

составу ее агрегатов соответствуют свои величины топливных эквивалентов расхода воды и разность этих величин. характеризующая перерасход топлива в энергосистеме, может быть соизмерима с погрешностью их определения. Поэтому для гидротурбин перерасходы топлива приблизительно определяются по величине недовыработки на ГЭС мощности в результате ремонтов при средней нагрузке энергосистемы. В этом случае величины топливных эквивалентов расхода воды определять не нужно, так как нагрузка энергосистемы постоянна. Расчеты показали, что для агрегатов месячные величины перерасходов топлива могут различаться между собой на 10–20 тыс. т. у. т./мес. (блоки 300 МВт, турбины ПТ-60 и Т-100, котлы на станциях при малом резерве тепловой мощности, гидротурбины) или могут быть практически одинаковыми (неэкономичные конденсационные турбины, котлы на станциях с большим резервом тепловой мощности). Снижения мощности в энергосистеме определяются как разность между мощностями станций при полном составе оборудования и при отключенных рассматриваемых агрегатах. Для котлов и турбин с регулируемым отбором пара эти величины, как правило, меняются с изменением тепловых нагрузок станций.

Описанная методика реализована на алгоритмическом языке ПЛ-1. При 100 ремонтах время счета на ЕС-1022 составляет 3–4 ч. Результаты расчетов – величины месячных перерасходов топлива и снижений мощности в энергосистеме от отключений агрегатов выдаются в табличной форме на печать и предназначены для использования диспетчерской службой и службой ремонтов тепломеханического оборудования энергосистемы для обоснования минимальных и максимальных сроков выводов агрегатов в ремонт, модернизаций и реконструкций.

УДК 621.316.37

И.И.Сергей

#### АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ СТАТИКИ ГИБКИХ ШИН РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С УЧЕТОМ ГИРЛЯНД ИЗОЛЯТОРОВ

Динамика гибких шин распределительных устройств (РУ) при к.з. описывается системой дифференциальных уравнений в частных производных, численное решение которых сводится к решению нелинейных разностных уравнений [1].

В [2] указывается, что погрешность в решении разностных уравнений и сходимость к точному решению дифференциальных уравнений зависят от ошибки в задании начальных условий. Поэтому возникает необходимость в разработке более точного метода расчета статики гибких шин РУ с учетом гирлянд изоляторов, позволяющего найти указанные начальные условия [3].

В статье предлагается метод расчета гибких шин РУ с учетом гирлянд изоляторов, основанный на аналитическом решении дифференциальных уравнений гибких шин РУ, представленных абсолютно гибкой нерастяжимой нитью.

Известно [4], что наиболее удобным методом пространственного решения гибких нитей является векторный метод расчета, охватывающий общее решение всех задач. В [4] получено аналитическое решение дифференциальных уравнений в векторном виде, описывающее статику в пространстве абсолютно гибкой нерастяжимой нити

$$\left. \begin{aligned} \bar{R} &= \bar{a}_1 + \frac{1}{P} \left( \bar{a}_0 - \frac{\bar{a}_0 \bar{P}}{P^2} \bar{P} \right) \operatorname{Arsh} \frac{|\bar{P}|^2 S - \bar{a}_0 \bar{P}}{\sqrt{\bar{a}_0^2 \bar{P}^2 - (\bar{a}_0 \bar{P})^2}} - \\ &- \frac{\bar{P}^2}{P^2} \left| \bar{a}_0 - \bar{P} S \right| ; \\ \bar{T} &= \bar{a}_0 - \bar{P} S, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\bar{a}_0, \bar{a}_1$  - постоянные векторы интегрирования;  $S$  - текущая координат по нити;  $T, \bar{T}$  - модуль и вектор тяжения вдоль нити;  $P, \bar{P}$  - модуль и вектор результирующего усилия на единицу длины нити.

Для получения единообразной математической модели системы "гирлянды изоляторов - провода шин" воспользуемся представлением гирлянды изоляторов абсолютно гибкой нерастяжимой нитью. Получим, таким образом, кусочно-однородную нить, состоящую из трех однородных участков разной интенсивности распределенной нагрузки.

