учесть деформацию фронта волны для данного кабеля за каждый промежуток времени 27. С этой целью вводится в рассмотрение козффициент $K_{\rm s} = t_{\phi \rm s}$ представляющий собой соотношение длин фронта волны в начале и в конце кабеля. Следует отметить, что в случае, когда $2T_{\rm s} = t_{\phi}$ или близко к нему, влияние многократного отражения максимальное. Ясно, что при данной волне (когда $2T_{\rm s} > t_{\phi}$) с увеличением длины кабеля влияние многократных отражений уменьшается (отражение происходит на снадающем хвосте волны). Например, при коротких волнах, где $t_{\rm s} = 2T_{\rm s}$ ($t_{\rm s} =$ длина волны) влиянием

многократного отражения можно пренебречь. Следует отметить также, что в зависимости от величины сопротивления r_{3N} знак отраженной волны в подвижной машине может меняться. Отсюда ясно, что в зависимости от параметров волны, длины кабеля и сопротивления r_{3N} влияние многократных отражений будет различно.

При учете затухания воли в обмотке двигателя, выражение для напряжения в его нейтрали примет вид:

$$u_{a}(t) = u_{a}(t) + 2 v_{ta} \cdot \Delta u_{24} | t - v_{ta} \cdot \Delta \beta_{a}(t - 2 T_{a}) + \Delta \beta_{a}(t - 4 T_{a}) + \cdots$$
(10)

Из уравнения (10 видно, что максимальное значение напряжения практически будет определяться первыми двумя членами. Напряжение, воздействующее на изоляцию между нейтралью обмотки и корпусом двигателя $\Delta u_{34}(t) = u_3(t) - u_4(t)$ В случае кабеля на 3,0 кв (который имеет по три "рабочих" и "иулевых" жилы) определение величины напряжения воли при многократных отражениях производится авалогично случаю для кабеля на 1.0 кв. Пиже приводятся выражения для этих воли.

$$\begin{split} u^{1} &= u_{10} \frac{(z_{11} - z_{12})(z_{21} - 3r_{30} - z_{11} - 5z_{12}) - 3z_{31}(r_{30} - z_{12})}{(z_{11} - 5z_{12}) + (z_{11} - 2z_{12})(3r_{30} + z_{31}) + 3r_{30}(z_{31} - 3z_{12})} \\ u^{1} &= u_{10} \frac{z_{12})(3r_{30} - z_{11} - 5z_{12}) + (z_{11} + 2z_{12})(3z_{30} - z_{11} - 2z_{12})}{(z_{11} - z_{12})(z_{11} + 5z_{12}) + (z_{11} + 2z_{12})(3z_{30} - z_{31}) + 3z_{30}(z_{31} - 3z_{12})} \\ u^{01} &= \frac{6u^{01}r_{30} - u^{01}(z_{11} + 5z_{12})}{z_{11} - 5z_{12} + 6r_{30}} \\ u^{01} &= \frac{6u^{01}r_{30} - u^{01}(z_{11} + 5z_{12})}{z_{11} - 5z_{12} + 6r_{30}} \\ u^{10} &= \frac{6u^{01}r_{30} - u^{01}(z_{11} + 2z_{12})(z_{11} + 5z_{12})}{z_{11} - 5z_{12} + 6r_{30}} \\ u^{10} &= \frac{4u^{01}r_{11}(z_{11} - z_{12})(z_{11} + 5z_{12}) - 3r_{30}(z_{11} + 5z_{12} - z_{0})]}{z_{11} - 5z_{12} - 2z_{11}) - (z_{11} + 2z_{12})(3r_{30} - z_{31}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} + z_{12})} \\ \frac{u^{10}}{3r_{30}} &= \frac{u^{01}r_{11}(z_{11} + 2z_{12})z_{21} - u^{01}r_{11}}{z_{11} - 2z_{12})(3r_{30} - z_{31}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} + z_{12})} \\ \frac{u^{10}}{3r_{30}} &= \frac{2z_{12} - 3r_{30}}{z_{12} - z_{31}} - z_{11} - 2z_{12})(3r_{30} - z_{31}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} + z_{12})} \\ \frac{18}{3r_{30}(3z_{12} - z_{31}) - (z_{11} + 2z_{12})(3r_{30} + z_{31}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} + z_{12})} \\ \frac{18}{3r_{30}(3z_{12} - z_{31}) - (z_{11} + 2z_{12})(3r_{30} - z_{11}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} + z_{12})} \\ \frac{18}{3r_{30}(3z_{12} - z_{31}) - (z_{11} + 2z_{12})(3r_{30} - z_{31}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} + z_{12})} \\ \frac{18}{3r_{30}(3z_{12} - z_{31}) - (z_{11} + z_{12})(3r_{30} - z_{11}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} + z_{12})} \\ \frac{18}{3r_{30}(3z_{12} - z_{31}) - (z_{11} + z_{12})(3r_{30} - z_{11}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} + z_{12})} \\ \frac{18}{3r_{30}(3z_{12} - z_{31}) - (z_{11} + z_{12})(3r_{30} - z_{11}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} - z_{12})} \\ \frac{18}{3r_{30}(3z_{12} - z_{2}) - (z_{11} - z_{12})(3r_{30} - z_{11}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} - z_{12})} \\ \frac{18}{3r_{30}(3z_{12} - z_{2}) - (z_{11} - z_{12})(3r_{30} - z_{11}) - (z_{11} - z_{12})(z_{11} - z_{12$$

Выражение эквивалентного волнового сопротивления одной "рабочей" жилы кабеля, когда пулевые жилы заземлены через г.ш. булет,

$$z_{\rm si} = z_{\rm 1i} + 2z_{\rm 12} - \frac{9z_{\rm 12}}{z_{\rm 1i} + 2z_{\rm 12} + 3r_{\rm 3M}}$$
(12)

Волновые процессы в подвижной машине при частичной и полной намотке кабеля на барабан. При рассмотрении волнового про-

22

цесса кабельный барабан представляется сложной схемой замещения. наполобие схемы замещения силового трансформатора [5]

Как покязали экспериментальные исследования, в наших условиях, кабель, намотанный на барабан можно рассматривать в основном как сосредоточенную индуктивность [, [3]. При этом разность напряжения между жилами на конце кабеля определяется электрической связью между "рабочей" и "нулевой" жилами при соответственном числе витков и сопротивлении r_{им}.

Определение этой связи сводилось, грубо говоря, к определению искогорого коэффициента связи, которое производилось опытным путем на макете кабельного барабана [3]. Волна напряжения подавалась к началу кабеля, а в конце кабеля измерялось напряжение в .рабочей" и "нулевой" жилах, заземленных через $r_{10} = 203$ ом н $r_{10} = 0$. Опыты производились при различном числе витков кабеля на барабане.

Как показали опыты, благодаря большой электрической связи между жилами кабеля, напряжения на последних в основном определяются величиной сопротивления r_{im} , с уменьшением которого напряжения на концах жил кабеля уменьшаются. Величина разности напряжений между жилами при заданной приходяшей волне и сопротивлении r_{im} уменьшается с увеличением числа витков и при небольшом числе витков (w = 96) может быть практически принята равной нулю.

При расчетах принимаем, что напряжения в изчале обмотки двигателя и на его корпусе одинаковы.

Это допущение ведет к некоторому увеличению расчетного напряжения и, на корпусе двигателя, что двет некоторый запас при рязработке схемы грозозащиты.

а Кабель частично размотан с барабана и лежит на земле (рис. 36). Принимаем, что время двойного пробега волны пдоль размотанной части кабеля больше, или имеет такой же порядок как и элина фронта волны. При расчетах индуктивность l_{∞} предполагается сосредоточенной в одной точке, причем она не обладает ни емкостью $(C_{\infty} = 0)$. ни сопротивлением (r = 0).

В частном случае, когда по кабелю распространяется прямоугольная бесконечная волна u_{xn} , согласно рис. Зб, можно написать имражения для отраженной (u_{orp}) и преломленной (u_{np}) волны в виде [6]

$$u_{\rm orp} = u_{\rm sn} - u_{\rm sn} - \frac{2}{r_{\rm sn}} \left(1 - e^{-\frac{1}{r_{\rm sn}}}\right)$$

$$u_{\rm np} = u_{\rm s} - u_{\rm sn} \cdot \frac{r_{\rm sn}}{r_{\rm sn} + r_{\rm sn}} \left(1 - e^{-\frac{1}{r_{\rm sn}}}\right)$$
(13)

постоянная времени цепи

Из выражения (13) видно, что коэффициент отражения меняется во времени. В момент времени (t=0) 3=1, $u_{orp} = u_{xn}$, т. е. перед кабельным барабаном напряжение удванвается. Таким образом, вследствие наличия индуктивности изоляция на границе между размотанной и намотанной частями кабеля будет подвергаться воздействию двойного напряжения падающей волны ($2 u_{xn}$). Эта величина напряжения может оказаться самой опасной для изоляции кабеля

Выражение (13) показывает, что на величину максимальной крутизны волны при $t = 0; \left(\frac{du_n}{dt}\right)_{\text{макс}} = \frac{2u_{\text{кк}} \cdot r_{38}}{L_{\text{к}}}$ влияют, кроме амплитуды падающей волны $u_{\text{кп}}$, также величины $L_{\text{к}}^{+}$ и r_{38} . Следует отметить, что максимальная крутизна не зависит от волноного сопротивления $z_{\text{к}}$ кабеля.

Распространяющаяся но кабелю волна, имеющая характер анерио-

зических импульсов, выражается уравнением: $u_{\kappa n} = u_0 \left(e^{-\frac{1}{1_1}} - e^{-\frac{1}{1_1}} \right)$,

где: T_1 и T_2 — постоянные времени, характеризующие соответственно длину фронта (t_{Φ}) и длину хвоста (t_b) волны.

Для определения напряжения u₂(t) на сопротивлении r₃₄ (рис. 36) воспользуемся интегралом Дюамеля [9]:

$$i(t) = u_{sn}(0) \cdot y(t) + \int_{x=0}^{x-t} y(t-x) \cdot u_{sn}(x) dx,$$
(14)

а.

 $u_{n}(t) = i(t) \cdot r_{\text{DM}}.$

Решая уравнения [14], получим:

$$u_{2}(t) = \frac{2 u_{0} r_{2M}}{z_{K} + r_{2M}} \left[\frac{1}{T_{1} - \tau_{1}} \left(T_{1} e^{-\frac{t}{\tau_{1}}} - \tau_{1} e^{-\frac{t}{\tau_{1}}} \right) - \frac{1}{T_{2} - \tau_{1}} \left(T_{2} e^{-\frac{t}{\tau_{2}}} - \tau_{1} e^{-\frac{t}{\tau_{2}}} \right) - \tau_{1} e^{-\frac{t}{\tau_{1}}} \right]$$

$$- \tau_{1} e^{-\frac{t}{\tau_{1}}} \left[15 \right]$$

Отсюда следует, что при t = 0, $\frac{dw_2(t)}{dt} = 0$, поэтому в начале процес-

са скорость подъема волны напряжения за кабельным барабаном (на с очень мала. В дальнейшем эта скорость возрастает и лостигает максимума, после чего спадает.

Крутизна преломленной волны 🤐 (С определяется выражением

$$\frac{du_2}{dt} = \frac{2}{z_* - r_{_{34}}} \left[\frac{1}{T_1 - \tau_1} \left(e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) - \frac{1}{T_2 - \tau_1} \left(e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{T_2}} \right) \right].$$
(16)

Из (15 и 16) нетрудно убедиться, что величина амплитуды и крутизна преломленной волны R_2 (t) определяются величинами L_{k}^{1} – и r_{m} . Максимальная крутизна при пологой форме волны будет меньше, чем при волне с отвесным фронтом.

В случае частичной намотки кабеля учет влияния многократных отражений на величину и_д (1) не производится, так как это влияние практически незначительно.

6) Кабель по всей олине намотан на барабан рис. Зн). — В расчете принимается, что кабельный бярабан обладает только индуктивностью через которую распространяется волна напряжения

 $u_{\mu}\left(e^{-r_{t}}-e^{\overline{r_{t}}}\right)$. Пользуясь интегралом Дюамеля, определим выражение для $u_{\mu}(t)$:

$$a_{2}(t) = u_{0} \left[\frac{1}{T_{1} - \tau_{2}} \left(T_{1} e^{-\frac{t}{T_{1}}} - \tau_{2}^{*} e^{-\frac{t}{\tau_{2}}} \right) - \frac{1}{T_{2} - \tau_{2}} \left(T_{2} e^{-\frac{t}{T_{1}}} - \tau_{2} e^{-\frac{t}{\tau_{2}}} \right) \right] (17)$$

 $r_{\rm e} = \frac{L_{\rm g}}{r_{\rm ee}}$ – постоянная времени цепи.

В этом случае крутизна волны u_n(t) определяется выражением

$$\frac{du_{z}(t)}{dt} = u_{0} \left[\frac{1}{T_{1} - \tau_{z}} \left(e^{-\frac{t}{\tau_{1}}} - e^{-\frac{t}{\tau_{1}}} \right) - \frac{1}{T_{2} - \tau_{z}} \left(e^{-\frac{t}{\tau_{1}}} - e^{-\frac{t}{\tau_{1}}} \right) \right], \quad (18)$$

При данной длине кабеля (l_x) , очевидно, что $\tau_2 > \tau_1$ $(L_x > L_u^1; z_1 + r_{u} > r_{su});$ следовательно, из выражения (15) - (18) следует, что величина амилитуды и крутизна волны и точке 2, в случае полностью намотанного кабеля, значительно меньше, чем при частично намотанном кабеле.

В этом случае цепь состоят из сосредоточенных параметров L. и r_{in}, в которых отсутствует волновой процесс.

