

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Издаётся с 1917 г.

Խ Մ Բ Ա Գ Ր Ա Կ Ա Ն Կ Ո Ւ Խ Ի Ա

Կասյան Կ. Վ. (պատ. խմբագիր), Աղոնց Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Ալեքսեևսկի Վ. Վ., Անանյան Ա. Կ., Դարոյան Տ. Ա., Զաղոյան Կ. Ա., Դուրա-
նով Ա. Դ., Տեր-Ազարե Ի. Ա., Փինոցյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ)
~~Պետրոսյան~~ Բարսեղյան Ստեփանյան Զ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (ответ. редактор), Алоян Г. Т. (зам. ответ. редактора),
Алексеевский В. В., Анания А. К., Гороян Т. А., Задоян М. А., На-
заров А. Г., Пинавожян В. В. (зам. ответ. редактора), Тер-Азарьев И. А.
Ответственный секретарь Степанян З. К.

Խմբագրության հասցեն՝ Երևան-19, Բարեկամության փող. 24դ

Адрес редакции: Ереван-19, ул. Барскамутиян, 24г.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. С. ТЕР-МАРКАРЯН

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КИНЕМАТИКИ И ПРОЦЕССА
РЕЗАНИЯ БЕЗВЕРШИНЫМИ РЕЗЦАМИ

Безвершинные резцы, отличительной чертой которых является большой угол наклона режущей кромки, имеют ряд особенностей и преимуществ [1]: в отличие от обычных, они всегда работают в условиях свободного резания; вследствие большой ширины среза тангенциальная и радикальная составляющие усилий резания при одинаковых условиях обработки несколько больше, чем у обычных резцов; осевая составляющая направлена в обратную сторону, т. е. имеет отрицательное значение; заточка инструмента проще и производится по двум плоскостям; настройка в резцодержателе по оси вращения детали не требуется и в случае износа его можно поднять или опустить на величину изношенной части режущей пластины.

При работе безвершинным резцом, как впрочем и обычным, с углом наклона $\lambda \neq 0$ [1], несоответствие рабочих (кинематических) и статических углов может достигнуть значительных величин, и поэтому наличие переходных зависимостей между ними при исследовании этих инструментов становится необходимым.

Исследования безвершинных резцов целесообразно проводить путем сопоставления их с резцами обычной геометрии, что, несомненно, выявит непосредственное влияние угла наклона режущей кромки и вершины резца на выходные параметры процесса резания.

Успешное сопоставление этих резцов возможно только при максимальном сохранении идентичности их геометрических параметров, для чего необходимо вывести соответствующие зависимости, учитывающие взаимосвязь между аналогичными углами указанных резцов.

Этим двум вопросам, в основном, посвящена данная работа.

На рис. 1. представлена схема определения этих зависимостей, откуда

$$\operatorname{tg} \varphi' = \operatorname{tg} \psi \operatorname{tg} \varphi; \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \psi + \operatorname{tg}^2 \varphi}}. \quad (2)$$

Следовательно, при заданном угле ψ углы φ и φ' прямо пропорциональны, а при $\varphi' = 0$ углы ψ и λ дополняют до 90° .

Для безвершинных резцов рабочий угол наклона режущей кромки (ψ_p) можно определить, используя соответствующие зависимости λ [2] и уравнения (1) и (2).

$$\operatorname{tg} \psi_p = \{[\cos \varepsilon (\operatorname{tg}^2 \psi + \operatorname{tg}^2 \varphi') + \sin \varepsilon \operatorname{tg} \varphi']^2 - \cos^2 \alpha_N \operatorname{tg}^2 \varphi (\operatorname{tg}^2 \varphi' + \operatorname{tg}^2 \psi)\} \times \\ \times [\cos^2 \alpha_N (\cos \varepsilon - \sin \varepsilon \operatorname{tg} \varphi') \sqrt{\operatorname{tg}^2 \varphi' + \operatorname{tg}^2 \psi}]^{-1}. \quad (3)$$

Здесь α_N — проекция угла подъема винтовой траектории рабочего движения резца в нормальном сечении и определяется из выражения

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \frac{\operatorname{tg} \psi \sin \varepsilon \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi + \operatorname{tg}^2 \varphi'}}{\cos \varepsilon (\operatorname{tg}^2 \psi + \operatorname{tg}^2 \varphi') + \sin \varepsilon \operatorname{tg} \varphi'}.$$

где

$$\sin \varepsilon = \frac{p - r}{p \operatorname{tg} \varphi'};$$

p — радиус рассматриваемой окружности на поверхности резания;
 r — радиус обработанной поверхности.

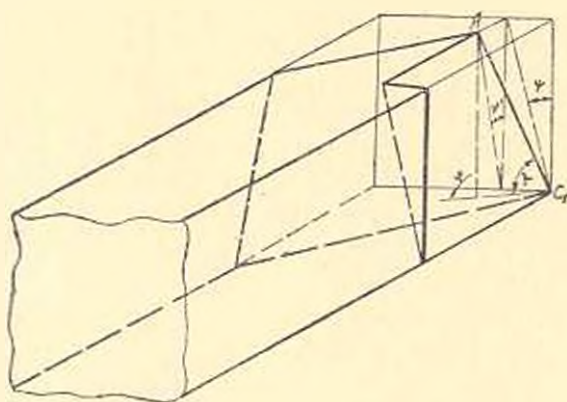


Рис. 1. Схема определения зависимостей между углами $\psi \sim \varphi$ и $\psi \sim \lambda$. AC_1 — режущая кромка инструмента; φ' и ψ — соответственно угол атаки и угол наклона режущей кромки обычного резца; φ и λ — соответственно главный угол в плане и угол наклона режущей кромки обычного резца.

Зависимость (3) выведена без учета влияния подачи и показывает, что величина рабочего угла наклона режущей кромки вдоль последней переменна: она растет при переходе от обработанной поверхности к обрабатываемой. Это результат превышения или занижения точек режущей кромки (кроме одной) относительно оси вращения детали.

Прежде чем установить взаимосвязь между остальными углами, надо уточнить, в частности для α и γ , на каких плоскостях и направлениях они измеряются, поскольку от этого зависит их действительная величина. Подобное уточнение поможет также выявить непосредственное влияние угла наклона режущей кромки на процесс резания от его косвенного влияния.

Направление измерения рабочего заднего угла α_p справедливо связывают [3] с направлением вектора истинной скорости резания V_n . Поэтому у безвершинных резцов принято α_p измерять в секущей плоскости, параллельной оси вращения детали и проходящей через V_n в данной точке. Тогда α_p будет представлять собой угол, заключенный между следом указанной плоскости на заднюю грань инструмента и вектором V_n . Поскольку направление вектора V_n не постоянно вдоль режущей кромки, то переменной является и величина рабочего заднего угла, которая в произвольной точке на режущей кромке определяется по формуле [4]. Однако в этой работе не учтены влияние подачи s и переменность угла ψ_p вдоль режущей кромки, величина которого, как выяснилось, может изменяться в довольно широких пределах.

С учетом отмеченного, выведенная нами формула по определению величины рабочего заднего угла в произвольной точке α_p дает ее более точное значение:

$$\operatorname{tg} \alpha_p = \frac{2\varphi (\operatorname{tg} \alpha_n \operatorname{tg} \psi_p - \operatorname{tg} \theta_1 - \operatorname{tg} \varphi') - s \operatorname{tg} \alpha_n \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \theta_1}}{s (\operatorname{tg} \alpha_n \operatorname{tg} \psi_p - \operatorname{tg} \theta_1 - \operatorname{tg} \varphi') + 2\pi r \operatorname{tg} \alpha_n \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \theta_1}}, \quad (4)$$

где

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{\cos \varphi' \sqrt{\rho^2 - r^2} - r \sin \varphi'}{\sin \varphi' \sqrt{\rho^2 - r^2} + r \cos \varphi'};$$

α_n — статический задний угол безвершинного резца.

Как видно из (4), угол α_p растет с уменьшением ρ , т. е. с переходом от обрабатываемой поверхности к обработанной.

В некоторых случаях необходимо знать величину статических задних углов в плоскости, перпендикулярной к режущей кромке α_N , и в плоскости, перпендикулярной к проекции режущей кромки на основную плоскость α .

Схема определения зависимостей между вышеуказанными углами представлена на рис. 2, откуда:

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha \sqrt{\frac{1 + \operatorname{tg}^2 \psi + \operatorname{tg}^2 \varphi'}{\operatorname{tg}^2 \psi + \operatorname{tg}^2 \varphi'}}; \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_N \cos \psi \cos \varphi'. \quad (6)$$

Вопрос о направлении измерения рабочего переднего угла γ_r при работе инструментом с $\lambda \neq 0$ окончательно не решен. Исследователи придерживаются разных взглядов [1; 3; 6; 7], но большинство из них принимает точку зрения Г. И. Грановского [3], который связывает направление измерения γ_r с направлением схода стружки по передней поверхности инструмента. Подобный подход следует считать правильным, т. к. сила трения на передней поверхности действует в этом направлении, кроме того, за формирование зоны резания ответственного та часть режущего клина, которая получается при пересечении последнего с плоскостью, совпадающей с направлением схода стружки. В этом случае γ_r определяется как угол, заключенный между следом этой плоскости на переднюю поверхность и следом плоскости Q на ту же плоскость (рис. 2).