Кусочно-однородная гибкая нить (рис. 1), состоящая из трех участков, описывается в общем виде следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned}
 \bar{R}_i &= \bar{a}_{1i} + \frac{1}{P_i} (\bar{a}_{oi} - \frac{\bar{a}_{oi} \bar{P}_i}{P_i^2} \bar{P}_i) \operatorname{Arsh} x \\
 x &= \frac{|\bar{P}_i|^2 S_i - (\bar{a}_{oi} \bar{P}_i)}{\sqrt{\bar{a}_{oi}^2 \bar{P}_i^2 - (\bar{a}_{oi} \bar{P}_i)^2}} - \frac{\bar{P}_i}{P_i^2} |\bar{a}_{oi} - \bar{P}_i S_i|; \\
 \bar{T}_i &= \bar{a}_{oi} - \bar{P}_i S_i; \quad i = I, II, III.
 \end{aligned} \right\} (2)$$

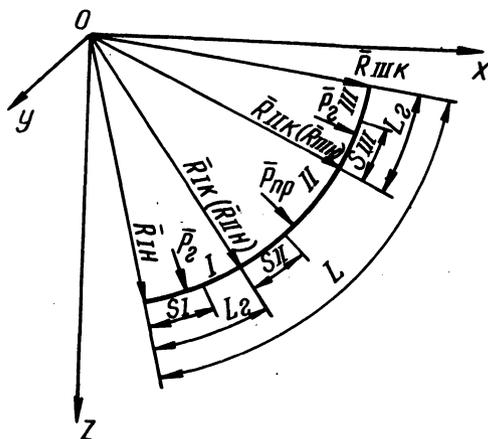


Рис. 1. Гибкие шины РУ с гирляндами изоляторов:  $L_g$  — длина гирлянды изоляторов;  $L$  — общая длина шин с гирляндами;  $\bar{P}_I$  и  $\bar{P}_{пр}$  — векторы результирующих усилий соответственно на единицу длины гирлянды изоляторов и провода.

Текущие координаты по участкам кусочно-однородной нити изменяются в следующих пределах:

$$\left. \begin{aligned}
 0 \leq S_I \leq L_g; \\
 0 \leq S_{II} \leq (L - 2L_g); \\
 0 \leq S_{III} \leq L_g,
 \end{aligned} \right\} (3)$$

Для того чтобы решить систему уравнений (2), необходимо определить постоянные векторы интегрирования  $\bar{a}_{oi}$  и  $\bar{a}_{1i}$ , где  $i = I, II, III$ .

Будем считать известными граничные условия и длину участков гибкой системы. Это позволяет записать для граничных точек кусочно-однородной нити

$$\left. \begin{aligned}
 \bar{R}_{iH} &= \bar{a}_{1i} + \frac{1}{P_i} \left( \bar{a}_{oi} - \frac{\bar{a}_{oi} \bar{P}_i}{P_i^2} \right) \text{Arsh} \frac{-\bar{a}_{oi} \bar{P}_i}{\sqrt{\bar{a}_{oi}^2 \bar{P}_i - (\bar{a}_{oi} \bar{P}_i)^2}} - \\
 &- \frac{\bar{P}_i}{P_i^2} |\bar{a}_{oi}|; \\
 \bar{T}_{iH} &= \bar{a}_{oi} \quad \text{при} \quad S_i = 0; \\
 \bar{R}_{iK} &= \bar{a}_{1i} + \frac{1}{P_i} \left( \bar{a}_{oi} - \frac{\bar{a}_{oi} \bar{P}_i}{P_i} \bar{P}_i \right) \text{Arsh} \frac{|\bar{P}_i|^2 L_i - (\bar{a}_{oi} \bar{P}_i)}{\sqrt{\bar{a}_{oi}^2 \bar{P}_i - (\bar{a}_{oi} \bar{P}_i)^2}} \\
 &- \frac{\bar{P}_i}{P_i^2} |\bar{a}_{oi} - \bar{P}_i S|; \\
 \bar{T}_{iK} &= \bar{a}_{oi} - \bar{P}_i S_i \quad \text{при} \quad S_i = L_i,
 \end{aligned} \right\} (4)$$

где  $i = I, II, III$  и соответственно  $L_i = L; L-2L_r; L_r$ .