При анализе трех условий работы кабеля, оказывается, что волновые процессы сильно отличаются друг от друга. Если в первом случае расчетная схема состоит из элементов с распредсленными параметрами, то во втором и третьем случаях добавляются элементы со сосредоточенными параметрами.

Экспериментальное исследование. Для экспериментального определения перенапряжения в различных элементах схемы ПЭА был собран его макет. Макет состоял из следующих основных узлов: 1) сопротивления z_n , имитирующего волновое сопротивление трех фаз линии передачи 6 – 10 кв $z_n = z_n = 230 \text{ о.к}$; 2) Сопротивления $r_{\rm sel}$ имитирующего сопротивление заземления передвижной подстанции ($r_{\rm se} = = 10 \text{ о.к}$); 3) кабелей 1,0 и 3,0 кв; 4) кабельного барабана; 5) двигателя с номинальным напряжением 1.14 кв, мощностью 25,0 квт; 6) переменного сопротивления $r_{\rm int}$, имитирующего сопротивление заземления корпуса подвижной машины ($r_{in} = 0.56$, 92 и 203 ож); 7 дросселя (без железа) L_{av} .

Сопротивления z_3 , r_{3n} и с бифилярные. Тип и конструкция кабелей и двигателя приведсны в [2,3]. Длина кабеля и число его витков на барабане приводятся на рис. 5—9, там же приводится схема соединения элементов макета.

Опыты проводились для вышеуказанных трех условий работы кабеля на территории Института электротехники АН Армянской ССР.

Напряжения подавались от генератора импульсного папряжения (ГИН) при и₀ = 4.16 5.09 кв, 2.2 47, 2.5 60, 1.04/6,6 *мксек* (рис. 5 – 9). Напряжение на генераторе измерялось при помощи шарового разрядника Д = 2,0 см с подсвечиванием кварцеными лучами и с помощью катодного осциялографа типа КО = 20 через омический делитель 600 ом.

До экспериментов были определены волновые параметры кабелей и двигателя, данные которых приведены в табл. 1

Таблица Т

Парамет- ры полны Цф/Гл	Волноное сопро- типление	Коэф. за- ryx, вол- ны т	Коэф, ле фор фронта волны <i>к</i>	Скор. распр. полны V	Коэф. связк мажду жилами Ас	Примечание
MRC MRI	0.4	-		¥ .486	-	
2.2/47	117	0,90	0,70	105	0.84	Кабель 1,0 кв, типа
1.04/6.6	120	0.82	0.60	110	-	КШЭП 4×10 ж.е.
2.2/47	107	0.88	0,50	90	0.89	Кабсаь 3.0 кв: 3×2, 5+
1.04 6.6	105	0.83	0.45	95	0.88	- 3×1 .к.» ² , опытный
2,2/47	1100*	0.88	0.35	115	_	Двигатель 1.14 кв. 25 квт

z = 1100 о.ч для одной фазы обмотки дентателя.

С номощью аналогичного второго катодного осциллографа измерялись напряжения: u_1 на сопротивлении r_{10} (точка 1), $u_2 = в$ начале обмотки двигателя (точка 2), $u_3 = в$ нейтряли двигателя (точка 3), $u_4 =$ на корвусе двигателя (точка 4, рис. 5—9), Δ и Δ u_{24} между точками 2—4 и 3—4, при величиие сопротивления $r_{10} = 0$; 56, 92 и 203 ома. При сиятии осциллограмм Δu_{24} и Δu_{24} иластины явления осциллографа изолировались от "земли" схемы.

На рис. 5 9 приведены осниллограммы напряжения в элементах схемы при различных волнах и условиях работы кабеля.

Для определения опасных перенапряжений, полученные занные пересчитаны с низкого (т. с. напряжения, при которых производились опыты) к высокому папряжению. При пересчете значения коэффициентов 40. 41. k, u, k, принимались такими же как и при опыте. В эк-

26



машины. Исходной велна Up=4160 8, to / tr= 1.04/6.8 MASER Применание: Кабель 10 кв. лежащий Ran 24 HO BEMAR - AUgu(E)= Ug(E)= Ug(E) : 24 a Ush (1) = Us(1) - Up(0) R=127 M На осциллогранмах указаны макси. Мальные напряжения. Тере 1,1 месен

PUC 5

150

 $C_{R} = 4.0 \text{ Mep}$ $R_{P} = 1.25 \text{ om}$ $Z_{A} = 230 \text{ om}$ $C_{g} = 2.01 \text{ Mep}$ $R_{gP} = 3150 \text{ m}$ $R_{3n} = 10 \text{ om}$



4-8Y

Cx=4.0 MAR Rp=20,50M

Co=0,015 MKgs Rep= 54 OM

Ex.o

乳。

Z = 230 0M

Ran=100M

45

30

15

RIM

allow=f(Ran)

50 100 150 200 250 om

C. = 310 M

Ram

Исциплорраммы аамы напряжения о токах 1,2,3 и 4 макета передвинсной машины. Валны Сняты при различных величинах сопротивления завемления корпуса передвижной машины. Исходная волна U₀=5200 б; Сф/Lg=2.2/47мксек Примечание: кабель за хв-лежащий на вемле sU₀(1)=U₀(1)-U₀(1), sU₀(0)-U₀(1), 4U₀(0)-U₀(1), 4U₀(0)-U₀(0)-U₀(1), 4U₀(0)-U₀(0)-U₀(1), 4U₀(0)-U₀(0)-U₀(1), 4U₀(0)-U₀(0)-U₀(1), 4U₀(0)-U₀(0)-U₀(0)-U₀(1), 4U₀(0)-U₀(0)-U₀(0)-U₀(1), 4U₀(0)-U₀(0)-U₀(1), 4U₀(0)-U₀(0)-U₀(1), 4U₀(0)-U₀(0)-U₀(0)-U₀(0)-U₀(0)-U₀(0)-U₀(1), 4U₀(0)-U₀(0)-U₀(0)-U₀(1), 4U₀(0)-U₀(0)-U₀(0)-U₀(1), 4U₀(0)-U





Осцияловрамны балны напряжания в точках 1.2.3 и 4 макета передвижной машины волны сняты при различных величинах сопративления заземления корпуса передвижной ташины Исходная волна Upt700 в. tp/tg=2.2/47нее Примечание: кабель 30 кв-натотанный на варабан W=234 витков. На осциплограммах Ухазаны максимольные напряжения. T2p = 51 нксек



10

12

Raw

(a)

Zn = 230 ON

CK= 4.0 MKp Rp= 1.25 ON

Cg = 0,01 MKp Rq = 31,5 ON Ran = 10 OM

заземления корпуса перезвижной MOWUNDI. UCROGNOR BOAND US= 44408. to/tg=1,04/8.5 MACER.

Примечание: кобель зо кв С.= 310 м. часть которого (Си=120м) намотанака Sapaban W=109 BUMNOB. AUDU(t)= Up(t)-Up(t); a Uzy=Uz(t)-Uy(t); Ho OCUUNNOZOOMHOX UKOSONOI MOKE NOMPENERUN TEO=1.1 MECER

Рис. 8.

50

Ram

12.41

100 130 200



MARCHAIE HARDROKEHUR. TEDELIMNOCK



спериментах эквивалентное расчетное сопротивление 2 (1) принималось равным $z = \frac{1}{z_{e} - r_{m}} = 9.24$ ом. где $r_{m} = 10$ ом. Согласно рис. 1. при $u_{0} = 2200$ кв. напряжение на сопротивления r_{m} равно $u_{1} - u_{m} = -84.6$ кв. Таким образом, принимая напряжение в начале кабеля



Puc. 10.

и¹ = 84,6 кв (при полной намотке кабеля и¹ = 91,7 кв), напряжение на остальных элементах соответственно пересчитывалось умножением ве-

личины каждого напряжения из козффициент "

Результаты пересчета приведены в таблице 2.

В условиях приведенного опыта при $u_0 = \text{const.} u_2 = u_3$ и $u_3 = f(r_m)$. С увеличением величника r_m амилитудное значение воли u_2 и u_1 увеличивается. Напряжения Δu_{24} и $\Delta u_{34} = f(\frac{1}{r_m})$. Гак как дроссель L_{49} имеет значительную индуктивность ($L_{29} = 1.6$ генри), нейтраль двигателя можно считать изолированной от "земли

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать следующие выподы:

1) Кабель полностью размотан. – а) максимальное перенапряжение в подвижной машине относительно "лемли" имеет место в нейтраля твигателя, а минимальное— на его корпусе, б) несмотря ил большое значение коэффициента связи K_c межлу жилами кабеля, перенапряжения, воздействующие на изоляцию двигателя достигают значительной величины, и ввиду наличия сильной электромагнитной связи между жилами кабеля, по исех случаях перенапряжения в подвижной машине определяются, главным образом, сопротивлением заземления $r_{\rm as}$. г затухание и деформация воли в кабеле значительно уменьщают перенапряжения во всех элементах ПЭА, д крутизна воли $\Delta u_{\rm M}^4$ и $\Delta u_{\rm m}$ (остигает максимума при $r_{\rm aw}$ О и с нозрастанием длины волны убывает. Следует отмети ь, что вследствие наличия звачительного затухания и деформации волны в обмотке двигателя.

В Перечисленные экспериментальные лавные по перепанряженны в 113 х										
	Параметра	а нехолной ны	Параз	ютры воли в	ан в точках 1, 2, 3 и 4 Параметры воли между Сооротия, заменной точками 2-4 и 3-4 машини					
	£4./24	U ₂	u_1/l_1^{\bullet}	u_3/t_2^4	$w_{k}(t_{3}^{\ast}$	4.24	Δματημάσι	3.9,47,631	Гры	Примечание
Þ•	мксек/мксек	1.8	кө/мксек	ка/мксек	кв/мксек	**/.4KCOK	K8/.4 .CON	кајмксек	0.4	
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 9 20 21 22 23 24 5 26 27 28	2.2/47 2.2/47 2.2/47 2.2/47 1.04/6.6 1.04/6.6 1.04/6.6 1.04/6.6 1.04/6.6 1.04/6.6 1.04/6.6 1.04/6.6 2.5/60 2.5/60 2.5/60 2.5/60 2.5/60 1.04/6.6 1.04/6.6 1.04/6.6 1.04/6.6 1.04/6.6 1.04/6.6 1.04/6.6 1.04/6.6 1.04/6.6 1.04/6.6 1.04/6.6 2.2/47 2.2/47 2.2/47	2200 2200 2200 2200 2200 2200 2200 220	$\begin{array}{c} 84.6/2.4\\ 84.6/2.4\\ 84.6/2.4\\ 84.6/2.4\\ 84.6/2.4\\ 84.6/1.1\\ 84.6/1.1\\ 84.6/1.1\\ 84.6/1.1\\ 84.6/2.4\\ 84.6/2.4\\ 84.6/2.4\\ 84.6/2.4\\ 84.6/2.4\\ 84.6/1.1\\ 84.6/1.1\\ 84.6/2.8\\ 84.6/2.8\\ 84.6/2.8\\ 84.6/2.8\\ 84.6/2.8\\ 84.6/2.8\\ 84.6/2.8\\ 84.6/2.8\\ 84.6/2.8\\ 84.6/2.8\\ 84.6/2.8\\ 84.6/2.8\\ 84.6/2.8\\ 84.6/2.8\\ 84.6/1.1\\$	$\begin{array}{c} 103/3.3\\ 79.8/3.3\\ 79.8/3.3\\ 70.4/10.0\\ 29.6/2.6\\ 100/3.3\\ 76.63.3\\ 60.9/3.3\\ 30.2/2.2\\ 102/7.0\\ 73.55.5\\ 62.3 15.5\\ 18.3/4.4\\ 10.2 4.4\\ 164.04.4\\ 47.7/4.4\\ 165.9/4.0\\ 70.3/6.0\\ 48.5/13.2\\ 34.0/20.0\\ 9.1/3.8\\ 62.2 5.0\\ 40.3/5.0\\ 26.4/5.0\\ 7.7/3.3\\ 36.1/>38.0\\ 21.6/>38.0\\ 21.6/>38.0\\ 21.6/>38.0\\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 113/4.0\\ 89.3/4.4\\ 84.6.5.0\\ 32.0/5.0\\ 106.4.4\\ 84.6.4.4\\ 66.2/4.4\\ 30.2/3.8\\ 116.7.7\\ 84.6/5.5\\ 66.8/9.2\\ 25.1/4.8\\ 93.3/5.5\\ 68.2.5.5\\ 50.8/5.5\\ 23.1/4.4\\ 73.0/7.9\\ 50.0.20.0\\ 36.5.20.0\\ 10.0.4.4\\ 65.0/5.5\\ 41.8/5.5\\ 9.45/4.4\\ 36.1/>38.0\\ 21.6/>38.0\\ 21.6/>38.0\\ <1.8/>38.0\\ <1.8/>38.0\\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 100/4,4\\75,2,4,4\\70,4/11,0\\0\\95,3,3\\68,8,3,8\\47,6,4,0\\0\\100,7,0\\69,0/7,7\\57,9/17,0\\0\\82,5/4,4\\54,0/4,6\\37,0/4,7\\0\\67,0/6,2\\46,5/13,2\\33,0/20,0\\0\\57,3/4,9\\33,4/4,5\\18,9/4,9\\18,9/4,9\\18,9/4,9\\0\\36,1/>38,0\\<1,8/>38,0\\<1,8/>38,0\\\end{array}$	$\begin{array}{c} 9.8,2.2\\ 14.3,2.2\\ 19.7,2.5\\ 29.6,2.6\\ 11.1,2.2\\ 16.6,2.2\\ 30.2,2.2\\ 7.14/3.6\\ 11.6,4.1\\ 12.1/13.8\\ 17.4/4.4\\ 8.2/2.2\\ 10.6/2.5\\ 11.0/3.3\\ 16.9/4.0\\ 5.7/4.4\\ 6.8/4.6\\ 7.1/4.4\\ 9.1/3.8\\ 4.1/2.7\\ 5.4/3.3\\ 6.5/3.0\\ 7.7/3.3\\ 1.8 > 38.0\\ <1.8/>38.0\\ <1.8/>38.0\\ <1.8/>38.0\\ <1.8/>38.0\\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 10.8/3.3\\ 15.33.3\\ 20.4/3.8\\ 32.0/5.0\\ 11.1/3.8\\ 16.6/3.8\\ 19.6/3.8\\ 30.22.8\\ 8.34.4\\ 13.4/4.8\\ 10.73.8\\ 13.4/4.8\\ 10.73.8\\ 13.6/3.6\\ 15.9/3.7\\ 23.1/4.4\\ 6.3/4.8\\ 8.0/4.8\\ 8.7/4.8\\ 10.0/4.4\\ 5.4/4.4\\ 7.2/4.4\\ 7.7/4.4\\ 9.4/4.4\\ <1.8/>38.0\\ <1.8/>38.0\\ <1.8/>38.0\\ <1.8/>38.0\\ <1.8/>38.0\\ \end{array}$	203 92 56 0 203 52 56 0 203 52 56 0 203 52 56 0 203 52 56 0 203 52 56 0 203 52 56 0 203 52 56 0 203 52 56 0 203 52 56 0 203 52 56 0 203 52 56 0 203 52 56 0 203 52 56 0 203 52 56 0 203 52 56 0 203 52 56 0 2 56 0 203 52 56 0 2 56 0 2 56 0 2 56 0 2 56 0 2 56 0 2 56 0 2 56 0 2 56 0 2 56 0 2 56 0 2 56 0 2 56 0 56 0	Кабель 1,0 ка лежит на земле Кабель 3,0 ка лежит на земле Кабель 3,0 ка лежит на земле Кабель 3,0 ка честич- но намотан на ба- рабан w = 109 витков Кабель 3,0 ка намо- тан на барабан нолностью w = 234 витков

Значение 12, 12, 1, 1224 и 1234 соответствуют максимальным значениям напряжений.