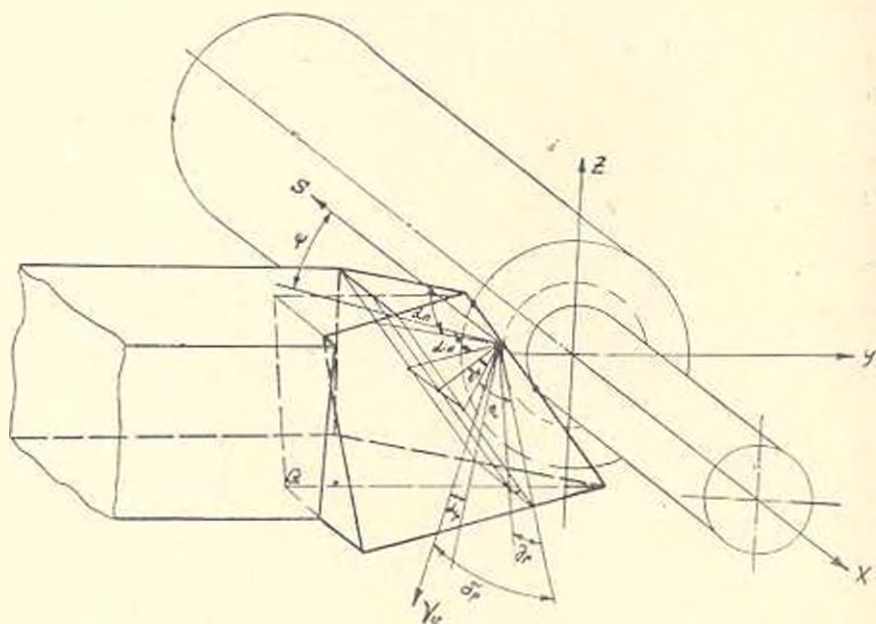


Рис. 2. Статические и кинематические углы безвершинного реза.

Плоскость Q , которая проходит через режущую кромку, а ее след на основную плоскость перпендикулярен к направлению продольной подачи, служит началом отсчета передних углов.

Подобная постановка вопроса вытекает из того, что если взять крайнее расположение безвершинного реза, когда его режущая кромка параллельна основной плоскости, то плоскость Q займет положение, аналогичное той плоскости, между которой и передней поверхностью инструмента с $\lambda = 0$ измеряется передний угол.

Условимся, что если передняя поверхность безвершинного реза при его вышеуказанном расположении находится ниже плоскости Q , то образуется положительный передний угол, а если выше — отрицательный.

Необходимо отметить, что у безвершинных резцов статический передний угол целесообразно измерять в направлении нормали к режущей кромке γ_N , т. к. при измерении этого угла в плоскости, перпендикулярной к проекции режущей кромки на основную плоскость, утрачивается его функциональный смысл.

Из схемы (рис. 2) нетрудно найти, что

$$\operatorname{tg} \gamma_r = \frac{\operatorname{tg} \gamma_N}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi (1 + \operatorname{tg}^2 \gamma_N)}}; \quad (7)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_N = \operatorname{tg} \gamma \sqrt{\frac{\operatorname{tg}^2 \psi + \operatorname{tg}^2 \psi'}{1 + \operatorname{tg}^2 \psi + \operatorname{tg}^2 \psi'}}. \quad (8)$$

Как следует из (7), для определения γ_r необходимо знать значение угла схода стружки на передней поверхности инструмента η в интересующей нас точке вдоль режущей кромки.

По нашему мнению, направление этого схода связано с направлением вектора истинной скорости резания V_d . Сказанное имеет реальную основу, т. к. любая точка на поверхности вращающегося цилиндра стремится сойти с поверхности по касательной, т. е. по направлению вектора скорости вращения. По этому же направлению должны сойти и частицы стружки, при условии, что рабочий угол резания инструмента $\delta_r \rightarrow 0$.

Прямым доказательством наших рассуждений является процесс косоугольного свободного строгания с инструментом $\delta_r \rightarrow 0$ (если представить себе такой инструмент). При этом, исходя из условия $\lambda = \eta$, направление схода стружки и вектор скорости резания лежат на одной прямой. Кроме того, при описанной схеме обеспечивается минимальная затрата энергии на отвод срезанной стружки, т. к. данный процесс происходит без принудительного изменения ее направления. Следовательно, при $\delta_r \rightarrow 0$ направление схода стружки должно обязательно совпадать с направлением V_d , как более выгодное в энергетическом отношении.

Заметим, что вышеописанная схема практически не имеет смысла, т. к. создание подобных инструментов нереально. Однако, с целью аналитического определения угла η , эту схему с некоторыми допущениями можно распространить на такие инструменты, у которых наблюдаются относительно небольшие значения δ_r . Подобным условиям в определенной мере удовлетворяет безвершинный резец, δ_r которого определяется формулой, предложенной в работе [4]. Однако в этой формуле допущена такая же неточность, что и в формуле для определения δ_r , т. е. не учтены влияние s и переменность ψ_r вдоль режущей кромки в процессе резания. Исходя из сказанного, точнее будет упомянутую формулу представить в виде

$$\operatorname{tg} \delta_{r1} = \frac{2\pi \operatorname{tg} \psi_{r1} \cos \psi_1 - s}{2\pi + s \cos \psi_1 \operatorname{tg} \psi_{r1}}. \quad (9)$$

Результаты расчетов по этой формуле показывают, что у безвершинного резца угол δ_0 — величина переменная, причем, на обработанной поверхности он принимает свое минимальное значение — $23^\circ 48'$ (при заданном $\delta_N = 105^\circ$).

Таким образом, применение этих резцов обеспечивает более чем четырехкратное кинетическое заострение, что дает нам право с некоторыми допущениями использовать вышеуказанную схему для без-

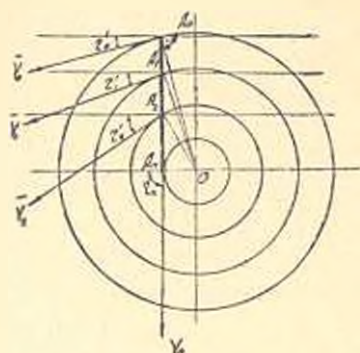


Рис. 3. Схема определения угла схода стружки на передней поверхности безвершинного резца.

вершинных резцов (рис. 3). На рис. 3 через различные точки $A_0, A_1, A_2, \dots, A_n$ режущей кромки AA_n , лежащие на поверхности резания, проведены касательные к окружностям, которым принадлежат указанные точки. Фронтальные проекции углов схода ψ на различных уровнях режущей кромки, заключенных между соответствующими векторами скоростей и нормалью к режущей кромке, можно найти из треугольников $A_0A_nO, A_1A_nO, A_2A_nO$ и т. д., т. е.

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{r}{V \rho^2 - r^2}.$$

Имея величину ψ' , нетрудно найти его истинную величину на передней поверхности инструмента, которая отклонена от фронтальной плоскости на углы ϕ и γ_N , т. е.

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{r \cos \phi}{\cos \gamma_N \sqrt{\rho^2 - r^2}}. \quad (10)$$

Анализируя полученную формулу, можно заключить, что угол схода стружки вдоль режущей кромки переменный, причем, с переходом от обрабатываемой поверхности к обработанной η возрастает, принимая свое максимальное значение — 90° . Непостоянством значения η объясняется завивание стружки, образующейся при обработке безвершинным резцом, причем, чем ощутимее изменение η , тем меньше угол подъема лунки завитой стружки.

С уменьшением угла наклона режущей кромки от 90° до 0° угол схода возрастает от 0° до своего максимального значения. Увеличение η наблюдается также с уменьшением глубины резания и γ_N (при его отрицательных значениях), что согласуется с экспериментальными данными исследований [8; 1].

Недостатком выведенной формулы (10) является то, что она полностью не отражает физическую сторону воздействия входящих в нее геометрических параметров на угол схода стружки. Поэтому наблюдается некоторое расхождение между экспериментальными и расчетными данными при больших значениях угла ϕ и положительных значе-

ниях γ_N . Однако, если учесть то, что у безвершинных резцов, исходя из конструктивных соображений, γ_N не принимает положительных значений и колеблется в весьма узких пределах (от 0° до -15° , а $\psi = 20^\circ \div 30^\circ$), то все указанные недостатки практически не отражаются на точности формулы. Так, непосредственное измерение угла схода на передней поверхности безвершинного резца (при условии $l = 1$ мм, $R = 18$ мм, $\psi = 25^\circ$, $\gamma_N = -15^\circ$, материал Сталь 40X) показало, что на обрабатываемой поверхности $\gamma_{\max} = 73^\circ$, а на обработанной $\gamma_{\min} = 84^\circ$ в то время, как расчетные значения тех же углов соответственно, но равны $69^\circ 40'$ и 90° . Такое расхождение между расчетными и экспериментальными данными объясняется тем, что сходящая стружка в процессе резания сохраняет свою целостность, и, тем самым, вносит свою корректировку на предельные значения η . Так, $\gamma_{\min}$ стремится увеличить $\gamma_{\max}$, в то время, как сам подвергается противоположному воздействию последнего. В результате стружка сходит в каком-то среднем направлении, и поэтому расчетное значение угла схода на обрабатываемой поверхности несколько меньше экспериментального значения того же угла, а на обработанной поверхности — наоборот. Следовательно, если взять средние значения данных углов, то получится довольно точное совпадение ($\gamma_{\text{расч. ср.}} = 79^\circ 50'$, $\gamma_{\text{эксп. ср.}} = 78^\circ 30'$).

Рабочую длину округленной части P_r безвершинного резца с радиусом округления R_N необходимо измерять по направлению схода стружки по той же причине, что и γ_N . В этом случае она намного отличается от своего статического значения, измеренного в направлении нормали к режущей кромке, т. к. представляет собой не полу-круг, а половину эллипса с периметром

$$2P_{P_i} = \frac{\pi R_N \sqrt{2(1 + \cos^2 \gamma_u)}}{\cos \gamma_i}. \quad (11)$$

Если придерживаться мнения [5], что условия деформирования в зоне резания, помимо других факторов, зависят от длины P_r независимо от ее формы, то для безвершинных резцов можно ввести понятие рабочего радиуса округления R_p , величина которого будет такой же, что и у окружности с периметром, равным периметру указанного эллипса. Учитывая сказанное, нетрудно найти

$$R_{P_i} = \frac{R_N \sqrt{2(1 + \cos^2 \gamma_u)}}{2 \cos \gamma_i}. \quad (12)$$

Как следует из (12), величина R_p вдоль режущей кромки переменна и увеличивается с переходом от обработанной поверхности к обрабатываемой. При необходимости конкретизировать его значение, можно использовать среднее значение угла схода стружки. Так, при указанных выше условиях, когда $\gamma_{cp} = 79^\circ 50'$ $R_{p_{cp}}$ больше R_N более чем в четыре раза, а это значит, что степень влияния радиуса округления

безвершинного резца на процесс резания больше, чем у резцов обычной конструкции.