Так как  $\bar{T}_{iK} = \bar{T}_{iH}$  и  $\bar{T}_{iK} = \bar{T}_{iH}$  (гирлянды изоляторов и про-  
 вода шин абсолютно гибкие нити), то после преобразований  
 систему (4) запишем в следующем удобном для решения виде:

$$\left. \begin{aligned}
 \bar{a}_{oI} &= \bar{a}_{oII} + \bar{P}_r L_r; \\
 \bar{a}_{oIII} &= \bar{a}_{oII} + \bar{P}_r (L - 2L_r); \\
 \bar{a}_{1I} &= \bar{R}_{iH} - \frac{1}{P_r} \left( \bar{a}_{oi} - \frac{\bar{a}_{oi} \bar{P}_r}{P_r^2} \bar{P}_r \right) * \\
 &* \text{Arsh} \frac{-\bar{a}_{oi} \bar{P}_r}{\bar{P}_r} + \frac{\bar{P}_r}{P_r^2} |\bar{a}_{oi}|; \\
 \bar{R}_{iK} &= \bar{a}_{1I} + \frac{1}{P_r} \left( \bar{a}_{oi} - \frac{\bar{a}_{oi} \bar{P}_r}{P_r^2} \bar{P}_r \right) *
 \end{aligned} \right\} (5)$$

$$\begin{aligned}
 & \times \operatorname{Arsh} \frac{P_r^2 L_r - (\bar{a}_{oI} \bar{P}_r)}{B_I} - \frac{\bar{P}_r}{P_r^2} \left| \bar{a}_{oI} - \bar{P}_r L_r \right|; \\
 & \bar{a}_{1III} = \bar{R}_{IIIk} - \frac{1}{P_r} \left( \bar{a}_{oIII} - \frac{\bar{a}_{oIII} \bar{P}_r}{P_r^2} \bar{P}_r \right) \times \\
 & \times \operatorname{Arsh} \frac{P_r^2 L_r - (\bar{a}_{oIII} \bar{P}_r)}{B_{III}} + \frac{\bar{P}_r}{P_r^2} \left| \bar{a}_{oIII} - \bar{P}_r L_r \right|; \\
 & \bar{R}_{IIk} = \bar{a}_{1III} + \frac{1}{P_r} \left( \bar{a}_{oIII} - \frac{\bar{a}_{oIII} \bar{P}_r}{P_r^2} \bar{P}_r \right) \times \\
 & \times \operatorname{Arsh} \frac{-\bar{a}_{oIII} \bar{P}_r}{B_{III}} - \frac{\bar{P}_r}{P_r^2} \left| \bar{a}_{oIII} \right|; \\
 & \bar{a}_{1II} = \bar{R}_{Ik} - \frac{1}{P_{np}} \left( \bar{a}_{oII} - \frac{\bar{a}_{oII} \bar{P}_{np}}{P_{np}^2} \bar{P}_{np} \right) \times \\
 & \times \operatorname{Arsh} \frac{-\bar{a}_{oII} \bar{P}_{np}}{B_{II}} + \frac{\bar{P}_{np}}{P_{np}^2} \left| \bar{a}_{oII} \right|; \\
 & \bar{a}_{oII} = \frac{(\bar{R}_{IIk} + \bar{a}_{1II} + \frac{\bar{P}_{np}}{P_r^2} \left| \bar{a}_{oII} - \bar{P}_{np} (L - 2L_r) \right|) P_{np}}{\operatorname{Arsh} \frac{P_{np}^2 (L - 2L_r) - (\bar{a}_{oII} \bar{P}_{np})}{B_{II}}} + \\
 & + \frac{\bar{a}_{oII} \bar{P}_{np}}{P_{np}^2} \bar{P}_{np}.
 \end{aligned} \tag{5}$$

где  $B_i = \sqrt{\bar{a}_{oi}^2 P_i^2 - (\bar{a}_{oi} \bar{P}_i)^2}$ ,  $i = I, II, III$ .

Система трансцендентных уравнений (5) решена методом Вегстейна.

По известным постоянным интегрирования  $\bar{a}_{oi}$  и  $\bar{a}_{1i}$  определяется пространственное положение и тяжение гибких шин РУ с учетом гирлянд изоляторов.

Выше суммарная длина гибких шин с изоляторами  $L$  принималась в качестве исходной величины. Определение  $L$  является самостоятельной задачей.  $L$  можно определить при известном тяжении в "нулевой точке" ( $T_0$ ), удельных монтажных нагрузках, длине гирлянд изоляторов, граничных векторах  $\bar{R}_{\text{IIIк}}$ ,  $\bar{R}_{\text{Iн}}$ .