TaGAUNA 2

 $\Delta u_{A}^{I} > \Delta u_{34}^{I}$, междувитковая изоляция у нейтрали, сравнительно с начальной частью обмотки находится в относительно благоприятных условнях.

2) Кабель частично размотан на земле. — Перенапряжения волн в элементах макета сравнительно невелики. Это можно объяснить наличием сосредоточенной индуктивности намотанного кабеля, которая ограничивает и сглаживает приходящие от полстанции волны. Влияние этой индуктивности сильнее при коротких волнах. Величины перенапряжения и Δu_{34} значительно занижены. Ввиду наличия сильной электрической связи между жилами кабеля, зависимости u_{m} , u_{3} и от r_{-4} сильнее, чем в первом случае. Крутизна воли Δu_{-4} и Δu_{-3} значительно ниже, чем в первом случае.

3) Кабельзиолностью намотан на барабан. Вс едствие сравнительно большой сосредоточеньой индуктивности перенапряжения более занижены, чем в первых двух случаях. Как видно из пересчитанных данных, при w – 234 витков, величина напряжения безонасия для изоляции обмотки дингателя (при w – 96 витков, величина напряжения величина напряжения все же остается опасной)

На основании полученных данных можно сказать, что, несмотря на наличие электромагнитной связи между жилями кабеля, перенапряжения в точках 2, 3 и 4, а также между ними (Δu_{*} , и Δu_{34}) безусловно остаются нелопустимыми для главной и междувитковой изоляций двигателя и опасны для обслуживающего персонала. При этом максимальные перенапряжения имеют место и случае полностью размотанного кабеля. Следовательно, имеется необхо имость разработки грозозащиты, рассчитанной для случая размоганного кабеля.

Вопрос грозозащиты двигателей подвижной машины гребует отдельного рассмотрения. Можно указать следующий способ ее осуществления; на конце кабеля, где подключаются двигатели, включается комплект вентильных разрядников с конденсаторами; поскольку разрядники на такое напряжение не выпускаются, необходимо рассмотреть также варнант искровых защитных промежутков с конденсаторами. Следует также предусмотреть различные мероприятия для уменьшения перенапряжения со стороны ЛЭП 6—10 кв. а также на попизительной подстанции.

Для сравнения экспериментальных данных с расчетными, по предлагаемой методике определения частичных волновых сопротивлений z_{11} и z_{12} [4] и расчета перенапряжения в точках 1 – 4 (рис. 4) представленный в настоящей работе был произведен расчет при волне 2,2/47 мксек. При расчете были использованы волновые параметры кабеля в двигателя, данные которых приведены в таблице 1. При сравнении опытных данных с расчетными, оказалось, что при размотанном кабеле их расхождение не превышает 5 – Для примера на рис. 10 приведены расчетные и экспериментальные графики изменения напряжения u_0 и u_4 во времени в начале обмотки двигателя и на его корпусе при $r_{34} = 203$ и 92 ом. для приведеных двух типов

кабелей 1,0 и 3,0 кв. Отсюда видно, что предлагаемый метод расчета перенапряжения с учетом электромагнитной сиязи между жилами кабеля для намхудщих условий работы подвижной машины, может бить практически приемлемым.

В случае полной намотки кабеля расхождения данных доходят до 30° /. Такое сравнительно большое расхождение можно объяснить тем, что при расчетах напряжение в конце всех жил кабеля принииалось одинаковым. В действительности между точкой 2 и 4 при полной намотке имеется некоторая разность потенциалов, величина которой увеличинается с уменьшением $r_{\rm ow}$. Такое допущение приводил к увеличинается с уменьшением $r_{\rm ow}$. Такое допущение приводил к увеличению тока Δt (через $r_{\rm ow}$), что. в свою очередь, приводит к увеличению напряжения на $\Delta u = \Delta t \cdot r_{\rm ow}$. Как показали опытные и предварительные расчетные данные, при полной и частичной намотке кабеля, перенапряжение получается значительно меньше, чем в случае полностью размотанного кабеля, поэтому их более точное расчетное определение не производилось.

Институт электрогелизки АН Армянской ССР

Поступная 5. У. 1960

Մ. Մ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ՄԲՆՈԼՈՐՏԱՅԻՆ ԳԵՐԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱԲՅԸ ԼԼԵԿՏՐԱԿԱՆԱԵԼԱՆ ՏԵՂԱՓՈԽԵԼԻ ԱԳՐԵԳԱՏՆԵՐՈՒՄ

Ամփոփում

ունդավողնելի աղբեղումերը մեվում են էլեկտրականությանը իջեցնող տրանսֆորմատորների 6-10 կլ աղորդման գծել երը թնոլորապին դերլարումների պատճառով ոռմ են իջեցնող տրանոֆորմատորի լված պաշտպանիչ սարբերը նրա կարկանի վրա գերլարման չավը հասնում է 80,5–90,3 կվ։ Լարման ալիրը ա հ րավական մեծ չավող հասնում է առանց գրահի, ձկուն, բաղմաջիղ կարևլով մինչև տեղափոխնի մերենան, որտեղ լարման մի մասը անդրադառնում է, մի մասը բեկվում։ աագալում ալ

ողվածում թերվում են տեղափոխե մերննայում զերլարումների $u_3, u_4, \Delta u_{44} - \Delta u_{34}$ և փորձկան մեծութկունները կարելի հանդալ պատմաններում՝ ա) կարելը ամբողջ երկարութկամը փոված է գրա, բ) կարելը փոված է գետնի վրա մասնակի, իսկ մնաստծ մասը փախանված է խմբուկի վրա, գ) կարելը ամբողջ երկարութկամը փունանված է խմբուկի վրա։ Գերլարման մեծունկան շաշվարկումը կատարվել է շաշվի առսելով կարելի ջիղերի գորություն ունեցող էլիկարումանրի բույները բյու անդափոխնլի մերննայի շողանցման տարբեր գիմադրությունների r, մամանակ։ Հարկավոր է նշել, որ ավյալ փորձի մամանակ ամենադարումը գերլարումը («դեսներ» նկատմամը) տեղափոխելի մերննայի շարժիչում տեղի ուն նրա փախույնի չեզութում իսկ ամենափութըի՝ նրա կարկասի վրա (մ,)։ Շնորշիվ

35

կան գերլարամները ՀԱ., և ՀԱ₃₁, որոն,ը ազդամ են կառացման խիստ հերպով կախված են տեղափոխելի մեջննայի հոդանցման գիմագրության ք., մեծությանից։ Ընդորում, այդ լարումների ամենաբարձր արժերը տեղի ունի, երբ ք. =0։ Ինչպես հաշվային, այնպես փորձնական ավյալները ցույց են տալիս, որ տեղափոխելի մերենալում ամենաբարձր դերլարումները տեղի ունեն, երբ կարելը ամբողջ երկարաթյամբ փովաձ է գետնի վրա, իսկ ամենափորթը՝ երբ կարելը ամբողջովին փաթաթ վում է թեմբանի վրա։

Ստացված դերլարումները իրենց մեծությամը վտանդավոր են թե շաառործող անձնակազմի և թե էլեկտրական չարժիչների և այլ սարջերի մեկուսացման չամար։ Ուստի անչրաժեշտ է մչակել չամապատասխան սխեմա տեղափոխելի մերենան մթնոլորտային դերլարումներից պաշտպանելու չամար։

Աիաժամանակ անդրաժե է միջոցառումներ ձևոնարկել լեկտրաչաղորդեմ դծերից հկոդ դերլարումների փորրացման չամար։

Հաշվալին և փորձնական ավլալները իրար համ հանհատելիս պարդվամ որ նրանց միջև եղած տարբերա Թյունը չի անցնում 5 + 12°, ուստի հոդվածում բերված հաշվալին մեթողը պրակտիկորեն՝ ընդունելի է էլեկտրականացված տեկավորելի՝ ադրեդատներում մխնոլորտային դերլարումները ռաշվերո համութ

ЛИТЕРАТУРА

- Каралетия М. М., Торосян А. С. Запинтный промежуток ЗП—1 для цели 1000 пореднижной подстанний электротръкторного агрегата. "Навестия АН Ариянской ССР" (серия техн. наук), том IX, № 8, 1956.
- Карацетин М. М. Волновые характеристики гибких кабелей переднижных услаповок. Изпестия "АН Армянской ССР" (серия техи, наук), том Х. № 3, 1957.
- Карапетин М. М. Некоторые вопросы волновых процессов в переденжных эдектрифицированных установках. "Известия АН Арминской ССР" (серия техи, наук), том Х. М. 3, 1957.
- Каралетян М. М. Метолика определения собственного и изаямного волновых сопротивлений жиз шлангоных и сизовых кабелей. "Известия АН Армянской ССР-(серия техи, наук), том ХШ, № 2, 1959.
- Костенко М. В. Атмосферные перенапряжения и грозолащиты пысоковольтных установок. М., 1949.
- 6 Рюденберг Р. Явление неустановившегося режима в электрических установках, М., 1931.
- 7. Разевиг 📶 В. Затухлине поли в кабелях. Электричество, № 5. 1948.
- Valentine W. W., Dillard I. K., Clayton I. M. Surge attennation in power cables. Power Apparatus and Systems, № 21, 1955.
- 9. Пейман Л. Р. н Калантаров П. Л. Теоротическая основа электротехники. Часть вторая. М. – Л., 1954.

зырабицина и върни XIII, Ne 4, 1960 Серия технических наук

ГИДРАВЛИКА

Л. А. МОВСЕСЯН

К ВОПРОСУ ОБ ИНЕРЦИОННОМ СОПРОТИВЛЕНИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Обычно одномерное стационарное линжение газа в длянных прамолинейных трубопроводах постоянного сечения описывается слелующей системой уравнений [1]:

уравнением импульсов

$$wdw = -\frac{dp}{g} - \frac{4pw^2}{2D} dx; \qquad (1)$$

уравнением неразрывности

$$Fpw = G \quad \text{const}; \tag{2}$$

я уравнением состояния (для идеального газа)

$$p = \rho g R T. \tag{3}$$

где р-средняя по сечению плотность газа.

и _____ екорость

р — среднее "Давление "

x — направление потока.

G — массовый расход газа.

F - площадь поперечного сечения трубы,

g-ускорение свободного паления.

R — газовая постоянная.

7 вбсолютная температура газа.

4 — коэффициент сопротивления.

В условиях изотермического течения газа T и : постоянные величниы, поэтому уравнения (1). (2) и (3) образуют замкнутую систему относительно текущих величин p, w и ϕ в функциях от x.

Для достаточно длинных газопроводов потеря энсргия на инерционные сопротивления пренебрежимо малы по сравнению с потерями на трение [2], поэтому во многих случаях инерционный член wdw onyckaetcs.

Урависние (1) без учета инерционных потерь при изличии соот-Биошений (2) и (3) легко интегрируется. В результате получается так явзываемая формуля Веймаута для определения расхода газа

$$G = F \sqrt{\frac{1}{\overline{g}RTL}} D, \tag{4}$$

Л А Мовсесян

где *p*_и н *p* — давление газа соответственно в начальном и конечном сечениях.

L - длина гизопровода.

С учетом инерционного члена интегрирование уравнения (1) дает следующую формулу для расхода газа [3]:

$$G = F \int \frac{p_n - p_n}{gRT\left(iL + 2D \ln \frac{p_n}{p_n}\right)} D, \qquad (5)$$

откуда видно, что при увеличении L инерционные потери, выражающиеся членом 2D in . увеличиваются незначительно.

В работах [4], [5] предлагается .новая" методика расчета магистральных газопроводов с учетом инерционного члена в уравнении (1), при котором получается иная зависимость расхода от инерционного сопротивления: чем длиннее газопровод, тем существениее влияиме инерционных потерь.