Таким образом, переменность вдоль режущей кромки рабочих углов безвершинного резца, а также его вышеуказанные особенности должны существенно изменять условия стружкообразования, что найдет свое отражение в изменении степени деформации срезанной стружки и характеристик качества обработанной поверхности.

Эти предложения подверглись аналитическому и экспериментальному исследованию. Для сопоставления изучался также процесс резания обычными резцами, имеющими оптимальные для данных условий резания параметры. Эксперименты проводились на сталях 20Х, 40Х и У8А в широком диапазоне изменения режимного поля и геометрии инструмента.

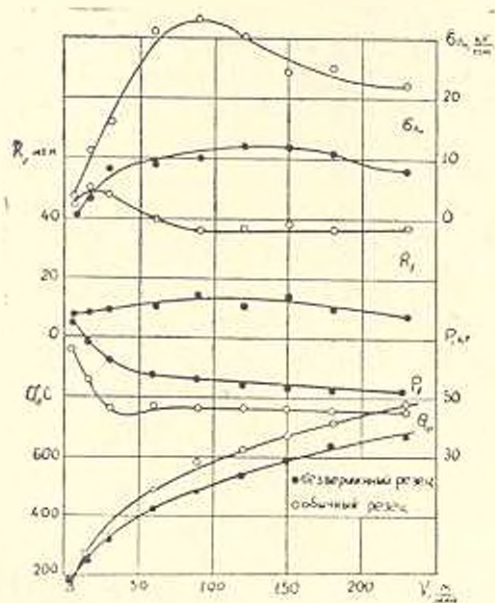


Рис. 4. Влияние скорости резания на некоторые выходные параметры процесса резания при точении безвершинным и обычным резцами стали 20Х при $s = 0,195$ мм/об, $t = 1,25$ мм.

Металлографический анализ корней стружки, а также поля микротвердости, показывает, что с переходом от обработанной поверхности к обрабатываемой и от обычного инструмента к безвершинному степень деформации стружки уменьшается, а угол сдвига увеличивается, уменьшая зону резания.

Что касается характеристик качества обработанной поверхности, то у обычных резцов микротвердость поверхности H_a и глубина ее залегания h при изменении скорости резания (рис. 4) соответственно больше на 75 и 25%, тангенциальные остаточные напряжения, действующие на поверхности H_{α} , выше в 2—3 раза, а высота микронеровностей R_z выше на 2—3 класса.

В последнем случае выгодно выделяется независимость R_2 от изменения скорости резания и, отчасти, от подачи, что имеет определенную практическую ценность. Ощутимая разница между значениями ε_n объясняется отсутствием вершины, возле которой концентрируется большое количество тепла, локальностью которого, в основном, определяется величиной ε_{n0} , т. е. средняя температура контакта θ_{cp} при обоих видах инструментов мало отличается. Результаты температурных и динамических исследований показали, что при точении безвершинным резцом θ_{cp} несколько ниже, а усилие резания, как и ожидалось, несколько больше, чем у обычных резцов.

Небезынтересно отметить, что увеличение угла φ' приводит к интенсивному спаду радиальной составляющей усилия резания, а при $\varphi' = 45^\circ$ $P_r = 0$.

Из остальных геометрических параметров исследуемого инструмента определенный интерес представляет угол ψ , оптимальная величина которого находится в пределах $30-35^\circ$, т. е. в этом интервале R_2 , H_{n0} , h , ε_{n0} и др. принимают свои минимальные значения. Оптимальными являются также значения заднего угла $\alpha_n = 36-38^\circ$. Что касается остальных закономерностей, то тут проявляется ожидаемая тенденция, а именно: с уменьшением γ_N и с увеличением радиуса округления режущей кромки, а также величины радиального износа, наблюдается прирост почти всех выходных параметров процесса резания.

Резюмируя все изложенное, можно заключить, что:

1. Все рабочие углы безвершинных резцов по величине значительно отличаются от их статических значений и вдоль режущей кромки колеблются в довольно широких пределах;

2. Безвершинные резцы обеспечивают малую шероховатость без принудительного применения малопродуктивных подач и низкое напряженное состояние подповерхностных слоев в широком диапазоне режимного поля.

Поступило 19. IX. 1977

Դ. Ս. ՏԵՐ-ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ

ԿՏՐՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍՈՒ ԵՎ ԿԻՆԵՄԱՏԻԿԱՅԻ ՈՐՈՇ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԻՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԱՆԳԱԳԱԹ ԿՏՐԻՋՆԵՐՈՎ
ԱՇԽԱՏՆԻՍ

Ա Վ Փ Ն Փ Ն Ե Վ

Հոդվածում ճշտված են անդադաթ կտրիչների կինեմատիկ անկյունների մեծությունները որոշող միջին այժմեղա կապերը, բացահայտվել են նշված և հասարակ կտրիչների նմանատիպ անկյունների անցումային կապերը, ինչ-

պէս նաեւ փոխադարձ կապը տաշեղի վազքի անկյան և կտրիչի մի քանի երկրաչափական պարամետրներին միջեւ անգագաթ կտրիչներով աշխատելիս: Պարզվել է, որ ինչպես վազքի, այնպես էլ բոլոր կինեմատիկ անկյունները անզազաթ կտրիչի կտրող եզրի երկարութեամբ փոփոխական են: Ելնելով փորձնական տվյալներից, կարելի է եզրակացնել, որ անզազաթ կտրիչներով աշխատելիս տաշեղի դեֆորմացիայի աստիճանը, կոնտակտի միջին ջերմաստիճանը, միկրոանհարթութունների բարձրությունը, ինչպես նաև մակերևութային շերտի լարվածային միճակը ավելի ցած են՝ քան հասարակ կտրիչներով աշխատելիս:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бобров В. Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. Машгиз, М., 1962.
2. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов. М., 1975.
3. Грановский Г. И. Кинематика резания. Машгиз, М., 1948.
4. Касьян М. В., Микасян Г. С. Особенности резания титановых сплавов безвершинными резцами. Изд-во АН АрмССР, Ереван, 1975.
5. Касьян М. В., Миркарян Г. К. Высокое качество поверхности (упрочнение)—основа повышения надежности. Ереван, 1961.
6. Розенберг А. М., Холфен Р. В. К вопросу о действительном направлении схода стружки при косозубном резании. Резание и инструмент. Вып. 16, 1976. Харьковский политехнический институт.
7. Розенберг А. М. Механика процесса свободного резания. Труды ленинградской конференции по резанию металлов, 1940.
8. Sakuma Keizo, Onikura Hiromichi. Cutting mechanism of skiving. Mem. Fac. Eng. Kyushu Univ., 1976, 35, № 3, 169—185.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

З. А. МАНВЕЛЯН

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ МЕДЛЕННЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ
НАПРАВЛЯЮЩИХ СТАНКОВ С ЧПУ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

Основная особенность механических автоколебаний, отмеченная еще А. Г. Столетовым [1], заключается в том, что весь колебательный цикл отчетливо распадается на два участка, различающихся по характеру движения колебательной системы: первый характерен совместным движением соприкасающихся поверхностей, второй — их относительным перемещением. Наличие двух различных по характеру движений и составляет основную особенность механических автоколебаний.

Принимается, что основной причиной возникновения механических автоколебаний является наличие положительной разности между силами трения покоя и скольжения, и эта разность обусловлена как ростом силы трения покоя от продолжительности неподвижного контакта при совместном движении соприкасающихся поверхностей, так и падением силы трения скольжения с увеличением относительной скорости.

Для правильного конструирования узла трения, обеспечивающего отсутствие релаксационных колебаний в процессе его работы, необходим предварительный расчет данной системы на возможность и величину возникающих в ней колебаний (с учетом ее механических параметров и фрикционных характеристик). Сказанное проиллюстрируем примером расчета механических релаксационных колебаний в системе направляющих станков с ЧПУ.

С целью аналитического исследования явления механических релаксационных автоколебаний принята известная модель Ван-дер Поля (рис. 1), описывающая процессы, происходящие в направляющих станков [2].

Относительное движение ползуна описывается дифференциальным уравнением:

$$m\ddot{x} - \varphi_1(x) + \beta\dot{x} + cx = 0, \quad (1)$$

где m — масса стола; $\varphi_1(x)$ — сила трения скольжения для стола; c — жесткость системы; β — коэффициент затухания системы; $\dot{x} = v$ — x — скорость относительного движения.

Сила трения скольжения

$$\varphi(x) = T_{\text{ск}}(\dot{x}) = T_{\text{ск}}(v - \dot{x}).$$

Обозначая

$$\frac{c}{m} = p^2 \quad \text{и} \quad \dot{x} = \frac{dx}{dt} = v,$$

получим

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{\frac{1}{m} [T_{\text{ск}}(v - \varphi) - \beta\varphi] - p^2 x}{\varphi} \quad (2)$$

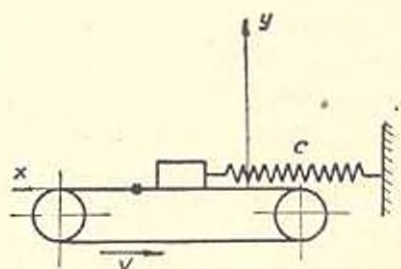


Рис. 1. Эквивалентная схема упругой системы трения.