Как следует из рис. 1,

$$x_{\text{IIIк}} - x_{\text{Iн}} = L_x, \quad (6)$$

где  $L_x$  - проекция длины пролета на ось  $x$ ;  $x_{\text{IIIк}}$ ,  $x_{\text{Iн}}$  - проекций векторов  $\bar{R}_{\text{IIIк}}$ ,  $\bar{R}_{\text{Iн}}$  на ось  $x$ .

Поскольку  $x_{\text{IIIк}}$  в соответствии с (4) можно выразить через  $L$ , то это приводит после преобразований к решению системы уравнений (5) в проекциях на ось  $x$ , в которой 8-е уравнение разрешено относительно  $L$ :

$$L = 2L_{\Gamma} + \frac{1}{P_{\text{пр}}^2} (\bar{a}_{\text{оII}} \bar{P}_{\text{пр}} + \text{sh}(y) B_{\text{II}}). \quad (7)$$

Здесь

$$x_{\text{IIIк}} - a_{\text{IIIк}} + \frac{P_{\text{пр}x}}{P_{\text{пр}}^2} \sqrt{a_{\text{оII}}^2 - 2(L - 2L_{\Gamma})(\bar{a}_{\text{оII}} \bar{P}_{\text{пр}}) + \dots x}$$

$$y = \frac{\frac{1}{P_{\text{пр}}} (a_{\text{оII}x} - \frac{\bar{a}_{\text{оII}} \bar{P}_{\text{пр}}}{P_{\text{пр}}^2} P_{\text{пр}x})}{+ \bar{P}_{\text{пр}}^2 (L - 2L_{\Gamma})^2} \dots x$$

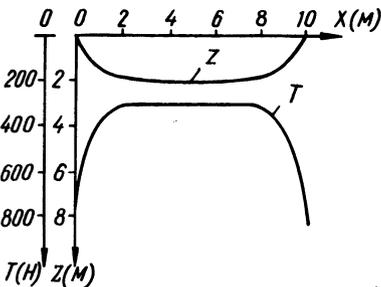


Рис. 2. Результаты расчета по программе шинги:  $L_x = 10$  м;  $L_{\Gamma} = 2,4$  м;  $P_{\Gamma z} = 287,5$  Н;  $P_{\text{пр}z} = 8,54$  Н.

По разработанному алгоритму составлена программа на языке „Фортран“ для ЭЦВМ „Минск-32“.

На рис. 2 приводятся результаты расчета по составленной программе.

### Л и т е р а т у р а

1. Стрелюк М.И., Сергей И.И. Расчет электродинамических усилий в трехфазной системе гибких проводов. - Изв. вузов СССР. Энергетика, 1975, № 11. 2. Годунов С.К., Рябенский В.С. Введение в теорию разностных схем. М., 1962. 3. Бошнякович А.Д. Расчет проводов подстанций и больших переходов ЛЭП. Л., 1975. 4. Кессельман Л.М., Денисов Ю.М. Векторный метод расчета тяжелой гибкой нити. - В сб.: Проектирование энергосистем и электрических сетей, вып. III. Ташкент, 1967.

УДК 621.315.21:537.312.62

И.А.Ступак

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ КРИОГЕННЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Исследования линий высокой электропроводности путем создания экспериментальных установок в основном нацелены на получение различных электрических, теплофизических, электродинамических и других параметров. Но они не дают возможности непосредственно определить количественные и тем более эксплуатационные показатели надежности данных линий. Это связано с тем, что определяемые параметры не имеют четко выраженных критериев для обоснования надежности криогенных кабельных линий, что осложняет их всестороннюю оценку.

Однако можно найти определенный подход к предварительной оценке некоторых показателей, используя статистические данные об отказах.

Есть основания предполагать, что один из основных критериев надежности криокабеля (общее количество отказов) характеризуется электрическими, тепловыми, электрофизическими, механическими, эксплуатационными и другими причинами. Уровень этих факторов определяет состояние надежности системы криокабеля.

При анализе общего количества отказов криогенной кабельной линии учитываются отказы не только по указанным причинам, но и возможным их сочетанием.