Авторы вышеуказанных статей утвержднют. что при наличин инерановного члена при интегрировании уравнения (1) нарушается линейность преобразований, что не согласуется с выводами теории подобия и размерностей: следовательно, по их мнению необходимо принимать с = const. ибо это положение, верное и условиях внешней задачи, в условиях внутренней "очевидно было забыто". В подтверждение сказанному они исходят из того, что при исследовании изотермического движения газа в масистральных газопронодах уравнение энергии не должно быть отброшено, "что делалось до настоящего времени".

Поэтому в целях исследования к системе (1), (2), (3) они присоединяют уравнение энергия (теплосодержания) для единицы массы газа

$$dQ = d\left(i + \Lambda \frac{da^2}{2}\right)$$
 (6)

которое для изотермического движения примет вид

$$dQ = Ad\left(\frac{d}{2}\right). \tag{6'}$$

где Q-количество притока тепла к газу изоне,

А - тепловон эквивалент механической работы.

1 — энтальния (теплосодержание) единицы массы газа.

Так как гемпература газа приближенно "принимается" равной температуре окружающей среды, то в условнях изотермического течения $dQ \approx 0$, откуда получается "абсурдный" результат: w =const. Следовательно, по их мнению, пренебрежение величиной dQ (что равно-сильно пренебрежению инерционным членом) "игнорирует физическую

38

сушность процесса. В этом случае уравнение (1) превращается в обыкновенное уравнение Дарси и. следовательно, при его интегрированни скоростной напор р _____ должен приниматься постоянным^{*}. Это и является их исходным положением. При такой постановке внутренней задачи при наличии соотношений (2) и (3) интегрируется уравнение (1). После ряда математических выкладок получается следующая формула для расхода газа, по-иному учитывающая неличину нотерь от инерционного сопротивления:

$$G = F \left[\sqrt{\frac{\left(p_{\pi}^{1} - p_{\pi}^{1} \right) \left(1 - \epsilon M_{\pi}^{2} \frac{m_{\pi}}{p_{\pi}} \right)}{\epsilon_{g} RT L}} D_{r} \right]$$
(7)

где и — показатель аднабаты.

М. - число Маха по начальному сечению-

Из формулы (7) видно, что при больших перепадах давления (а спорятельно при больших L), член х $M_{\mu}^{\mu} \frac{p_{\mu}}{p_{\mu}}$, выражающий пеличину инарционных потерь, в противоположность формуле (5), может существенным образом повлиять на величину расхода G. Поэтому, исходя из этого, авторы вышеназванных статей утверждают, что при рисчете чагистральных газопроводов нельзя пренебрегать инерционными вотерями, и расчеты вести не по формуле (5), а по формуле (7).

Правильно ли подошли авторы подобного утверждения к этому поросу?

Во-перяых, покажем, что преобразования, связанные с интегригованием уравнения (1), не противоречат прянципам подобия и размерностей, как утверждают авторы вышеназванных статей.

Посредством уравнения неразрывности в дифференциальной форме



и соотоошения (3) уравнение (1) можно привести к следукщему сониношению в безразмерном виде:

$$d\left(\mathcal{M}^{2}\right) = \frac{2}{x} \frac{d\mathcal{M}}{\mathcal{M}} - \vdots \frac{\mathcal{M}^{2}}{D} dx.$$
(8)

гле М — текущее число Маха (в условнях изотермического течения скорость звука с == const).

После интегрирования уравнения (8) получим

$$\frac{1}{x} \frac{M_{x}^{s} - M_{x}^{s}}{M_{x}^{s} M_{x}^{s}} = \xi \frac{L}{D} = \frac{M_{x}^{s}}{M_{x}^{s}}.$$
 (9)

где индексами "н" и "к" обозначены параметры по соответственно ивчальному и конечному сеченням газопровода. Легко убедиться, что второй член правой части характеризует инерционные потери. При наличии соотношения

$$\mathcal{M} = G \frac{V gRT}{FpV x}$$

которое может быть получено из уравнения (2) и (3) (при изотермическом движении $c^2 = \star gRT$), из уравнения (9) легко получается формула (5). Заметим, что из соотношения (9) вытекает условие

$$p_s \frac{w_s^2}{2} \neq p_s \frac{w_s^3}{2}$$
, (10)

Между прочим, в целях оценки инерционного сопротивления с принципиально повых позиции авторы вышеназванных статей обратились к соотношению (9), как к вспомогательному уравнению (без инерционного члена!), не замечая того, что из него следует условие (10), которое находится в противоречии с их исходным положением.

Что касается того вопроса, что к уравнениям (1), (2) и (3) необходимо еще присоединить ураинение эпергии (6), то в этом нет нужды. Дейстинтельно, как мы отметили, в условиях изотермического течения газа, при котором 7 и с постоянны, система уравнений (1), (2) и (3) является замкнутой. Присоединение уравнения (6) к этой системе не вызвано никакой необходимостью, ибо уравнение (1) есть ни что иное, как механическая форма уравнения зпергии, которая идентична уравнению (6) [6]. Кроме того, уравнение [6) нли (6') ничего принципиально нового дать не может, разве только оценку теплообменя между газом и окружающей средой. что лимитируется разгоном газа.

Далее, dQ никогда не может быть равно нулю. нбо в противном случае вопреки законам теплообменных процессов, мы получили бы вдиябатический процесс.

Равенство температуры газа и окружающей среды допускается лишь в поеделах пренебрежения инерционным членом. Такое допущенче не следует трактовать как насильственное навязывание произвола законам реальных процессов. В действительности вообще нет равенства температур этих сред. Но влиянием одного явления в некотором комплексе физических процессов можно пренебречь по отпошению к другому, более существенному. Но тем не менее одно явление нельзя рассматривать обособленно, как это сделали авторы вышеназванных статей. Следовательно, исключение инерционного члена в уравнении (1), что равносильно вренебрежению неличниой dQ, вонсе не означает приравнивать его нулю, решать как обособленное соотношение и получать "абсурдный результат".

Кроме всего сказанного, условне $p = \frac{\varpi^2}{2}$ const при π const не совместимо с уравнением перазрывности и условием R_i = const при изотермических процессах. Поэтому ссылкя на теорию подобня и размерностей в подобной форме лишена корректной постановки внутренней задачи, ибо форильный перенос условии внешней задачи на условия внутренней, иотнвируя тем. что в условиях последней оно было "забыто" вхолит в явное противоречие с теорией сдинственности и однозначности [7].

Таким обрязом, формула (7. выведенная на основе протнворечных положений, не может считаться действительной.

В заключение выведем формулу для расхода G с учетом не только инерционных сил, по и с учетом отклонения реяльных газов от закона изменения состояния идеального.

В качестве уравнения состояния реального газа примем следующее эмпирическое соотношение [8]:

$$(1+kp)p = \rho g RT, \tag{11}$$

ший отклонение реального газа от закона идеального.

Интегрирование уравнения (1) при наличии соотношений (2) и (11) двет следующую формулу для рвсхода [9]:

$$G = F \sqrt{\frac{(p_{*}^{*} - p_{*}^{*}) + \frac{2k}{3}(p^{*} - p_{*}^{*})}{gRT \left| iL + 2\ln\left(\frac{p_{*}}{p_{*}} \frac{1 + kp_{*}}{1 + kp_{*}}\right) \right|} D.$$
(12)

Вывод формулы для расхода G с учетом отклонения реяльных газов от закона изменения идеального, ланный в работе [5] (формула (42)), и выводы, сделанные из нее, следует считать ошибочными, ибо в основу исследования взято условие постоянства кинетической вмергии потока газа вдоль магистрального газопривола вместо местного значения этой величины.

Изститут мнергетики и гидраванки АН Армянской ССР

Поступнао 27 ХІ 1959

ป. น. ยกงุยรยอนน

пальняеца, чилинийсьно толевых алинственных вниет

Ամփոփում

Սով դապի միաչափ հաստատվում իղո հրա արժումը ուղղադիմ և հաստատուն լայնական ամսեցող խողովական որոշվամ է (1), (2) և (3) հավասարումներով։ Շատ մեծ երկարություն գաղանագների թի իներդիոն անդամը՝ ընդհանրապես արհամարմվում է։ (1) հավասարմուն ինտեգրումը առանց իներցիոն անդամի ըերվում է (4) րանաձնին, իսկ իներցիոն անդամով՝ (5)-ին, որտեղից երևում է, որ իներցիոն դիմադրա խյունից առաջացած էներդիայի կորուստները արհամարին փոյունը են, և դապատուղի երկարունլունը մեծացնելով, այդ կորուստների մեծացումը աննչան է։

Սակայն (4) և (5) աշխատունկուններում առաջարկվում է հարցի հատզոտման «նոր» մե ողիկա։ Վերոհիշյալ հոգվածների հորինակները հատարոտման հիմ թում գնում են դաղի կինհակկ էներգիույի հատոատուն լինելը, և նալնեսկ աշխատում են ապացուցել այդ գրույքը։ հրանը ելնում են այս թանից, որ (1) հավասարման ինտեղըման ժամանակ «իստիոսվում է» ծեափոիունվունների դմայնույնկունը։ Վերջինը հիմնավորելու համար (1), (2- և (3) արտութարունկուններին միացվու է էներգիալի (6) հավասարումը, որը իզոններն շարժման համար ընդունում է (6) տեսքը։

Ներկա չողվածում նախ և առաջ ցույց է արված, որ (1)-ի ինահգրման ժամանակ գծայնությունը չի խախտվա և Այդ բանի չամար (1) բերված է (8) տես թեն, որն արտաշարավուծ է չափաղութի ժեծություններով։ Այնուչեան (8)-ից չև առ իլամ բ ստացվուծ (5)-ը։ (9 երևում է, որ գոյություն անի (10) անչավասարությունը, որը չերքած է վերոչիշյալ ինակների գրույթեր կինևանի էներդիայի ստատան լինելը։

Ինչ վերաբերում է (6)-ը օգտագործելուն այդ սիալ գրույթի շապացոցելու» տմար, ապա դա ոչ մի նոր բան չի տա, թանի որ (1) ոչ այլ ինչ եխե ոչ էներգիայի հավասարման մեխանիկական տեսքը, որը նույնատիպ է (6)-ին [6]։

Գետը է ճշել, որ (t) Տուվաստորման իներդիոն անդամի՝ արչամարչամը չի ճշանակում ույց անգամը գրոյին չավաստորեցնել և, չետևարտը, լածել որպես անկտիւ արտանարություն, որը իսկտոլես կնանդեցնի՝ անչեβեβության։

ներկա շողվածի վերջում դուրո բերվում դադի ծախտի շամաթ (12) բանաձեր, որը Հաշվի է առնում ոչ միալն իներցիոն անդամը. այլև իրական դագերի վիճակի շավառաբման շեղումը (արված (11) առնչութիրամը) իդեալական դագերի վիճակի փասարումից։

Л Н Т Е Р А Т У Р А

1. Смирнов А. С., Ширковский А. И. Добыча и транспорт газа. Гостоитехиздат. 957.

- Чарный И. А. Пеустановняшееся движение реальной жидкости в трубах. Гостехиздат. М.—Л., 1951.
- З. Христианович С. Л. и др. Прикладная газоная ливамика. ЦАГИ, 1948.
- Кудрящев Л. П., Свечев М. В. К вопросу об уточисния интравлического расчета газопроводов высокого давления и условиях язотермяческого движения газов. "Пав. ВУЗов. Энергетика", № 4, 1958.
- Кудряниев Л. П.: Сычев М. В. Еще раз к вопросу об уточнении гидравлического расчета магистральных газопроводов нысокого давления в условиях изотермического течения газа. "Изи, ВУЗов, Энергетика", № 7, 1959.
- 6. Абрамович Г. И. Прикладиая газовая дивамика. ГИТТЛ. Москва, 1953.
- Кирпичев М. В., Конаков П. К. Математические основы теории подобия. Изд. Afl СССР. М.~.Л. 1949.
- 8. Примула А. Ф. Транспорт нефти, нефтиных пролуктов и газа. ОНТИ, 😒 1, 1938.
- Левин С. Р. Гидравлический расчет газопроводов. Пал. Мин. коммун. хозяйства РСФСР. М.—Л., 1948.

Յեխնիկական գիտութ․ սերիա

XIII. Nº 4, 1960

Серия технических наук

ГИДРАВЛИКА

Г. А. АМБАРЦУМЯН

О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СШГБ*

(в порядке обсуждения)

Существующие берегозащитные сооружения, в частности шкоры, при защите берега от размыва и при восстановлении ранее размытого берега не полностью используют эпертию самого потока для отбития размывающего потока от размываемого берега. Кроме этого, они не используют наносотранспортирующую способность потока для восстановления размытого участка русла и берега.

В гидротехнической лаборатории АрмНИИГиМ при разработке и улучшении работы гилротехнических сооружений исходили из приннияа обеспечения целесообразного соответствия между эпюрой продольных скоростей потока у сооружения и работой последнего.

Своружения, разработанные на основе указанного принципа получаются простыми, дешевыми и удобными при эксплуатации [1], [2], [3].

Разработанные нами берегозащитные сооружения — сквозные шооры с гидравлическим барьером — сбеспечивают отвод нотока от размываемого берега, использование транспорта наносов для заиления иежшпорного пространства и некоторое гашение энергия потока.

Впервые о возможности гашения энергии с помощью соударения потоков и его использования в гидротехнике указал проф. Журии В. Д. [4]. В последующем этим вопросом занимались Факторович М. Э. [5], [6], [7], Игнатенко С. Н. [8], Kennerknech F. [9], К. Stierlin [10] и другие.

Для правильного представления гидравлической схемы работы СШГБ и создания приближенной теории расчета, на основания анализя работы СШГБ в лабораторных условиях и в натуре, вкратце наложим прияципиальную схему ее работы.

На размываемом участке вогнутого берега реки, на расстоянин L друг от друга и нормально к береговой линии, возводятся СІНГБ.