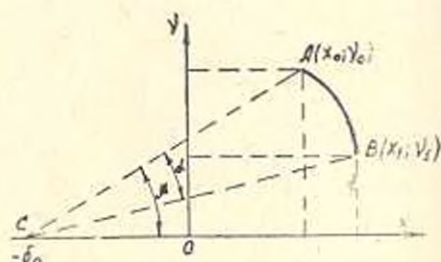


Рис. 2. Графический способ построения фазовой траектории.

Введем безразмерное время τ и обозначения:

$$\tau = pt; \quad v = \frac{dx}{d\tau} = \frac{dx}{dt} \cdot \frac{dt}{d\tau} = \frac{\varphi}{p}; \quad \varphi = pv.$$

Тогда уравнение (2) примет вид:

$$\frac{dv}{dx} = \frac{\frac{1}{mp^2} [T_{\text{ск}}(v - pv) - \beta pv] - x}{v}.$$

Обозначая $\delta(v) = -\frac{1}{mp^2} [T_{\text{ск}}(v - pv) - \beta pv]$, окончательно получим дифференциальное уравнение фазовой траектории:

$$\frac{dv}{dx} = -\frac{\delta(v) + x}{p} \quad (3)$$

Начальные условия:

$$x_1 = \frac{T_{\text{ск}}}{c} \quad \text{и} \quad v_0 = \frac{v}{p}.$$

Построение фазовой траектории ведется по δ -методу [3].

Учитывая то обстоятельство, что в $\delta(v)$ входят силы трения скольжения, функциональными выражениями которых мы не располагаем, построение фазовой траектории ведется графическим способом, т. е. значения $\delta(v)$ выбираются с помощью графических зависимостей силы трения скольжения, предварительно полученных экспериментальным путем.

Ниже приводится алгоритм построения фазовой траектории с применением ЭВМ.

Первый этап интегрирования. Построение фазовой траектории начинают с точки (x_0, v_0) . Координаты второй точки (x_1, v_1) находят так, как показано на рис. 2. Здесь α — шаг интегрирования. Координаты векторов:

$$\overline{CA}(x_0 + \delta_0, v_0); \quad \overline{CB}(x_1 + \delta_0, v_1),$$

модуль

$$|\overline{CA}| = |\overline{CB}| = \sqrt{v_0^2 + (x_0 + \delta_0)^2},$$

а

$$\begin{aligned} \frac{x_0 + \delta_0}{|\overline{CA}|} &= \cos \mu; & \frac{v_0}{|\overline{CA}|} &= \sin \mu; \\ \frac{x_1 + \delta_0}{\overline{CB}} &= \cos (\mu - \alpha); & \frac{v_1}{|\overline{CB}|} &= \sin (\mu - \alpha). \end{aligned} \quad (4)$$

Обозначим:

$$\cos \alpha = a, \quad \sin \alpha = b.$$

Подставляя в выражения (4) значения $\cos \mu$ и $\sin \mu$, получим:

$$x_1 = ax_0 + bv_0 + (a - 1)\delta_0;$$

$$v_1 = av_0 - b(x_0 + \delta_0).$$

Координаты третьей точки (x_2, v_2) находят аналогичным способом, используя координаты второй точки (x_1, v_1) .

Таким образом, для определения координат точек фазовой траектории получаем следующие итерационные формулы:

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= ax_i + bv_i + (a - 1)\delta_i; \\ v_{i+1} &= av_i - b(x_i + \delta_i). \end{aligned} \quad (5)$$

Значения δ_i вычисляют с помощью графической зависимости силы трения скольжения, полученной экспериментальным путем:

$$\delta_i = \frac{1}{mp^2} [T'_s(x - pv_i) - \beta pv_i]; \quad \dot{\delta}_i = v - pv_i.$$

В табл. 1 приведены данные, полученные из графической зависимости силы трения скольжения для пары Cr 45 + Fe-P-S (спеченный сплав),

с помощью которых, путем интерполяции, на ЭВМ находят соответствующие значения $\bar{v}_i$.

Таблица 1

$\bar{v}_i$, мм/мин	$T_{ск}^i$, мс	$\bar{v}_i$, мм/мин	$T_{ск}^i$, мс	$\bar{v}_i$, мм/мин	$T_{ск}^i$, мс
0,5	55,20	12,5	52,23	24,0	51,81
1,0	55,00	13,0	52,22	24,5	51,80
1,5	54,80	13,5	52,21	25,0	51,78
2,0	54,60	14,0	52,20	25,5	51,77
2,5	54,40	14,5	52,15	26,0	51,76
3,0	54,20	15,0	52,10	26,5	51,74
3,5	54,00	15,5	52,09	27,0	51,71
4,0	53,80	16,0	52,08	27,5	51,70
4,5	53,60	16,5	52,06	28,0	51,69
5,0	53,50	17,0	52,04	28,5	51,68
5,5	53,30	17,5	52,02	29,0	51,66
6,0	53,20	18,0	52,01	29,5	51,69
6,5	53,00	18,5	52,00	30,0	51,63
7,0	52,90	19,0	51,98	30,5	51,62
7,5	52,80	19,5	51,97	31,0	51,60
8,0	52,70	20,0	51,96	31,5	51,58
8,5	52,60	20,5	51,95	32,0	51,57
9,0	52,50	21,0	51,94	32,5	51,55
9,5	52,45	22,0	51,93	33,0	51,54
10,0	52,40	22,5	51,92	33,5	51,52
10,5	52,35	23,0	51,91	35,0	51,51
11,0	52,30	22,5	51,85	34,5	51,50
11,5	52,25	23,0	51,83	35,0	51,48

Первый этап интегрирования завершается при $v_i = v_0$ или $v_i > v_0$. Если: а) $v_N = v_0$, тогда за исходные данные для второго этапа интегрирования берут (x_N, v_0) ;

б) $v_N > v_0$ в этом случае находят уточненное значение x_N^* .

Координаты (x_N^*, v_0) на рис. 3 удовлетворяют следующему уравнению:

$$v_0^2 + (x_N^* + \bar{v}_{N-1})^2 = v_{N-1}^2 + (x_{N-1} + \bar{v}_{N-1})^2, \quad (6)$$

откуда

$$x_N^* = \pm \sqrt{v_{N-1}^2 + (x_{N-1} + \bar{v}_{N-1})^2 - v_0^2} - \bar{v}_{N-1}.$$

Квадратный корень в данном случае берется со знаком минус, т. к. нас интересует точка с меньшей абсциссой:

$$x_N^* = -\sqrt{v_{N-1}^2 + (x_{N-1} + \delta_{N-1})^2 + v_0^2} - \delta_{N-1}.$$

За исходные данные для второго этапа интегрирования берутся (x_N^*, v_0) .

Второй этап интегрирования. Данный этап характеризуется тем, что когда скорость ползуна достигает величины v (скорость ленты), ползун схватывается лентой, и они совершают совместное движение до нового срыва.

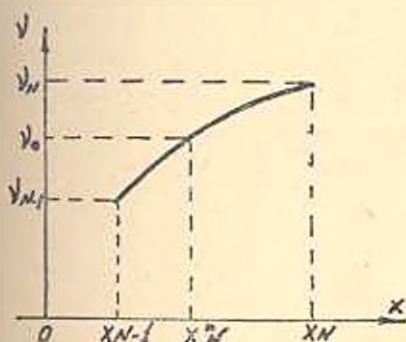


Рис. 3. Изменение параметра v от x .

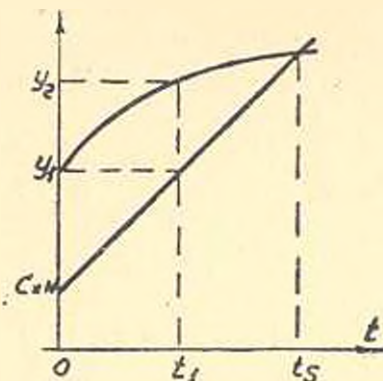


Рис. 4. Зависимость сил трения покоя и упругости системы от времени неподвижного контакта.

Эта часть движения не описывается дифференциальным уравнением, поэтому ее нужно рассматривать отдельно.

Следующий срыв произойдет тогда, когда силы упругости и трения покоя станут равными.

Уравнение силы упругости $F_{\text{уп}} = cvt - cx_N$, следовательно, необходимо найти точку пересечения линий силы трения покоя и силы упругости, как показано на рис. 4.

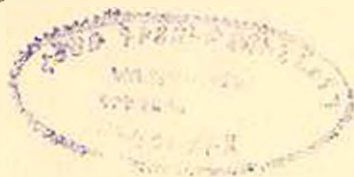
Так как при решении подобных задач для конкретных пар трения большое значение имеет зависимость силы трения покоя от продолжительности неподвижного контакта, то нами взята зависимость, полученная экспериментальным путем. Для решения задачи применяется нижеописанный метод.

Линия упругости разделяет всю координатную плоскость на две части (рис. 4). Подставляя координаты точек одной части плоскости в выражение

$$\chi = y - cvt - cx_N, \quad (7)$$

получаем одни и тот же знак. Знаки для обеих частей плоскости различны:

$$y_2 = y_1 + \Delta y; \quad \Delta y > 0.$$



Подставляя эти значения в (7), получаем

$$\chi = y_1 - \Delta y - \cot_1 - c x_N = \Delta y > 0. \quad (8)$$

В общем виде

$$\chi_j = T_j^j - \cot_j - c x_N$$

В данном случае для левой части плоскости выражение (7) имеет знак плюс, а для правой части — минус.

Из экспериментальной кривой трения покоя для пары Ст 45+Fe-P-S составлена табл. 2, которая используется для нахождения координат точки пересечения. С целью повышения точности решения можно произвести интерполяцию в том месте, где χ меняет знак.

Таблица 2

t_1 , сек	$T_{\text{п}}^1$, кгс	t_1 , сек	$T_{\text{п}}^1$, кгс	t_1 , сек	$T_{\text{п}}^1$, кгс
0	54,5	34	62,7	68	66,1
2	56,0	36	63,0	70	66,2
4	56,5	38	63,2	72	66,3
6	57,0	40	63,5	74	66,4
8	58,0	42	63,8	76	66,5
10	58,2	44	64,0	78	66,6
12	58,5	46	64,5	80	66,7
16	59,5	50	64,8	82	66,8
18	59,6	52	65,0	84	66,9
20	60,0	54	65,2	86	67,0
22	60,5	56	65,4	88	67,1
24	61,0	58	65,5	90	67,3
26	61,3	60	65,6	92	67,6
28	61,5	62	65,7	94	67,7
30	62,0	64	65,8	98	67,9
32	62,5	66	66,0	100	68,0

Если: а) $\chi_s = 0$, тогда берутся соответствующие t_s , $x_s = vt_s + x_N$, и за новые начальные условия для повторения первого этапа интегрирования принимаются (x_s, v_0) ;

б) $\chi < 0$, тогда производится интерполяция и находят уточненные t^* , $x^* = vt^* + x_N$, и новыми начальными условиями для повторения первого этапа интегрирования будут (x^*, v_0) .

Задача была решена на ЭВМ «Ирикс-2», для которой составлена соответствующая программа.

Результаты решения задачи по определению амплитуды колебаний в продольном направлении относительно движения для пары спеченный сплав Fe-P-S + сталь 45 при массе стола с грузом $m = 0,288 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м.м}$ приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ п/п	Жесткость системы c , кгс/мм	Коэффициент затухания, кг·сек/мм	Скорость перемещения, мм/мин	Амплитуды колебаний, мкм						
				A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
1	4000	1,5	9	32,1	25,3	25,5	27,2	25,4	28,4	28,0
2	4001	0,012	3	31,4	26,8	26,5	29,6	28,6	29,1	—
3	4000	1	5	31,7	30,8	27,5	27,4	—	—	—
4	4000	1,5	3	30,5	27,2	26,0	24,3	27,2	27,3	—
5	3000	0,012	3	50,9	40,1	38,1	39,0	40,4	38,7	—
6	3000	0,012	9	43,1	38,4	38,3	38,7	38,4	—	—
7	3500	0,4	3	36,1	32,3	31,9	33,7	33,3	—	—
8	1000	1,5	3	109,7	100,7	100,5	100,8	100,0	100,5	100,4
9	1500	0,2	7	80,8	70,0	70,2	70,9	70,3	—	—
10	800	0,012	9	140,4	133,5	129,5	127,6	129,4	128,3	—

Здесь переменными являются жесткость системы c , коэффициент затухания β и скорость перемещения стола v , остальные параметры приняты постоянными.

Как видно из табл. 3, оптимальными являются решения № 4 и № 2. В этих случаях соотношения переменных приводят к наименьшим значениям амплитуд колебаний при первом скачке ($A_1=30,5$ мкм и $A_1=31,4$ мкм). Эти величины указывают на устойчивость перемещений, т. к. последующие значения $A_{2-7} < A_1$.

Таким образом, рассмотрение влияния определенных факторов на устойчивость перемещений методом графо-аналитического решения с использованием ЭВМ подсказывает выбор оптимальных значений и соотношений между определяющими параметрами.

Это позволяет оценить тот или иной материал при данной жесткости, данном режимном поле, плоском контакте и др., с точки зрения обеспечения устойчивости перемещений при ползучих скоростях. При этом на устойчивость перемещений больше влияет вид кривых зависимостей от времени контакта и скорости скольжения, чем их абсолютные величины.

ЕрПИ им. К. Маркса

Поступило 4. V. 1977

Չ. Կ. ՄԱՆՉԵԼՅԱՆ

ԹՎԱՅԻՆ ՄՐԱԴՐԵՐՈՎ ԿԱՌԱՎԱՐՎՈՂ ՀԱՍՏՈՑՆԵՐԻ
ՈՂՂՈՐԴՆԵՐՈՒՄ ԿԱՆԳԱՂ ՏԵՂԱՓՈԽՈՒՄՆԵՐԻ
ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ԷԶՄ-Ի ՕԳՏԱԴՈՐԾՄԱՄԸ

Ա. Վ. Փ. Ս. Փ. Ս. Մ. Ս. Մ.

«Ննարկվում է թվային ծրագրերով կառավարվող հաստոցների ուղղորդների տեղափոխումների և նրանց փոխադարձ դիրքավորման ճշտության հարցը ցածր արագությամբ ղեկավարում»:

Օգտագործելով էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենայի հնարավորությունները և ելնելով ուղղորդների նյութերի փորձարարական երկու առնչություններից (շփման ուժի կապը տեղաշարժի արագությունից և կոնտակտում գտնվելու ժամանակից), հոգվածում տրված են արտահայտություններ և հաշվարկման մեթոդ, որոնց միջոցով նախադժման ստադիայում կարելի է նախօրոք գնահատել տատանումների բնույթը, որն այդ հաստոցների համար ունի կարևոր նշանակություն:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Столетов А. Г. Соч., т. II. Гостехиздат, 1947.
2. Крагельский Н. В. Трение и износ. М., Изд-во «Машиностроение», 1968.
3. Пановко Я. Г., Кубинова Н. И. Устойчивость и колебания упругих систем. М., Изд-во «Наука», 1967.

ГИДРАВЛИКА

С. А. АНАНЯН

О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ РЕШЕНИЯ
 ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЗАДАЧИ МАССОПЕРЕНОСА

Для оценки процесса загрязнения подземных вод различными поверхностными источниками и, в частности, для определения изменения минерализации грунтовых вод при промывках засоленных земель необходимо исследовать пространственную картину передвижения солей в пористой фильтрующей среде.

Не снижая общности исследования, ниже рассмотрим одну характерную задачу массопереноса в двухслойной фильтрующей среде на фоне вертикального дренажа.

На рис. 1 представлен схематический геологический разрез исследуемой задачи. Промывка верхней толщи засоленной почвы осуществляется оросительной водой, а по боковым поверхностям исследуемой области поступает вода с низкой минерализацией.

При расчете процесса массопереноса примем также, что в разделяющей толще малопроницаемый слой имеет разрывы (гидродинамические окна). Через эти окна может происходить более интенсивное перетекание сильно минерализованных вод из верхнего водоносного слоя в нижний.

Пространственную задачу массопереноса приближению можно разрешить при помощи дифференциального уравнения физико-химической гидродинамики

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \\ & - \frac{\partial (v_x C)}{\partial x} - \frac{\partial (v_y C)}{\partial y} - \frac{\partial (v_z C)}{\partial z} + \beta (C_n - C) = \mu \frac{\partial C}{\partial t} \end{aligned} \quad (1)$$

при следующих начальных и граничных условиях.

$$t = 0 \quad C(x, y, z, t) = C_n(x, y, z, 0); \quad (2)$$

$$t > 0 \quad z = 0 \quad C(x, y, z, t) = C^0(x, y, 0, t); \quad (3)$$

$$z = T, \quad \frac{\partial C}{\partial z} = 0; \quad (4)$$

на контуре

$$C(x, y, z, t) = C_0(x, y, z, t). \quad (5)$$

Расположение осей координат показано на рис. 1.

Компоненты скоростей фильтрации v_x , v_y и v_z определяются из общеизвестных дифференциальных уравнений при соответствующих начальных и граничных условиях. Решение этой задачи методом математического моделирования изложено в работах [1; 2].

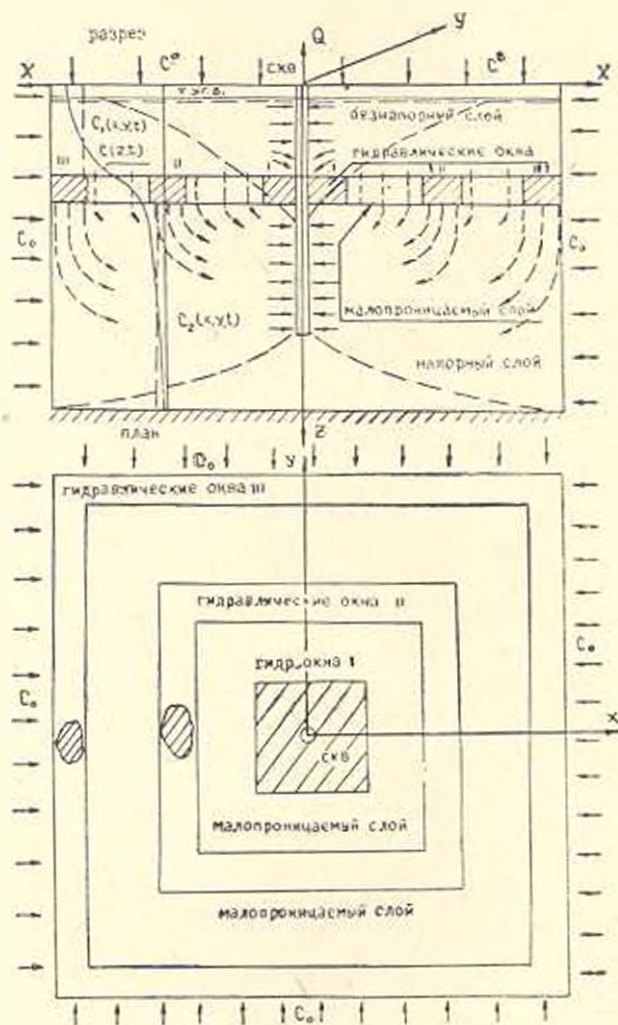


Рис. 1. Гидрогеологическая схема расчета.