СШГБ — сквозная шпора с гидравлическим барьером. Авторское свидстельство № 6657736 29.

Они представляют собой сквозные сооружения шнорного типа на гибком основании. Основание выполняется из габионных тюфяков, отдельных габионов или же крупно каменной наброски.

Выше основания возводится тело самой шпоры. состоящее из корневой глухой части и сквозного тела шпоры. Тело самой шпоры возводится из габионных ящиков, железобеточных готовых элементов: труб, свай и плит, а также из свай с подвешенными плитами и т. д.

Корневая часть шпоры работает как обыкновенная глухая шпора. Она отводит поток от прибрежной части у пазухи и защищает небольшой участок берега.

Часть потока протекающая через галерен приобретает направление от берега и отклоняет огиблющий голову шпоры поток к противоположному берегу чем увеличивает зону действия шпоры (рис. 1).



Pue. 1.

На основании лабораторных и натурных исследований установлено, что СШГБ в отличие от глухих шпор можно расположить на расстоянии (6-7) b₀, где b₀ — рабочая длина шпоры.

Сквозность шпоры обеспечинает небольшое значение градиента скорости потока у головы шпоры, тем самым уменьшая глубину воронки размыва.

Поток у СШГБ разбивается на две части: одна часть протекает через галерен, приобретает направление от берега, другая часть, огибая голову шпоры, течет в направлении к берегу.

Донные струи огибающего потока, сталкиваясь с мощными токами, протекающими через галереи, теряют сною скорость. благодаря чему у шиоры на значительной ширине русла осаждаются наносы.

Другая часть отибающего потока преодолевает влияние струй, вытекающих из галерей, проходит по дну и, приближаясь к берегу, ме-

44

ияет свое горизонтальное направление на вертикальное, освобождается от наносов и, соеднияясь с поверхностными токами, продолжает свой вуть. При изменении направления потока сперва осаждаются крупные наносы, а затем мелкие. Указанное явление очень наглядно имдно на модели и в натуре (рис. 1).



weekeenin heese, "all's some someouther inspector raysed andow Call

Puc. 2.

Овисанная схема структуры потока у СШГБ показывает, что в водном потоке всякое переформирование эпюры скоростий в конце концов приводит к созданию поперечной циркуляции.

Натурные исследования работы СШГБ, возведенных на берету реки Аракс с 1955 года (рис. 3) и их лабориторные исследования дают право утверждать:

1. Исходные положения, легшие в основу разработки принципиальной схемы СШГБ, правильны.

2. В патурных условнях получено безразмывное межшпорное пессионны L 8b₀, гле b_n — рабочая длина шпоры. Лабораторные песседования дают возможность уваличить L в определенных услориях до 10 b₀.

3. СШГБ не только предотвращает рламые берега, но и интенснию посстанавливает размытый участок берега путем осажления инносов и выпрямления русла.

4. Величина размыва у головы СШГБ, в отличие от глухих шпор. небольшая и не может вызывать обрушения шпоры, как это происходит с глухой шпорой.

5. Натурные исследования СШЕБ показали, что ширина галерей по цабежание забивки последних, должиз быть 1,5 ж и более при собподении отношения b: a = 4 - 5, где "а" ширина галереи, "b" — ширина шпоры.

6. Если восстанавливающаяся береговая линия далеко отстоит от

существующей береговой линии, го сперва возволятся СШГБ длиною (1/5 - 1/6) В (где В ширина реки в данном створе), а в последующем, по мере заиления, шпора удлиняется до необходимой длины.

Резкое стеснение русля приводит не только к большим размывам противоположного берега, по и к сильному размыву у головы СШГБ.

7. При больших скоростях потока когда напорная грань сооружения вертикальна, отбившийся от него ноток вызывает большой размыв у основания. Для предотвращения этого размыва необходимо напорную грань выполнить с наклоном.

8. Наряду с большой экономичностью, по сравнению с другнын типами берегозащитных сооружений, СШГБ допускает значительную механизацию заготовочных и установочных работ.

1 погонный метр укреиления берега, на основании проектных в фактических данных обходится:

- а) глухими шпорами 336 р. 100%.
- б) СШГБ из габионов 168 р. 48.5%.
- в СШГБ из труб 181.5 р. 55%.
- г) СШГБ вз свай в илит 133 р. 40%

Для определения величины угля отклонения основного потока от своего первоначального направления 3_а применим уравнение количества движения в проекциях для двух расчетных сечении: первое 1—1 до соединения двух потоков ниже сквозной шпоры и второе сечение 2—2 за зопой соударения, где возможно принимать определенное осреднение скоростей и давлений, а также успокоение потока (рис. 2).





При составления уравнения количества движения сделаем следующие допущения: русло на рассматринаемом участке почти горизонтальное и проекцией веса рассматриваемого участка потока, по срявнению с величиной количества движения всего потока, можно пренебречь;

2) допустимо применение гидростатического закона распределения давления по глубине во всех сечениях;

3) коэффициенты α_1 , и α_3 для сечений 1—1 и 2—2 принимаются равными единице; заметим, что это предположение для и α_2 допустимо; но что же касается то значение последнего может существенно отличиться от единицы. Однако ввиду отсутствия достаточных данных о его величине и функциональной связи с другими факторами в первом прибанжении принимаем $\alpha_3 = 1$;

 траектории струи непосредственно перед соударением и после него имеют прямолинейное направление. Прямолинейным принимаем и русло реки;

5) механизм потери энергин при соударении двух потоков сосредоточен в зоне пересечения струй.

Ось проекций считаем совпадающей с направлением Q₁₀.

Уравнение количества движения в общем виде будет:

$$mV - mV_{i} = V \Delta t_{i} \tag{1}$$

которое для рассматриваемого случая запишется так:

$$m_{\rm or} V_{\rm or, \ x} + m_{\rm cis} V_{\rm cm, \ x} - m_0 V_{\rm or} = \sum F_{\rm x} \cdot \Delta t, \qquad (2)$$

а проекция изменения количества движения запишется в следующем виде:

$$\left(-\frac{1}{g}Q_{\rm or}V_{\rm or}-\frac{1}{g}Q_{\rm cm}V_{\rm cm}\cos\varphi_2-\frac{1}{g}Q_{\rm o}V_{\rm o}\cos\varphi_3\right)\Delta t.$$
 (3)

Величина суммы проекций импульсов всех действующих сил на рассматриваемый объем, с учетом вышеизложенных допущений, равияется сумме проекций импульсов гидродинамических усилий в расчетных сечениях, г. е.

$$\left(\gamma \frac{H_{\text{cu}}^2 B_{\text{or}}}{2} + \gamma \frac{H_{\text{cu}}^2 B_{11}}{2} \cos\beta_2 - \gamma \frac{H_0^2 B_0}{2} \cos\beta_3\right) \cdot \Delta t.$$
(4)

Приравняв выражение (3) и (4) и сократив на 7-57 получим:

$$\frac{Q_0 V_0}{g} \cos_{10} - \frac{Q_0 V_0}{g} - \frac{Q_{\rm cm} V_{\rm cm}}{g} \cos_{10} = \frac{H_0 B_0}{2} + \frac{H_0 B_0}{2} \cos_{10} - \frac{H_0 B_0}{2} \cos_{10}.$$
(5)

Отсюда для величины угла отклонения 3, получим:

$$\cos\beta_3 = \frac{g \left(H_{\rm or}B_{\rm or} + H_{\rm cu}B_{\rm cu}\cos\beta_{\rm s}\right) + 2 \left[Q_{\rm or} V_{\rm or} + Q_{\rm cu}V_{\rm cu}\cos\beta_{\rm s}\right]}{B_{\rm s}} \cdot (6)$$

Из (5) для средних значений Von Ho и B, получаем:

Г. А. Амбарнумян

$$V_0 = (H_{or}^2 B_{or} + H_{cm}^2 B_{cm} \cos \beta_2) \frac{g}{2 Q_0 \cos \beta_3} - \frac{g H_0^2 B_0}{2 Q_0} + \frac{V_{or} Q_{or}}{Q_0 \cos \beta} + \frac{V_{cm} Q_{cm} \cos \beta_3}{Q_0 \cos \beta_3}$$

$$H_{0} = \frac{1}{2 g Q_{0} \cos \beta_{3}} (2 Q_{0t} V_{0t} + 2 Q_{0t} V_{0t} \cos \beta_{2} - 2 Q_{0} V_{0} \cos \beta_{3} + g H_{0t}^{2} B_{0t} +$$

$$\pm gH_{\rm cm}^{\rm a} B_{\rm cm} \cos \beta_{\rm e}$$
 (9)

и, наконен:

$$B_{a} = \frac{1}{gH\delta} \left[\frac{g}{2\cos\beta_{a}} (H_{or}^{2}B_{or} + H_{cu}^{2}B_{cu}\cos\beta_{a} + \frac{V_{or}Q_{or}}{\cos\beta_{a}} + \frac{V_{cu}Q_{cu}}{\cos\beta_{a}}\cos\beta_{a} \right]$$

Наряду с этими уравнениями, мы располагаем общими уравнениями гидравлики, граничными условиями и данными самого водотока, условнем неразмывности русла и т. д., с помощью которых задаваясь некоторыми можно определить неизвестные.

При соударении разделенных потоков последние теряют некоторое количество своей энергии. Одновременно происходят большие изменения, как в неличние скорости, так и в форме эпюры распределения скоростей и дявлений, как по глубние так и в плане. Заметно сильное отклонение общего потока в сторону выпуклого берега.

Многочисленные исследования показали, что из ведичину рязмыва русла влияют скорость течения, глубниа потока, илановая ков; фигурация русла, содержание наносов и т. д. Математически эти обстоятельства, в первом приближении, характеризуются общей и кинетической энергией потока. При одинаковом значении средней скорости и глубины потока в зависимости от формы элюры скоростей возможны как значительный размыв, так и безрязмывное течение.

Нехоля из сказанного, степень гашения энергии потока вообще и, в частности, кинетической энергии, с гочки зрения размына русля не является всеобъемлющим показателем. Здесь наряду с гашением полной и кинетической энергий необходимо учесть распределение скоростей и мутность потока. Определим условия гашения общей энергии при соударении. Обозначим все элементы относящиеся к створу 1—индексами 1. а к створу ниже шиоры, за зоной соударения индексами 2.

Энергия потока в первом и во втором стнорах будет:

$$\mathfrak{H}_{1} = V_{1}b_{1}H_{1}\left(H_{1} + \frac{s_{1}V_{1}^{2}}{2g}\right); \quad \mathfrak{H}_{2} = V_{2}b_{2}H_{2}\left(H_{2} + \frac{s_{1}V_{2}^{2}}{2g}\right). \tag{10}$$

В нормальных условиях разность энергии этих двух сечений, при небольшой протяженности между сечениями, была бы небольшой и ею можно было бы пренебречь. В данном случае эта разность по и личине может быть значительной, так как здесь создаются специзавные условия для интенсивного гашения энергии.

Рассмотрим в отдельности, при каких условиях возникает гашеике энергии, как она отражается на элементах потока и при этом как ченяются гидравлические элементы потока. Допустим, что условие пшения выражается зависимостью:

Перавенство гашения энергии запишется в следующем виде:

$$Q\left(H_{s} \pm \frac{s_{1}V_{1}^{2}}{2g}\right) > Q\left(H_{s} \pm \frac{s_{s}V_{2}^{2}}{2g}\right) \cdot \tag{11}$$

С другой стороны известно, что

$$Q = b_1 V_1 H_1 = b_2 \cdot V_2 H_2.$$

Результаты анализа указанных зависимостей занишем в таблице.

Ширниа	Скорасть	Глубина
$1/b_1 = b_2$	$V_{i} = V_{i} \frac{H_{i}}{H_{i}}$	$H_t > H_t + V_t^2 \begin{bmatrix} - \langle H_t \rangle^2 \end{bmatrix}$
$\mathbf{T} \cdot \mathbf{k}_t = \mathbf{k}_t$	$V_1 > \frac{1}{\pi} \sqrt{-2gH_2\left(1-\frac{V_1}{V_2}\right) - a_1V_2^2}$	$+ \frac{1}{2g} \left[\frac{u_j - u_i}{V_i} \left(\frac{\tilde{H}_i}{V_i} \right) \right]$ $H_i = \tilde{H}_i \frac{\tilde{V}_i}{V_i}$
$b_1 \delta_1 + \delta_2 + \frac{h_2}{h_1} \times$	$V_i = V_i$	$H_1 = H_2 \frac{b_1}{b_2}$
$ \mathbb{X}\left(\pi_{l} - \pi_{l} \right) \frac{V_{1}^{2}}{2g}$		_
$\ b_j-b_j\ \sqrt{\frac{a_j}{a_j}}$	$V_3 = V_3 \frac{b_3}{b_1}$	$B_{k} = B_{k}$
$\mathbf{S}, \mathbf{F}_i = b_{ij} \frac{H_{ij}}{H_i}$	$V_t = V_t$	$H_t > H_k +$
	-	$+rac{{\mathcal V}_4^2}{2g^2}\left(s_4-s_4 ight)$
$\mathbf{a}_{1} \mathbf{b}_{1} = b_{2} \frac{V}{V}$	$V_1 = V_1 \sqrt{\frac{a_2}{a_1}} , $	$H_i = H_i$

Анализ приведенных данных показывает, что при соударении авух потоков за СШГБ, в зависимости от соотношения ширин, тлубия уклонов и скоростей соударякицихся потоков, возможны как водаор, так и спад уровия воды в зоне соударения. Одновременно виметим что значительное гашение общей энергии возможно только - Иза. ТН, № 4 Г А. Амбарцумян

в том случае, если в зоне соударения произойдет сопряжение глубия потока меньше критических с глубинами больше критических. Изменяя значения скорости, глубины и ширины потока можно создать неразмывающий комплекс.