Коэффициенты конвективной диффузии D примем пропорциональными изменяющимся скоростям фильтрации. Значения коэффициента скорости растворения (β), активной пористости грунта (μ) и предельного насыщения концентрации (C_s) определяются опытным путем.

При решении задачи все величины по z (по высоте) будем осреднять. Поэтому в дальнейшем будем искать изменения на плоскости xy осредненных значений минерализации подземных вод, сохраняя при этом существующие гидравлические связи по вертикали между соответствующими водоносными слоями.

Для простоты решения задачи осреднение $C(x, y, z)$ по вертикали будем производить для верхней безнапорной и нижней слабонапорной зон в отдельности, сохраняя при этом условие непрерывности процесса фильтрации и массопереноса через малопроницаемый слой.

В настоящей работе по изложенной в [2; 3] методике реализуем решение одной частной задачи применительно к рассоляющему действию вертикального дренажа (рис. 1).

На рис. 1 представлены схемы всех трех вариантов решения одной и той же задачи. Эти варианты отличаются друг от друга местоположением и размерами гидродинамических окон. В указанных зонах гидравлические связи между двумя водоносными слоями ослаблены (т. е. сопротивления уменьшены) по сравнению с зонами, где сплошность малопроницаемого слоя не нарушена.

Поставленная нами задача решается для каждого варианта в отдельности при следующих исходных данных.

Поля скоростей фильтрации v_x и v_y , вызванные работой вертикального дренажа, представлены на рис. 2. Вертикальные скорости фильтрации в зоне гидравлических окон приняты равными $v_z = 0,02$ м/сут, а в зоне малопроницаемого слоя 0,002 м/сут. Размеры гидродинамических окон и область исследования показаны на рис. 1.

Начальное значение минерализации грунтовых вод в верхнем водоносном слое в зоне расположения гидродинамических окон принято $C_0 = 8,3$ г/л, а в зоне малопроницаемого слоя — 13,5 г/л. В нижнем слабонапорном водоносном слое осредненное по вертикали значение минерализации грунтовых вод во всех точках принято $C_0 = 1,5$ г/л. Концентрация грунтовых вод на поверхности почвы на боковых границах принята $C^0 = 1,5$ г/л, на нижнем водоупоре поставлены граничные условия второго рода, т. е. $\partial C / \partial z = 0$.

Результаты решения задачи представлены в таблицах 1÷6. В табл. 1 представлены (вариант с центральным расположением гидродинамических окон 1, рис. 1) изменения концентрации грунтовых вод в верхнем и нижнем водоносных слоях после $t = 30$ сут с учетом и без учета в дифференциальном уравнении (1) члена $\beta(C_n - C)$, учитывающего процессы растворения при промывках.

При решении этой задачи мы стремились на одном частном примере показать влияние члена $\beta(C_n - C)$ в уравнении (1) на процессы массопереноса.

Как видно из данных табл. 1, при учете члена $\beta(C_n - C)$ после первого шага по времени ($\beta = 30$ сут) концентрация грунтовых вод в верхнем водоносном слое повышается (различно в различных зонах фильтрации) по сравнению с начальной концентрацией. Без учета этого

Верхний слой

0,46	0,44	0,41	0,31	0,18	0,0	0,16	0,31	0,1	0,44	0,46
0,51	0,57	0,55	0,46	0,2	0,0	0,27	0,46	0,55	0,57	0,55
0,67	0,73	0,76	0,79	0,46	0,0	0,46	0,70	0,76	0,73	0,67
0,9	0,92	1,06	1,15	0,92	0,0	0,92	1,15	1,06	0,92	0,9
0,88	1,08	1,38	1,63	2,30	0,0	2,30	1,63	1,38	1,08	0,88
0,92	1,15	1,53	2,29	4,58	0,0	4,58	2,29	1,53	1,15	0,92
0,88	1,08	1,38	1,63	2,30	0,0	2,30	1,63	1,38	1,08	0,88
0,79	0,92	1,06	1,15	0,92	0,0	0,92	1,15	1,06	0,92	0,79
0,67	0,73	0,76	0,79	0,46	0,0	0,46	0,70	0,76	0,73	0,67
0,55	0,57	0,55	0,46	0,2	0,0	0,27	0,46	0,55	0,57	0,55
0,46	0,44	0,41	0,31	0,18	0,0	0,16	0,31	0,1	0,44	0,46

Нижний слой

2,76	2,64	2,6	1,86	1,08	0,0	1,08	2,6	2,64	2,76
3,30	3,42	3,30	2,76	1,62	0,0	1,62	3,30	3,42	3,30
4,02	4,38	4,56	4,20	2,76	0,0	2,76	4,56	4,38	4,02
4,74	5,52	6,36	6,90	5,52	0,0	5,52	6,36	5,52	4,74
5,28	6,48	7,26	11,0	13,8	0,0	13,8	11,0	7,26	6,48
5,52	6,90	7,8	13,7	27,5	0,0	27,5	13,7	7,8	6,90
5,28	6,48	7,26	11,0	13,8	0,0	13,8	11,0	7,26	6,48
4,74	5,52	6,36	6,90	5,52	0,0	5,52	6,36	5,52	4,74
4,02	4,38	4,56	4,20	2,76	0,0	2,76	4,56	4,38	4,02
3,30	3,42	3,30	2,76	1,62	0,0	1,62	3,30	3,42	3,30
2,76	2,64	2,6	1,86	1,08	0,0	1,08	2,6	2,64	2,76

Рис. 2. Поле скоростей v_x и v_y (в 10^3 м/сек).

члена, т. е. без учета дополнительного источника солеобразования в почве, при промывке концентрация грунтовых вод уменьшается сразу же после первого шага по времени по сравнению с начальной концентрацией.

В таблицах 2 и 3 приведены значения $C_1(x, y, t)$ и $C_2(x, y, t)$ через $t=270$ и 990 суток. При этом учтено, что источники солеобразования действуют в верхнем водоносном слое в течение 30 суток. В остальное время их действие прекращается при непрерывной схеме промывки.

Таблица 1

Минерализация подземных вод ($t=30$ сут)

Верхний слой*

Нижний слой*

1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
1,5	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	1,5
1,5	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	1,5
1,5	12,7	12,7	5,7	5,7	5,7	12,7	12,7	1,5
1,5	12,7	12,7	5,7	5,7	5,7	12,7	12,7	1,5
1,5	12,7	12,7	5,7	5,7	5,7	12,7	12,7	1,5
1,5	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	1,5
1,5	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	1,5
1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5
1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5
1,5	1,6	1,6	1,85	1,85	1,85	1,6	1,6	1,5
1,5	1,6	1,6	1,85	1,85	1,85	1,6	1,6	1,5
1,5	1,6	1,6	1,85	1,85	1,85	1,6	1,6	1,5
1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5
1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5
1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

* Без учета члена $\beta(C_n - C)$

Верхний слой**

Нижний слой**

1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
1,5	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	1,5
1,5	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	1,5
1,5	16,4	16,4	11,5	11,5	11,5	16,4	16,4	1,5
1,5	16,4	16,4	11,5	11,5	11,5	16,4	16,4	1,5
1,5	16,4	16,4	11,5	11,5	11,5	16,4	16,4	1,5
1,5	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	1,5
1,5	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	1,5
1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
1,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,5
1,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,5
1,5	1,8	1,8	2,4	2,4	2,4	1,8	1,8	1,5
1,5	1,8	1,8	2,4	2,4	2,4	1,8	1,8	1,5
1,5	1,8	1,8	2,4	2,4	2,4	1,8	1,8	1,5
1,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,5
1,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,5
1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

** С учетом члена $\beta(C_n - C)$.

Таблица 2

Минерализация подземных вод (1—270 сут)

Верхний слой

Нижний слой

1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
1,5	10,8	11,1	11,1	10,8	11,1	11,1	10,8	1,5
1,5	11,1	11,1	11,1	11,5	11,1	11,1	11,1	1,5
1,5	11,1	11,1	2,7	2,5	2,7	11,1	11,1	1,5
1,5	10,8	11,5	2,5	2,1	2,5	11,5	10,8	1,5
1,5	11,1	11,1	2,7	2,5	2,7	11,1	11,1	1,5
1,5	11,1	11,1	11,1	11,5	11,1	11,1	11,1	1,5
1,5	10,8	11,1	11,1	11,1	11,1	10,8	1,5	1,5
1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
1,5	3,7	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,7	1,5
1,5	3,2	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	3,2	1,5
1,5	3,2	2,9	3,4	2,65	3,4	2,9	3,2	1,5
1,5	3,2	2,9	2,65	3,5	2,65	2,9	3,2	1,5
1,5	3,2	2,9	3,4	2,65	3,4	2,9	3,2	1,5
1,5	3,2	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	3,2	1,5
1,5	3,7	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,7	1,5
1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что минерализация грунтовых вод в пределах гидродинамических окон в верхней зоне с начального значения 8,3 г/л достигает 2,1—2,7 г/л в течение 270 суток, а на нижнем водоносном слое за это же время начальная минерализация С с 1,5 г/л повышается и достигает 2,9—3,7 г/л.

На остальных участках, где сплошность малопроницаемого слоя не нарушена, т. е. гидравлическая связь между водоносными слоями не ослаблена, минерализация верхнего водоносного слоя уменьшается медленно. При этом медленно повышается минерализация нижнего водоносного слоя. Только через 990 суток (табл. 3) после непрерывной промывки минерализация грунтовых вод на большей части плоскости массопереноса достигает 2—3,5 г/л.

Медленный темп уменьшения минерализации грунтовых вод вдали от вертикального дренажа объясняется не только влиянием местоположения гидродинамических окон, но и влиянием малых скоростей фильтрации на периферийные участки, воронки (кривой) депрессии.