Величниу неразмывающей средней скорости можно определать по [11], данные которого выражаются эленсимостью

$$V_{\rm app} = 2.14 \, V_{\rm c}$$
 (12)

а критерий неразмываемости можно записать в следующем виде:

$$\frac{V_{\rm constant}}{44.88 \, d^2 \cdot H^2} < 1.$$
 (13)

Но из-за сложности явления нельзя надеяться, что этот критерий достаточно точно укажет наличие размыва. Приближению устанонии наличие или точнее вероятность размыва по зависимости (13) необходимо изыскать способы его предотаращения. Это можно осуществить либо увеличением величиям допустимой неразмывающе скорости, либо соответствующим изменением структуры потока, перераспределением скоростей и расходов, а также некоторым гащением общей или кинетической энергии.

Рассмотрим вопрос определения величным гашения эксргия при соударения, за СШГБ

При выводе основных расчетных уравнений, для определения величныы коэффициента гашения энергии потока при соударении, примем допущения, которые были приняты при выводе зависимости (5).

Расчетная схема соударення двух потоков показана на рис. 2. Энергии отдельных соударяющихся потоков в сеченни 1—1, 2—2 в общая энергия потока соответственно судуг:

$$\exists \mathbf{x} = Q_{\rm er} \left(H_{\rm er} - \frac{\mathbf{x}_{\rm e} V_{\rm er}^2}{2g} \right) ; \qquad \exists \mathbf{x} = Q_{\rm err} \left(H_{\rm err} + \frac{\mathbf{x}_{\rm e} V_{\rm err}^2}{2g} \right) ;$$

$$\exists \mathbf{x} = (Q_{\rm orr} + Q_{\rm res}) \left(H_{\rm e} + \frac{\mathbf{x}_{\rm e} V_{\rm e}^2}{g} \right) ;$$

$$(14)$$

Величина потери энергии потока после соединения двух потоко определится разностью энергии суммы отдельных слагаемых потоко и энергии общего потокя, т. е.

 $\Delta \exists = \exists_1 + \exists_2 - \exists_3,$

$$\Delta = Q_{\rm of} \left(H_{\rm of} + \frac{z_{\rm s} V_{\rm off}^2}{2g} \right) + Q_{\rm cm} \left(H_{\rm om} + \frac{z_{\rm s} V_{\rm cm}^2}{2g} \right) - Q_{\rm of} + Q_{\rm cm} \right) \left(H_0 + \frac{z_{\rm s} V_0^2}{g^2} \right).$$
(15)

Относя потерю полной энергии соединенного потока к полной

нан

50

пертии потоков до соединения, назвав это отношение коэффипиентом гашения энергии потоков при соударении, получим:

$$\xi = \frac{\Delta \beta}{\beta_1 + \beta_2} \tag{16}$$

Подставив значения Δ и $_1 + 3$ из (14) и (15), получим:

$$I = \frac{\Delta}{\exists_{1} - \exists_{2}} = 1 - \frac{(Q_{o} - Q_{o}) \left(H_{o} + \frac{\alpha_{3} V_{0}^{2}}{2g}\right)}{Q_{or} \left(H_{or} + \frac{\alpha_{1} V_{o}}{2g}\right) + Q_{o} \left(H_{o} + \frac{\alpha_{2} V_{cm}^{2}}{2g}\right)}$$
(17)

Подставив значение Vo из (7) в (17), получим:

$$E = 1 - \frac{8 Q_0 \cos^2 \beta_1}{Q_{\text{or}} \left(H_{\text{or}}^* B_{\text{or}} + \frac{\cos^2 - H_0^2 F_0 \cos^2 + H_0^2 F_0 \cos^2 + Q_0 F_0}{Q_{\text{or}} \left(H_{\text{or}} + \frac{\alpha_1 V_{\text{or}}^2}{2g}\right)} + \frac{2 V_{\text{or}} Q_{\text{or}} \left(H_{\text{or}} + \frac{\alpha_1 V_{\text{or}}^2}{2g}\right) + Q_0 H_0}{Q_{\text{or}} \left(H_{\text{or}} + \frac{2 V_{\text{or}} Q_{\text{or}}}{2g}\right) + Q_0 H_0}$$
(18)

Максимальное значение коэффициента самогашения энергии получается тогда, когда — 180 и зман выражается записимостью:

$$\xi_{\rm Mbx} = 1 - \frac{\frac{g}{Q_0} \left[\left(H_{\rm e} B_{\rm e} + \frac{2}{\pi} V_{\rm or} Q_{\rm or} \right) \frac{1}{c_{\rm tr} + z_1} - H_{\rm e} B_{\rm e} \right]^2 + Q_0 H_0}{Q_{\rm or} \left(H_{\rm e} - \frac{\alpha_1 V_{\rm or}^2}{2g} \right) + Q_{\rm cut} \left(H_{\rm cut} + \frac{\alpha_2 V_{\rm cut}}{2g} \right)} + (19)$$

Рассмотрим величины самогашения кинетической энергии пра воударении разделенных потоков.

Кинетическая энергия разделенных частей и объединенного потока будут:

$$E_{\rm es} = Q_{\rm es} \frac{\pi_1 V_{\rm es}^2}{2g} + E_{\rm es} = Q_{\rm es} \frac{\pi_2 V_{\rm es}^2}{2g} + E_{\rm q} = (Q_{\rm or} + Q_{\rm cus}) - \frac{\pi_1 V_{\rm es}^2}{2g} + (20)$$

гае 21. 22 и 23 являются коэффициентами живых сил в расчетных сенениях.

Потеря кинетической энергии будет:

$$E_{\rm cr} + E_{\rm cr} - E_{\rm s} = \frac{1}{2e} \left(a_1 Q_{\rm cr} V_{\rm nr} - a_2 Q_{\rm crn} V_{\rm crn} - a_2 Q_{\rm r} V_0 \right), \qquad (21)$$

а величина коэффициентя самогашения кинстической энергии будет:

$$I_{a_{0}} = I - \frac{a_{0} Q_{cm} + Q_{or} + V_{o}}{I_{0} V_{or}^{2} + a_{0} Q_{cm} V_{cm}}$$
(22)

Подставив значение V, из (7) в (22) получии:

$$f_{a} = 1 - \frac{2}{4 Q_{o} \cos^{2} 3_{a} (2 Q_{or} V_{or} + 2 Q_{cm} V_{cm} \cos \beta_{z})^{2}}{4 Q_{o} \cos^{2} 3_{a} (2 Q_{or} V_{or} + 2 Q_{cm} V_{cm})}$$
(23)

я для максимального значения соответствению почучим:

$$\xi_{n, \text{ was}} = 1 - \frac{2}{4 Q_0 \cos^2 \beta_1} (a_1 Q_{or} V_{or}^2 - a_5 Q_{con} V_{con}^4)^2}{4 Q_0 \cos^2 \beta_1} (a_1 Q_{or} V_{or}^2 - a_5 Q_{con} V_{con}^4)^2}$$
(14)

Определии значение коэффициента самогашения кинетической в полной энергия и установие повые значения параметров русла в потока по зависимости (13) проверяется условие безразмывностя течеиия.

Расстояние между СШГБ определяется по зависимости [12]:

$$Z = I_{p} \left\{ \left| \cos 2 + \frac{m \sin \beta_{1}}{\sin (2 - \beta_{1}) + \cos (2 - \beta_{1}) + (\beta - \beta_{2})} \right| + \left| \sin 2 \pm \frac{m \sin \beta_{1}}{\cos (2 - \beta_{1}) + \sin (2 - \beta_{1}) + \cos (\beta - \beta_{2})} \right| \right\}$$
(25)

- тде _и угол растекания потока при обыкновенной сквозной или глухой шпоре,
 - β₁ угол, составленный между осью шпоры и осью скнозных галерей (9₁ — колеблется в пределах 30 — 45[°]),
 - 32 угол соударения между потоком, проходящим через сквозные галерен.и обтекающим голову шворы потоком,
 - 3, угол отклонения. потока, обтекающего шпору
 - m -коэффициент. значение которого колеблется в пределят 0 < m < 1.

Величниу угла растехания за градусах согласно нашим исследованиям [3], можно определить по зависимости

$$\beta = 15 \cdot 21 \left(\frac{Z_1}{h^2}\right)^{\gamma_1}, \qquad (26)$$

где Z₁ - перецал непосредственно у шпоры.

h5 — бытовая глубина потока.

В первом приближения, в случае отсутствия необходимых данимх, согласно исследованиям С. Т. Алтунина [15], ГрузНИИГиМ [14]. 3 можно взять от 7,5 до 20.

Гиаротехническая лаборатория арыНИПГиМ МВХ

Գ_ IL. ՀԱՄՐԱՐՉՈՒՄՑԱՆ

ՀԻԳՐԱՎԼԻԿ ԳԻՄԱՊԱՏՈՎ ՄԻՋԱՆՑԻԿ ԽԹԱՆԻ ՀԻԳՐԱՎԼԻԿԱԿԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԻ ՔԱՆԻ ՀԱՐՑԽՐ

Ամփոփում

ության ապատուտական կատարի ակարի ակարուցին ակարուցություն է արել և այստանի հայտապես երորուտը երությունը կերադեր հանդին կերանություն է հիտված ԱՀ արգերավեն Հայությանը հեղ հիրակության էրություն ու

Միաժամանակ տրված է ռևուզութլիկայի մեծ գևտերից մեկի ափերի ամբացման համար օգտագործված այդ տեսակի կառուցվածջի աշխատանջի վերլուծութլունը։

էաբորատոր և թնական պարքաններում կառուցվածյի փորձարկումը Տաստատեց նրա մշակման չիմբում դրված դրուլիքների ճշտությունը։

Կառուցվածջի մշակման Տիմբում դայած է արագությունների րաշխման արայի արհատական ձևափոխման սկզրունքը։ Մազորում այդ ձևափոխա մր կատարվում էշայն Տաշվով, որպեսզի ապանովվի կառուցվածթի ամենաշ արդյունավետ աշխատունքը՝ շինանյությի և բանումի առավել պակաս ծախտի դեպրում։

նվյալ դեպրում կառուցված ըր մշակված է այնպես, որ ափը ողողող հոսանյը ողողվող ափից արտամղելու, միջի խանալին տարածու Թունը մեծացնելու, այդ տարածու Թյունն աբաղ աղմակալելու, մինչե այդ ողողված ափը վերականդներու և հոստնջի ավելորդ ողողում առաջացնող էներդիան մարելու համար որտաղործվի հենց իր՝ հոտող օրի էներդիան։

Կառուցվածջի էլնմննաների Տիդրավլիկ հաշվարկի մոտավոր տնսանվուն ատեղծելու համար ընտրված է հաշվարկային սիւեմա։ Օգտագործելով շարժման բանակի հավասարումը ստացված է ոգողող հոսանջի բեկման անկյան որոշման հավասարումը [6] և բանաձներ միացյալ հոսանջի հիդրավլիկ էլեմննաների որոշման համար [7, 8, 9]։

Միաժաժանակ օդտուգործելով վերին Տավառարումների Տետ Տոսանջի անխղելիության պատճանը, արված է ընդճանուր և կինետիկ Լիերդիաների ժարժան աստիճանների որոշումը շիթների դիռիսագարձ հարվածի ժամանակ [18, 19] և [23, 24]։

Առաջարկվող հաշվային րանաձևերը մոտավոր են և կարիր ունեն հեապա ճշտման փաստական, լարորատոր և տեսական նոր ուսումնասիրու-Այունների ճիման վրոււ

կովող այդմմմալելուդիասումեւոստում միլատչատ և դատապատ նախատան թեցմաչվեւ այհեղորատես չմեւ մալելուդուտողա իոփաչ միայ սվյառումե դմակա այնչութեւուսես դոիատան վերանչան աղմ և խոտապայմրդումի ինտորդի դմակա 54

ЛИТЕРАТУРА

- Амбарцумяя Г. А., Хачатрян Р. М. Мартикян Р. С. .Сквозные шпоры с гидравлическим барьером СШГБ*. Информационное письмо № 2. АрмНИИГиМ, Еренен, 1917.
- [•]2 Амбарцу иян Г. А., Хачатрян Р. М., Мартикян Р. С. О новой схеме берегозащитных поперечных шпор. "Известия АШ Армянской ССР" (серия техн. иаук), том ХІ, № 4, 1958.
 - Амбарцумин Г. А., Хачатрян Р. М., Марликин Р. С. Некоторые вопросы гиправлического расчета берегозацияных поперечных шпор. Труды АрмНИИГиМ, том 10, 1958.
 - Журин В. Д. Специальные приемы гашения знергии на перепадах и быстротоках. Вестинк ирригации, № 10, 1927.
 - 5 Факторович И. Э. Гашение энергия при соударения струй потока. Ж. Гидротехническое строительство, №, 8. 1952.
 - Фокторович И. Э. Гашение энергия и сопряжение глубии при соединении потоков. Изнестия ВПИНГ, т. 55, 1956.
 - 7. Факторович И. Э. Водосбрасния плотина с самогашением энергии. Навестия ВНИИГ, т. 48, 1948.
 - Изнатенко С. И. О работе гасителя-противотока. Ж. Гидротехническое строительство, № 1, 1955.
- Kennerknecht F. Die Euergie wer nichtung San lage der Innwerkes. Die Wasserkraft, 1926.
- Von. K. Stierlin, Druckreduzier-Anlage für ein Wasserkraftwerk. Escher Wyss Mittacilungen Heil 1 1957.
- 11. Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам. М.-Л., 1957.
- Амбарцумян Г. А., Хачатрян Р. М., Мартикян Р. С. Оцределение угла установки берегозащитвых поперечных глухих и сквозных шиор и расстояния между нимя. Ж. Гидротехника и Мелнорация. № 5, 1956.
- 13. Алтунин С. Т. Регулирование русся. Селькозгиз, 1959.
- Панава В. О. Исследование работы одиночной берегозащитной шпоры. Труды ГрузНИИГиМ. вып. 18—19, 1957.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ ԴԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՔԻ ԱԿԱԳԵՄԻԱՅԻ ՏԵՉԵԿԱԳԻՔ ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա

XIII, № 4, 1960 Серия технических наук

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐ

է, Վ. ՇԱՀՍՈՒՎԱՐՑԱՆ

ԿՏՎԱՆՔՆԵԲԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՓՈՐՉԱՐԿՈՒՍΎ

Երկաթերևառնե հավուրովի կոնստրուկցիանևրում կցվանյիները հաճախ Swinghowie of the oflight whether with the when going to a strange of the offer offer offer of the offer offer of the offer offe կան ուժերի աղոհղության դեպըում։ Այց է պատճառը, որ երկաթրետոնե էյեմենաների տարբեր ձևերի կցվան ընհրի ա միացումների փորձարկման «իջացով առամնասիրությունները չանցիսանում են սեյսմակաւան շինարարունյան կարևոր և ակատայ Տարցերից մեկը։

Հայվածում լատարանվում նև դինամիկական առևրի աղդեստիկան դեպջում նրկաթիրհառնե հավաքովի միջհարկային ծածկերում իրականացվող կրցվանջների մի ցունի սիստենների աշիտատոնքի և ամրության հարդերը։ Հավաքովի ծածկերի նման միադումները երկրաշարժի ժամանակ ենթարկվում են ինչպես ռահրի և ծոքան, այնպես նաև ձգման-սեղման փոփոխական լար-Andwith washing being and an a start and the second s լարվածային այն վիճակի համար, երը վարձարկվող կցվանքը աշխատում է ahund hlaphu magan Syng-olydog adleph muhi

Գորձարկման համար ընտրված կղվանթները իրենցից ներկայացնում 15 we put with property of the phile of put of the the the the the start of the the start of the mit b . L. 2. propriate 12 aboundary (24). 10). huyaha b P. 2. Phangywith (նկ. 1...) առաջարկված կրվանքում պարդ ամրանավորման միջողով իրար են կապվում միջնարկային ճավուրովի ծուծկի հարևան ճեծան-վրաբաշների հրկալսական ամբանները։ Մյու օդակածև կղվանքի դեպքում, որը հիշեղնում է ակաղեմիկոս Պերիդերիի կցվանքը, իրար են կապվում հարևան հեծան-վրա-

					Աղլո	ւսակ է	
ж е14	ugymrep apantal p	npidur Inizl Prii	брррр шаршиш- фараляр	Շաղախի կոնսիստեն- դեպն՝	Փործարկված Նմուշների բանա-		
		925			00 M # 612 191 .	ypumi.	
1 2	Շաղախի կարանով Ջարտայի	े छ। म	ananday malputana depalada aglip dal h	9-10	2	2	
-3	ս Հուրա- յանի Գնորգյանի	r	208 Jd 208 Jd dd dlamagu-	10-11	2	2	
4	Oquiquest	п	imph uphningur opimpinisti oghp 2 6 sis ing.	11	2	2	
			S & Il	10	2	2	

· Phydus & Crponillillin-p habb paperanage of us-adi

բաշների լայնական ամբանները (նկ. 1դ)։ Նկտը Արում բերված է նաև շադախի կարանով իրականացված կցվանքը, որը ծառայում է հիմնականում որպես էտալոն համեմատության համար։ Նշված կցվանքներից լուրաբանչյուրի կոնստրուկանվ տվյալների բնությագիրը բերված է աղլուսակ 1-ում։

 F_{nfnfr} կցված չներում, անկախ ամրանավորման եղանակիչ, օդտաղործված են «100» ամրանիշ ունեցող չաղտի, հետելալ ծավալային կազմությամբ՝ 1.... 0,2₆₆₆: 3_{64.}

Վիշված կցվան ջների իրականացման տեխնոլոգիայի, նրանց.պահպանման ռեմիմի և այլ մանրամատնունյունների վրա այստեղ կանգ չենթ առնում, նրանթ գետեղված են [3] հոդվածում։



64. 11

Մինչև դինամիկական փորձարկաններին անցնելը չիշված կցվան քներից մի կառմը հննճարկվեց ստատիկական եղանակով ձղման։ Փորձարկումը կատարվեց 100 տ. զորու չկան չիգը ավլիկ մամլիչի օգնալիլանը։ Կրցվանըների ձգման ստատիկ փորձարկումը, նրանց ամրության ընտ թաղժան չնա մեկանց, պարզեց և նրանց աշխատանքի օրոշ առանձահատկությունները, չնարավորության ստեցծելով ճիշտ կողմնորոշվել դինամիկական փորձարկման մամանակ կիրառվող ումերի մենության բնարության մեջ։ Դմբանտարար կցվան չների գնվութնարիաները չափելու վարձնորը անարդյունը անցան։ Աղյուսակ 2-ում ընթված են և միսաններ կցվան քների ստատիկ ձվման փորձարկաններից տաացված ավյարները։ Անցողիկ ձևով անդրադառնալով կցվան բների ստատիկական հղանակով Հղումից ստացված արդյունընդի վրա, կարելի է նկատել, որ ամբունակո ված կցվանգների ամբությունները իրադ րուվականինգների նա կանգմած

H.q.	15.0	mak	12
------	------	-----	----

-	Popla-	nwy. 4m-	նաղ. կա- րանի	Nyny phag	Paris Juga Igas	ածությունը ան	Luppindue- Him Babph	րայրայման
×.	there	nd.	ηq	wandespite Sedan of	despup	Hinche	whyp	
1	Шı,	554	2170	2.95			4n kan what p	
2	Ш.	630	1630	2,58	2,76	1.0	3	
3	Ч,	675	2290	3.40	A 10	1.110		
4	Ч.	637	2270	3.56	3,48	1,20	2	
ບໍ	Γ_{1}	618	2290	3.70	0.00	1. 21	4. Sum. 6 23% .	
б	Γ_{Φ}	607	2460	3.56	3,53	1.01	չա <i>զաթ</i> րց կոնտակտից	
7	Π:	657	2440	3.71	2.15	1.05	4.200040000	
8	п,	631	2010	3.18	0.40	1.25	4 L 25°	

. «المسلم المسلمين بالاندار الاندام المسلمين بالمسلمين المسلمين ا

a Sandhalamanad gunganfung fipanfunbanggand yggansiph shan so ole mifujh pupap undpund put master Alung & tester op for uspommutaph about "I" of uտեմի կայան թի վարձանմուշները տարցերվում էին մյուս երկու սիստեմի կցվասըների բոլոր փորձարկված Նմուշների մոտ շաղտիում առաջացած առաջին ճարին անմիջապես հնաևում էր կցվանքի լրիվ թալթալումը. 📲 սիստեմի կրվան թի 2 վարձարկված Նմուշներամ մոտավորապես 0.75 and whendy an ungurgens tomphop often forego the mangles balan gale pho we formտանքը շարունակելու Նմոն պլատոիկ զիֆորմադիայի Տնարավորությունը win upunkal hydaingh daw apatan dadban to h Sugaga Houde hupag t օգտագործվել հավարովի էլեմենաներում սերոքիկական ուժերի առկալու-Hundr uppenning phy prid i llifterry is speaningly, up 1 - aparted p կցվան ընհրի վորձանմու չնհրը հավանարար կայող էին ավելի մեծ բեռնվա ծության տակ աշխատել. եթե նրանց մեջ ներքեր երիթները արկերն 💿 12 վվ մետադից, ինչպես այդ առաջարկված էր, կցվանջի հեղիճակների կողմից։ Դա ինթատինջնյան ապացուցվում է նրանով, որ փորձարկված Չ նուշների մոտ էլ քայթողումը սկսվեց ներջեի կապից։

Հղման ստատիկական փորձարկման միջոցով Հիշլալ սիստենների կըցվանըների աշխատանըի ընդհանութ բնուլինի մեջ կողմնորոշվելուց հնառ կըցվանըների մյուս խումրը փորձարկման ենխարկվեց գինամիկական բևոնավորման պայմաններում։ Դինամիկական բեռնավորումը տվյալ գեպ բում հանդիստնում է կցվանդի վրա գինամիկական մերենալի կողմից հարմոնիկ ձևով ազգող վափոխական նշանի ճիռը, որը փորձանմուշին առիպում է աշխատելու ձղման-սեղման։ Կցվանդի այս տիպի դինամիկական փորձարկումը առաջին մոտավորությամբ եռնանվում է երկախետոնն հավարովի միջնարկային ծածկերի կցվանդների սկումիկական պայմանում աշխատանընունը էնասի Կյվան թների փորձարկումը փոփոխական նշունի բեռնավորմուն տակ իրականացվում էր գինամ իկական մեթենայի վրա [1]։ Կյվան թի փորձանմուշը իր մեկ երկայնական կողմով կոշտ միացվում էր մե բենայի անշարժ կանգնակներին։ Վերջիններո նմուշի համար մառայում էին որպես առաձգական հենարան։ Փորձունվուշը իր մյուս երկայնական կողմով միացվում էր գինամ իկական մե թենայի դինամոմետրին (նկ. 2). Միացումները կա-



24. 2:

տարված էին փորձանմուշի կլոր անցթերի միջով անցկացված մետաղև հաստապատ խողովակների օգնությամբ։ Դինամիկ ումը փորձարկվող նմուշին փոխանցելու մամանակ առաջացող ապակննարոնացումը պակասեցնելու նպատակով խողովակներից մեկը վերցված էր ավելի փոթը տրամագծի, թաննմուշի անցրն էր։ Դա թեուլ էր տալիս խողովակը ամբացնել անցթի կորուխլան տարբեր կետերում, դրանով իսկ հնարավորին չափ փոջրացնելով ումի ապակննարոնա թերներ։ Դինամիկական փորձարկման ժամանակ ուշագրություն էր դարձված նաև մեկ այլ, ոչ պակաս կարևոր նանդամանը փորություն կուն եր դարձված նաև մեկ այլ, ոչ պակաս կարևոր նանդամանը վրա։ Որպեսզի փորձարկվող նմուշը իր վրա ազդող ումի նշանի փոփոխոխաննարությա քնա կարձարկվող նմուշը իր վրա ազդող ումի նշանի փոփոխման մոմենաին չենխարկվի նարվածային ազդնդություն, դրնամիկ մեջինայի անշարժ կանդնակները ընտրված էին այն ռաշվով, որ նրանդացի հնարունների, այսպես ասած, նման զագանակային աշխատանքը լրիվ ապանովում էր մեջննալից կցվանչյին անդնող հարվածային աղդեցությանը խիմ հղման և քին անդման մոմենարնին՝ առանց կցվանըը հարվածային աղդեցությունը աղի կողման մոմենարնին՝ առանցվող

Փործարկվող նմուշի վրա ընկնող ձգող-սնդմող ուժերի մեծությունը չափվում էր գինամոմեարի վրա ամբացված գիմադրախյան էլնկտրաավիչի օդնությամը։ Հափման ավյալները նկարաճանվում էին հռաշլելֆ օսցիլոգրաֆոմ՝ օսցիլոգրամի ձևով (նկ. 3)։ Դինամիկական վարծարկման ընթացրում

կցվանւթի դեֆորմուցիաների գրանցումները,ինչպես և ստատիկական փորձարկումների ժամանակ, ոչ մի արգլունջի չհանդեցրին։ Չնայած փորձարկման տեխնիկական դժվարություն-



24. 3:

4-5 ժամում). դինամիկ մի բննալի վրա նշանավովս և նախապատրաստվում էր 4-5 ժամում). դինամիկ մի բննալի վրա նշանավոիս ումի դդևցության տակ փորձարկված 4 սիսանմի կցվան բնների նմուշները ցուլց տվեցին րավարար արդյուն ընհը, որոնք բերված են աղյուսով 3-ում։

Į	եղ	1 ti	cut	սկ	3
	_	1.00		_	_

4	Фирди- Ъблар 264рр	Gung- Quip.	7.12.	2. Κωρη. μωρηωδοεβητεύρ 49 υλ-		Luppluson Hini Displ	Կցվանթի բաւթայժան
R.		phup ud-	phup the		despire	HINER HIPHL-	an la g p
I	ш,	680	2160	3.62			for some for for
2	ш.	680	1750	2,65	3.13	1.0	3
3	47	665	3500	5,25			6 mb m. 6 10"
4	Ч.	633	2600	4.10	4,60	1,47	2.00.2.
5	$\Gamma_{\rm R}$	740	2900	3,90	2.00	1.25	3
6	Γ.	770	3000	3,90	3,90		
7	Π	620	3070	4,95	4.95	1.57	4-2
8	П.,11	610	3720	6,10	—		2

 Տրված է ավյալ կցվանքի բայքայող լաթման հարարերությունը չաղախով իրականացված կցվանքի բայքայման լարմանը։

Φαρλωλιάτερ φήλικαθή είκρηλυμή άρω γίωθαφάξη ρωγρωμίε և άπου 6000 μήμ ρίκλυωμαρατιθη ίδουν φαράμηθηθη υπουσή δηδων:

Կյվուն նների գինաժիկական փորձարկումների ժամանակ փորձանմուշներ թի ջալջալման ընդհանուր պատկնրը որոշ չափով տարբերվում էր ձդման ստատիկական փորձարկման ջայջալման ձեկց։ Կատկածից վեր է, պինաժիկական փորձարկման մամանակ անկախ նտանից, որ նմուշի վրա աղդում էր նշանափոխ ուժ, րոլոր փորձարկված նմուշները ջալջայվել էին ձգման ձիգերից։ Շաղախակարանով իրականացված կայան թի նմուշներում թալջալումը տեղի էր ունեցել կոնտականերից։ Բնդհանուր տումամը կայան վում դանվող շաղախի ձրման ամբությունը մի թանի անդամ ավելի բարձր է, ջան շադախի և հեծան-վրաջաշի բետոնեւ պատի միջև տուացվող շաղկապման ամրությունը է ուղ իսկ պատճառով էլ թես տակիկական և խե՛ գինամիկական փորձարիտ ների ժամանակ թալթալումը հինեականում տեղի է ունենում կոնապաներից)

Դինամիկական փորձարկումների ժամանակ "\`* և "[]* սիստեմի նմաչների մոտ թայթայումը սկսվեց այդաձից ծողերի մեծ դեֆորմացիայի հետեսնչուվ։ Շաղախային կարանում առաջացած առաջին ճաչերից հետո ալսինջն, երը խախավեց ամբանավորված երինի և չաղախի աշխատանջի միասնությունը, վերը հիշված երկու տիստեմի կցվանյիների մոտ էլ բեսնատարողությունը մեծ արադությամբ նվաղեց և բացարձակապես մի թանի զիկլ բեռնավորումից հետո, փորձանմուշները ամբողջախյամբ շարջից դարո եկան։ Քայթայման պրոցեսը այստովին այլ կերպ ընխացավ "Վ* սիստեմի կցվան ընտրի դինամիկական փորձարկումների մամանակ, Այս սիստեմի երկու նմուշները, ցույց տալով միջին հաշվով չ 1.6 կզչոմ՝ ժամանակավոր դիմավրա ընդունելով ավելի ցածր ըեռնվածութկուն։ Չարզ է, որ այդ մոմենառում ձղման աշխատուների մեջ էին ընդդրկված երիթի միայն մետաղական մառելը. որոնց հասնում էին անդում հուտնություն սահմանին։ Կցվանցի նման աշխատանջը, որը առաջին մոտավորությունը հրշեցնում է կոնստրուկցիայի պլաստիկական կոնալում կուսալվող աշխատուները, կարևոր հանգամանը է երիթային ամրակցունների համար և ինչպես նշվում է հանգամանը է երիթային ամրակցունների համար և ինչպես նշվում է հանգամանը, է երիջային ամրակցունների համար և ինչպես նշվում է հանգամանընդը հրունքը կատարելու կառուցված թի ռելունակայունության դարձում։ Ամրանավորված երիխային կցվանընդություն ինչպեսության կցվանչների, և չել սեսունվներ, ի ատրանրությերը, կոնդրետ դեպրում ինչպիսին է չել պետանդինը, ի ատրանրությերը, կոնդրետ դեպրում ինչպիսին է չել արտեսինը, ի ատրանրությեր, դուրվածը հայտությած կցվանչների, տեսունեններ, է պարտիցից դուրո գալուց հատ անգամ հնարավորություն ունեն դիմագրելու հետադա հարվածներին, մետացին հայտնելով ընդնուպ մինչն հուտնության առմանը։ Դա նշանակում է, որ կառուցված ընդնությունը կանդանանի վեմննար, սելաքիկ ազգնցությունից թեռլը ապահության չիր ու տեղական վնասված ընհնար

Դինասքիկական փորձարկումներից փատ թալթայված փորձանմուջների ասումնասիրությունը այց ավեց, որ _∏" և ™ սիսաեմների կցվանջները շաղախակարանի շարթից դուրս դալուց հետո նույնպես կարող էին շարունակել աշխատել, եխե նրանց մոտ ուղղաձիգ ձողերը այլ եղանակով ամբացվեն։ Դրա համար հարկավոր է այդ երկու սիստեմների կցվանջներում որոշ կոնստրուկակվ փոփոխություններ մայնել։

Այնս կանդ չառնելով բոլոր վերը նշված երկնային միացունների իրականացման տեխնոլոդիայի չետ կապված դժվարունելունների վրա, որը մանթաման շարագրված է 6), նշենջ ամբակցման մեջ ամբանավորման դրական աղդեցունելունը, չատկապես դինամիկակոնն ումերի առկայունելն դհական աղդեցունելունը, չատկապես դինամիկակոնն ումերի առկայունելն դհական աղդեցուներ, չատկապես դինամիկակոնն ումերի առկայուներններով կցմանքը չամեմատած միայն շաղանդի կարանով իրականացված երկններով կցմանքը չամեմատած միայն շաղանդի կարանով իրականացված երկններով կցմանքը չամեմատած միայն շաղանդի կարանով իրականացված կցմանքի չնա,ավելի էինկանդի ձևով է չանդես գայիս դինամիկական ումերի ազդեցունելու դնայների ամրունվունը շաղանականում ժամանակ ամերանավորված կըցվանքների ամրունվունը շաղանակարանով իրականացված կցմանքի ամրուիրայի 25 է ավելի, ապա դինամիկական փորձարկումների ընթացքամ այն արդեն անում է 25 - 57° չ։

				Ազյուսակ հ
.\s r 4	the share	Hannan, spaps.	d. фард. шарт - рупстр	Черния, к атам. шарт засрибр ступерыр
1	ш	2.76	3,13	1.13
2	ц	3.48	4.60	1.32
3	Г	3.63	3,90	1.05
4	П	3.45	4,95	1_43

Միեծուլն սիստեմի կցվանըի գիճամիկական ու ստատիկական միորձարկումներից ուսացված ամբույնլունների համեմատուլիլունը (ազուսակ 4) ցույց միումներից որ բոլոր կցվանընել, անկակունը նրանց սիստեմից, գինամիկորեն աղդող ուժի դեպրում չանցես են տիկականին դերադանցում է $S = 13^{\circ}$ -ով։ Եժան ցույանիչներ ժենք ստացել էինք անակ $\{7\}$, որտեղ ամբու Թյունները Տարարերում էին Տետելալ կերպ՝ շ^{ջիս} (1.1 = 1.2)0°⁻ ։ Սակայն ե` այս փորձարկու ները, ինչպես նաև նախորդ փորձարկունների դեպրում, ամբու փորձարկու ները, ինչպես նող է տալիս երևան ընդելու չարցի որակական կողմը միալն։ Ինչ վերարերում նրա թանակականը կողմին, ապա սույն, դինսոմիկական, փորձերի փուրլաջանակ լինելը, ինչպես և Տարվածային՝ խնդուտիվ) ու մի աղդեցույն տակ փորձերի բացակայությունը շնարավորու յուն չի տալիս կոնկրետ Թվական օրինաչափություն հառատել չի ված ձների ամբոփցվող էլեմենաների տաակական ու դինսոմիկական ամերին՝ վերջիններիս դիմադրողականության չարարերություն միջ, և այն օդապողոներ կառուցված թեսերումանների անա կանիների բացակացում։ Այս չանգամանըը չաչվի է առնված հեռապալում այն լու նելու Նպատակով։

Շինանյու քերի և կառուցվածըների ինստիտուտ

Rugarud (27. X1 1530

Л. В. ШАХСУВАРЯН

ДИНАМИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ СТЫКОВ

Резюме

В статье оспещается работа некоторых видов стиков сборного междуэтажного железобетонного перекрытия на динамическую нагрузку. Подобные соединения в перекрытиях в условиях сейсмики, помимо сдвигающих нагрузок, претервевают также нагрузку сжатиярастяжения, воздействующую динамически [1].

Выбранные, с целью испытания на динамическую нагрузку, соединения представляют собой стыки шпоночного тива, где, в одном случае простым армированием создается связь между поперечными, а в другом случае—продольними арматурами бялок-изстилов (рис. 1). Конструктивные характеристики данных стыков приведены в таблице 1.

Для орнентации в характере работы и определения примерной несущей способности указанных стыков, прежде чем испытать их на динамическую нагрузку, по два образца из данных стыков испытывались на растяжение при статическом действии сил. Полученные результаты (табл. 2) показали, что армированные стыки имеют на 25-31° облыше прочности, по сравнению со стыком в виде растворного цива.

Динамическое испытание указанных стыков на знакопеременную нагрузку сжатия-растяжения осуществлялось на динамической машине "АИС". Схема испытания образцо, приведена на рис. 2. При динамических испытаниях стыков созланием гибких пружиняющих опор, устранялся фактор ударного действия силы на образец в моменты перемены знака нагрузки. Измерения усилий растяжения и сжатия производились тензодатчиками сопротивления, установленными на плоско-пружинном динамометре динамической машины. Величины усилий записывались в виде осциплограммы (рис. 3). На динамическую нагрузку испытывались по два образца каждой конструкции стыка. Результаты испытания, приведенные в табл. 3, показали еще большее, чем при статическом испытании, повышение прочности армированных стыков по отношению к стыкам в виде растворного шва, а именно 25—57%/о.

Сравнением прочностей одного и того же стыка (табл. 4) было установлено, что все вышеуказанные стыки при динамическом воздействии сил показали прочность на 8--43% выше, чем при статическом воздействии сил. Результаты настоящих опытов, а также результаты, относящиеся к динамическим испытаниям растворного шва каменной кладки [7], выявили качестненную сторону вопроса и пока не могут быть использованы в расчетах прочности здания на динамические усилия.

ЛИТЕРАТУРА

- Шахсуваряк Л. В., Анализ работы стиков бахок-настнаов на саисмическую нагрузку. "Известия АН Армянской ССР⁺ (серия техи, наук), № 5, т. Х. 1957.
- Чуранн А. Л. и Джабуа III. А., Сборные железобеторные перекрытия в сейсмическом строительстве. Журп. "Бетон и железобетон", № 8, 1955.
- Шахсуларян Л. П. Экспериментальное изучение работы стыков бялок-настилов. Сб. объел. научной сессии институтов стровмат и сопруж. Закавказск. республик., 1958.
- Шахсуварян- Л. В., Новая машина для динамических испытания строительных конструкций. Фил. Всесоюли. Ин-та научи, и техн. информации, 1957.
- Гвозова А. А., К расчету конструкций на действие върывной волны. Жури. "Строительная промышленность". № 1--2, 1943.
- Шахсулария Л. П., Выбор рациональных конструкций связей междуэтажных сборных перекритий на основе статического и динамического испытаний стыков. Научно-технический отчет АИСМ (рукопись), 1956.
- 7. Шахсуварян Л. В., Линамическая прочинсть шва владки при изгибе. Труды коорд. совещ, по сейсмост. стр-ва. 1956.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍԱԹ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՑԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМНИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ, սեշիա

XIII. № 4. 1960 Серня технических наук

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

X. A. TOXMAX9H

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НЕСУШЕГО АРМАТУРНОГО КАРКАСА НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

На строительстве силового здания Атарбекянской гидооэдектростанции были применены железобетонные балки с несущим арматурным каркасом. Схема конструкции несущего каркаса балки показана на рис. 1. Каркас был рассчитан на несение веса опалубки, веса свежеуложенного бетона балки и монтажного оборудования с учетом коэффициента перегрузки, принятого равным 1.2.



Армокаркасы в количестве четыре штук для одной балки имели сварные соединения. После установки армокаркасов на колонны здания ГЭС и сварки их с закладными частями колони, при помощи подъемного крана устанавливались щиты полвесной опалубки (рис. 2). Опалубка была изготовлена из трех засньев, каждая длиной по 5,07 .34.

Бетонировка балок производилась последовательно, в зимнее время при температуре воздуха до - 8 С. Одна балка бетонировалась в течение 6-8 часов. Применялся легкий бетон марки "200" на литоядном заполнителе. На 1 кубометр бетона расходовались следующие материалы:

> Пемзовый щебень 10-50 м.ч 890 литра Пемзовый песок 0-10 ж.м - 410 литра Bolta -- 288 82 Хлористый кальций — --- 3°/, от неса воды.

Средний предел прочности контрольных бетонных кубиков 28-дневного возраста, на сжатие оказался равным 240 кг/см-.



Puc. 2.

После распалубки балок с несущим арматурным каркасом на них укладывались сборные желозобетонные многопустотные панели и вслед за этим укладывался гидроизолационный слои покрытия, а после — кровля из листового железа.

Применение несущих арматурных каркасов позволило обойтись без устройства дорогостоящих деревянных подмостей в помещении высотой 13—24 м. и ускорить темпы строительства примерно на 1 месяц.

Армгидроэнергострой

Поступнао 9 Х 1959



ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՑՈՒՆ

Ելեկուառեխնիկա

	42
ն. Ա. Մելիթ-Վարդունյան. Չերիչնի պոյինոժների կիրառումը էլեկտրական ֆիլարը- ների քաղվման քամար	3
Մ. Մ. Կարապետյան- <i>Մի</i> նոլորտային գերլարումների շարցը էլեկտրականացված տեղափոխելի ագրեզատներում	17
Հիդուսվլիկա	
I. Ա. Մովսեսյան. <i>Մադիստրալ դադամու դների իներցիոն դիմադրու թյան մասին</i> Գ. Ա. Հավբարձումյան	37
Շինաբաբական կոնս»շուկցիաներ	
է 4. ճանառավարյան կցված թների զիծաժիկական փորձարկումը	\$5
Գիռական նոթեր	
տ. Ա. Թոխոքախյուն, Հիդրոէյնկտրակայանի չինտրարութիյան մեջ կրող ամրանային կարկասի կիրառման փորձը	63
СОДЕРЖАНИЕ	
	Стр.
Электротехника	
К. А. Мелик-Вартанян. Некоторые вопросы применения полиномов Чебы- шева от комплексного грумента к расчету электрических фильтров. М. М. Карапетин. К вопросу об атмосферных перенапряжениях в перезвиж- ных электрифицированных агретатах Гидравлика	3 17
Л. А. Мовсесян. К вопросу об инерционном сопротивлении магистральных га-	27
Г. А. Амбарцу.чин. О некоторых вопросах гидравлического расчета СШГБ	43
Строительные конструкции	
Л. В. Шахсуварян, Динамическое испытание стыков	55
Научные заметки	
X. А. Тохмахян. Опыт применения несущего арматурного каркаса на строн- тельстве гидроэлектростанции	63