При прочих аналогичных условиях так же расчеты были выполнены при других схемах расположения гидродинамических окон. В таблицах 4 и 5 приведены результаты расчета при расположении гидродинамических окон на среднем участке воронки депрессии (рис. 1).

Из данных табл. 5 видно, что после 240 суток непрерывной промывки минерализация грунтовых вод в верхнем слое, в зоне гидродинамических окон, уменьшается и достигает 2—2,2 г/л. Минерализация грунтовых вод в верхнем и нижнем водоносных слоях на большей части плоскости массопереноса достигает 2,5—3,9 г/л (табл. 6) в течение 720 суток.

Таблица 3

Минерализация подземных вод ($t = 990 \text{ сут}$)

Верхний слой

Нижний слой

1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
1.5	1.65	2.05	2.05	1.6	2.05	2.05	1.65	1.5
1.5	2.05	3.65	3.0	3.0	3.0	3.65	2.05	1.5
1.5	2.05	3.0	1.9	2.4	1.9	3.0	2.05	1.5
1.5	1.6	2.0	2.4	1.8	2.4	3.0	1.6	1.5
1.5	2.05	3.0	1.9	2.4	1.9	3.0	2.05	1.5
1.5	2.05	3.65	3.0	3.0	3.0	3.65	2.05	1.5
1.5	1.65	2.05	2.05	1.6	2.05	2.05	1.65	1.5
1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
1.5	2.0	2.5	2.5	2.3	2.5	2.5	2.0	1.5
1.5	2.5	3.5	3.9	3.9	3.9	3.5	2.5	1.5
1.5	2.5	3.9	2.8	4.3	2.8	3.9	2.5	1.5
1.5	2.3	3.9	4.3	2.7	4.3	3.9	2.3	1.5
1.5	2.5	3.9	2.8	4.3	2.8	3.9	2.5	1.5
1.5	2.5	3.5	3.9	3.9	3.9	3.5	2.5	1.5
1.5	2.0	2.5	2.5	2.3	2.5	2.5	2.0	1.5
1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

Таблица 4

Минерализация подземных вод ($t = 30 \text{ сут}$) с учетом $\% (C_n - C)$

Верхний слой

Нижний слой

1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
1.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	1.5
1.5	16.5	12.7	12.7	12.7	12.7	17.8	16.5	1.5
1.5	16.5	12.7	14.5	16.5	16.5	12.7	16.5	1.5
1.5	13.5	12.7	11.5	16.5	16.5	12.7	16.5	1.5
1.5	16.5	12.7	16.5	16.5	16.5	12.7	16.5	1.5
1.5	16.5	12.7	12.7	12.7	12.7	16.5	16.5	1.5
1.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	1.5
1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5
1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	1.5
1.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.0	2.5	2.0	1.5
1.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.0	2.5	2.0	1.5
1.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.0	2.5	2.0	1.5
1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	1.5
1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5
1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

Аналогичные расчеты были выполнены в случае расположения гидродинамических окон на периферийных участках воронки депрессии.

Из изложенного видно, что методом математического моделирования можно определить расселяющее действие вертикального дренажа с учетом влияния неоднородности грунтов на массопереносные процессы.

Таблица 5

Минерализация подземных вод ($t = 240$ сут)

Верхний слой

Нижний слой

1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
1.5	10.7	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	10.7	1.5
1.5	11.0	2.0	2.2	2.2	2.2	2.0	11.0	1.5
1.5	11.0	2.2	10.7	10.3	10.7	2.2	11.0	1.5
1.5	11.0	2.2	10.3	11.9	10.3	2.2	11.0	1.5
1.5	11.0	2.2	10.7	10.3	10.7	2.2	11.0	1.5
1.5	11.0	2.0	2.2	2.2	2.2	2.0	11.0	1.5
1.5	10.7	11.0	11.0	11.0	11.0	10.7	1.5	1.5
1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
1.5	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	1.5
1.5	3.7	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.7	1.5
1.5	3.7	3.2	4.1	4.5	4.1	3.2	3.7	1.5
1.5	3.7	3.2	4.5	3.2	4.5	3.2	3.7	1.5
1.5	3.7	3.2	4.1	4.5	4.1	3.2	3.7	1.5
1.5	3.7	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.7	1.5
1.5	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	1.5
1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

Таблица 6

Минерализация подземных вод ($t = 720$ сут)

Верхний слой

Нижний слой

1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
1.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5
1.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	1.5
1.5	2.5	1.5	2.4	2.0	2.4	1.5	2.5	1.5
1.5	2.5	1.5	2.0	5.2	2.0	1.5	2.5	1.5
1.5	2.5	1.5	2.4	2.0	2.4	1.5	2.5	1.5
1.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	1.5
1.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5
1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
1.5	3.5	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.5	1.5
1.5	3.9	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	3.9	1.5
1.5	3.9	2.3	3.4	3.0	3.4	2.3	3.9	1.5
1.5	3.9	2.3	3.0	3.4	3.0	2.3	3.9	1.5
1.5	3.9	2.3	3.4	3.0	3.4	2.3	3.9	1.5
1.5	3.9	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	3.9	1.5
1.5	3.5	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.5	1.5
1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

Ս. Ա. ԱՆԱՆՅԱՆ

ՄԱՍՍԱՏԵՆՎԱՓՈԽՄԱՆ ՏԱՐԱԾԱԿԱՆ ԽԵՂԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ
ՄԻ ՔԱՆԻ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո ւ ի ու մ

Հողվածում բերված են մաթեմատիկական մոդելացիան մեթոդներով (անալիտիկ մեթոդների օգնությամբ) մասսատեղափոխման խնդիրների լուծման արդյունքները: Շարադրված են ուղղաձիգ հորերի աշխատանքների պայմաններում աղային լուծույթների շարժման օրինաչափությունները հրկշերտ ֆիլտրացիան միջավայրում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ананյан А. К. Дренаж при освоении содовых солончаков. Изд. «Колос», М., 1972.
2. Ананյан С. А., Ананյан А. К. Методика расчета планово-пространственной задачи массопереноса методом математического моделирования. Известия АН АрмССР (серия техн. наук.), т. XXX, № 5, 1977.
3. Николаев Н. С., Козлов Э. С., Полгородник Н. П., Аналоговая математическая машина УСМ-1, Изд-во Маш. з-ры, М., 1962.

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Т. А. ГОРОЯН

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПЕРИОДОВ И ФОРМ СВОБОДНЫХ
КОЛЕБАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСНЫХ
ЗДАНИЙ С ГИБКИМ ПЕРВЫМ ЭТАЖОМ

В работе [1] нами проанализированы частотные уравнения малых колебаний железобетонных каркасных зданий с абсолютно жесткими ригелями с учетом нелинейной работы материала конструкции — бетона. Последняя учтена особо: в пределах каждого этажа материал стоек рассматривался линейно упругим со своим модулем упругости. В результате внесены уточнения в выведенной ранее [2] формуле для определения периодов первых трех низших тонов свободных колебаний многоэтажных каркасных зданий, учитывающие упруго-пластические свойства материала стоек, т. е. нелинейную работу бетона. В [3] рассмотрено влияние упруго-пластических свойств бетона на формы свободных колебаний таких зданий и на формирование сейсмических нагрузок.

Частотные уравнения в [1; 3] нами рассмотрены для зданий высотой до 16 этажей при равенстве масс, сосредоточенных в уровнях перекрытий. При этом жесткости этажей без учета нелинейной работы материала приняты равными между собой.

В продолжение этих исследований, в настоящей статье рассматриваются свободные колебания железобетонных каркасных зданий с гибким первым этажом (высотой до 16 этажей) при нелинейной работе материала стоек в той же интерпретации, что и в [1].

1. *Периоды свободных колебаний.* При абсолютно жестких ригелях и $E_0 = \text{const}$ по всей высоте здания, жесткость k -го этажа будет:

$$a_k' = 12E_0 I_k / l_k^3,$$

где I_k — сумма моментов инерции всех стоек этажа в рассматриваемом направлении колебаний:

l_k — высота k -го этажа.

В [1] нелинейность работы материала стоек учитывается множителем

$$f_k = \frac{n + k - 1}{2n}, \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

тогда жесткость k -го этажа будет

$$a_k = f_k a_k'.$$

При $a_k^* = a = \text{const}$ ($k = 2, 3, \dots, n$) и отношении жесткостей первого (a_1^*) и типового (a) этажей $a_1^*/a = \alpha$ ($\alpha < 1$) жесткость первого гибкого этажа с учетом упруго-пластических свойств бетона будет

$$a_1 = \alpha f_1 a, \quad (2)$$

а жесткости типовых этажей —

$$a_k = f_k a, \quad (k = 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

Представляя, как и в [1], динамическую расчетную схему здания в виде невесомого консольного бруса, несущего n масс, сосредоточенных в уровнях перекрытий (рис. 1), дифференциальные уравнения малых колебаний системы запишутся в виде

$$m_k y_k'' + a_k (y_k - y_{k-1}) - a_{k+1} (y_{k+1} - y_k) = 0, \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

Рис. 1.

причем $a_{n+1} = 0$.

Частным интегралом системы (4) является $y_k = C_k \sin pt$, и для определения неизвестных амплитуд C_k получается система уравнений:

$$\left. \begin{aligned} -m_k p^2 C_k + a_k (C_k - C_{k-1}) - a_{k+1} (C_{k+1} - C_k) &= 0, \\ (k = 1, 2, \dots, n-1) \\ -m_n p^2 C_n + a_n (C_n - C_{n-1}) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где p — круговая частота свободных колебаний.

При равенстве попарно сосредоточенных масс ($m_1 = m_2 = \dots = m_n = m$), с учетом (2) и (3) система (5) запишется в виде

$$\left. \begin{aligned} (\alpha f_1 + f_2 - \lambda) C_1 - f_2 C_2 &= 0, \\ -f_k C_{k-1} + (f_k + f_{k+1} - \lambda) C_k - f_{k+1} C_{k+1} &= 0, \\ (k = 2, 3, \dots, n-1) \\ -f_n C_{n-1} + (f_n - \lambda) C_n &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $\lambda = m p^2 a$.

Вследовательно, частотное уравнение — характеристический определитель матрицы системы (6) — запишется в виде

$$\begin{vmatrix} \alpha f_1 + f_2 - \lambda & -f_2 & 0 & 0 & 0 \dots 0 \\ -f_2 & f_2 + f_3 - \lambda & -f_3 & 0 & 0 \dots 0 \\ 0 & -f_3 & f_3 + f_4 - \lambda & -f_4 & 0 \dots 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 \dots 0 & -f_{n-1} & f_{n-1} + f_n - \lambda & -f_n \\ 0 & 0 \dots 0 & 0 & -f_n & f_n - \lambda \end{vmatrix} = 0. \quad (7)$$

Очевидно, что период свободных колебаний r -ой формы будет:

$$T_r = \frac{1}{\sqrt{\lambda_r}} 2\pi \sqrt{\frac{m}{a}}. \quad (8)$$

Используя (1), для зданий высотой до 16 этажей на ЭВМ вычислены первые три низших корня частотного уравнения (7) при значениях $\alpha = 0,10; 0,15; 0,30; 0,60; 1,00$. Результаты вычислений позволяют внести в формулу

$$T_r = 2\pi (A_r + nB_r) \sqrt{\frac{m}{a}}, \quad (9)$$

полученную в работе [1], корректив, связанный с гибкостью первого этажа, и она представляется в более общем виде:

$$T_r = 2\pi \gamma_r (A_r + nB_r) \sqrt{\frac{m}{a}}, \quad (10)$$

где $\gamma_r(\alpha, n) = \frac{T_r}{T_r^*} = \sqrt{\frac{\lambda_r^*}{\lambda_r}}$ — коэффициент, представляющий собой частное периодов свободных колебаний при $a_1 = \alpha a$ и $a_1 = a$ [λ_r^* — корни уравнения (7) при $\alpha = 1$]; n — число этажей.

В формуле (10) значения безразмерных коэффициентов A_r и B_r те же, что и в (9), а именно:

$$A_1 = 0,620; \quad A_2 = 0,261; \quad A_3 = 0,237;$$

$$B_1 = 0,794; \quad B_2 = 0,243; \quad B_3 = 0,139.$$

Величины коэффициента $\gamma_r(\alpha, n)$ для первых трех тонов свободных колебаний при отмеченных значениях α приведены в табл. 1. При $\alpha = 1$, независимо от тона колебаний и числа этажей, $\gamma_r = 1$. Для промежуточных значений α величину γ_r можно определять по линейной интерполяции.

Таблица 1

Число эта- жей (n)	Тон коле- баний (r)	Величины γ_r при значениях α				Число эта- жей (n)	Тон коле- баний (r)	Величины γ_r при значениях α			
		0,10	0,15	0,30	0,60			0,10	0,15	0,30	0,60
6	I	2,17	1,82	1,39	1,12	12	I	1,71	1,50	1,22	1,07
	II	1,28	1,25	1,18	1,08		II	1,29	1,25	1,15	1,06
	III	1,10	1,09	1,08	1,04		III	1,15	1,11	1,10	1,05
7	I	2,06	1,74	1,35	1,11	13	I	1,69	1,47	1,21	1,06
	II	1,28	1,25	1,18	1,08		II	1,29	1,24	1,15	1,05
	III	1,12	1,11	1,09	1,05		III	1,15	1,11	1,10	1,04
8	I	1,98	1,68	1,31	1,10	14	I	1,66	1,44	1,20	1,06
	II	1,28	1,25	1,17	1,07		II	1,28	1,24	1,14	1,05
	III	1,13	1,12	1,10	1,05		III	1,16	1,14	1,10	1,04
9	I	1,90	1,62	1,29	1,09	15	I	1,63	1,42	1,18	1,05
	II	1,29	1,25	1,17	1,07		II	1,28	1,23	1,14	1,05
	III	1,14	1,13	1,10	1,05		III	1,16	1,11	1,10	1,04
10	I	1,84	1,58	1,26	1,08	16	I	1,59	1,40	1,17	1,05
	II	1,29	1,25	1,16	1,06		II	1,28	1,23	1,13	1,04
	III	1,14	1,13	1,10	1,05		III	1,16	1,14	1,10	1,04
11	I	1,78	1,54	1,24	1,07						
	II	1,29	1,25	1,16	1,06						
	III	1,15	1,14	1,10	1,05						

2. *Формы свободных колебаний* При нетривиальном решении системы (6) одно из уравнений является линейной комбинацией остальных, поэтому, отбрасывая его (в данном случае первое) и обозначая $C_k/C_n = X_k$ ($X_n = 1$), для определения относительных амплитуд свободных колебаний r -ой формы (X_{kr}) получается система из $n-1$ алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} -f_k X_{k-1} + (f_k + f_{k+1} - \lambda_r) X_k - f_{k+1} X_{k+1} &= 0, \\ (k = 2, 3, \dots, n-1) \\ -f_n X_{n-1} + (f_n - \lambda_r) X_n &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

При значениях корней λ_r ($r=1; 2; 3$), полученных при рассмотренных значениях α , решена система (11) при $n=6 \div 16$ и определены значения X_{kr} , а по ним — коэффициенты форм свободных колебаний

$$\gamma_{kr} = X_{kr} \frac{\sum_{i=1}^n X_{ir}}{\sum_{i=1}^n X_{ir}^2}, \quad (k = 1, 2, \dots, n)$$

Позитивные значения коэффициентов γ_{kr} приведены в табл. 2. Отметим, что значения γ_{kr} при $\alpha = 1$ нами даны в работе [3].

Таблица 2

Коэффициенты форм свободных колебаний железобетонных каркасных зданий с учетом упруго-пластических свойств бетона

Число эта- жей	Этаж (к)	Значения γ_{kr}											
		при $\alpha = 0,10$			при $\alpha = 0,15$			при $\alpha = 0,30$			при $\alpha = 0,60$		
		I формы	II формы	III формы	I формы	II формы	III формы	I формы	II формы	III формы	I формы	II формы	III формы
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	1	0,888	0,085	0,020	0,838	0,122	0,030	0,706	0,207	0,064	0,522	0,290	0,132
	2	0,953	0,061	-0,004	0,930	0,091	-0,005	0,866	0,171	-0,004	0,766	0,290	0,013
	3	0,999	0,020	-0,020	0,997	0,033	-0,030	0,983	0,075	-0,059	0,948	0,160	-0,108
	4	1,030	-0,022	-0,015	1,041	-0,028	-0,023	1,062	-0,035	-0,047	1,074	-0,019	-0,096
	5	1,049	-0,054	0,003	1,059	-0,076	0,005	1,111	-0,124	0,008	1,152	-0,173	0,010
	6	1,057	-0,071	0,017	1,081	-0,100	0,026	1,133	-0,171	0,051	1,188	-0,257	0,097
7	1	0,866	0,098	0,025	0,807	0,138	0,038	0,660	0,224	0,078	0,470	0,287	0,151
	2	0,932	0,079	0,003	0,900	0,115	0,005	0,816	0,207	0,018	0,698	0,322	0,061
	3	0,982	0,042	-0,020	0,971	0,065	-0,029	0,937	0,131	-0,052	0,878	0,238	-0,079
	4	1,018	-0,001	-0,024	1,023	0,004	-0,036	1,028	0,027	-0,072	1,014	0,086	-0,135
	5	1,044	-0,039	-0,011	1,059	-0,052	-0,017	1,089	-0,074	-0,035	1,109	-0,078	-0,076
	6	1,059	-0,067	0,008	1,081	-0,094	0,012	1,127	-0,150	0,022	1,169	-0,207	0,035
	7	1,066	-0,082	0,021	1,091	-0,114	0,031	1,145	-0,189	0,061	1,196	-0,275	0,113
8	1	0,844	0,110	0,030	0,777	0,152	0,045	0,619	0,236	0,090	0,426	0,280	0,163
	2	0,911	0,095	0,009	0,871	0,137	0,015	0,770	0,235	0,039	0,640	0,338	0,102
	3	0,964	0,063	-0,016	0,945	0,094	-0,022	0,892	0,177	-0,036	0,815	0,292	-0,036
	4	1,004	0,022	-0,038	1,002	0,036	-0,042	0,989	0,085	-0,080	0,954	0,172	-0,134
	5	1,031	-0,020	-0,023	1,044	-0,023	-0,035	1,059	-0,046	-0,070	1,059	0,021	-0,134
	6	1,055	-0,045	-0,006	1,074	-0,073	-0,009	1,109	-0,107	-0,021	1,133	-0,123	-0,049
	7	1,068	-0,079	0,013	1,092	-0,109	0,019	1,140	-0,172	0,036	1,180	-0,232	0,058
	8	1,074	-0,092	0,025	1,101	-0,127	0,037	1,155	-0,205	0,071	1,203	-0,288	0,126
9	1	0,823	0,121	0,034	0,750	0,165	0,051	0,581	0,244	0,100	0,399	0,270	0,170
	2	0,890	0,110	0,016	0,842	0,155	0,025	0,728	0,255	0,059	0,590	0,343	0,134
	3	0,944	0,082	-0,010	0,918	0,119	-0,014	0,849	0,214	-0,015	0,758	0,327	0,011
	4	0,988	0,043	-0,039	0,978	0,067	-0,042	0,947	0,137	-0,074	0,897	0,239	-0,109
	5	1,021	0,002	-0,031	1,025	0,009	-0,017	1,025	0,042	-0,090	1,007	0,109	-0,157
	6	1,047	-0,037	-0,020	1,061	-0,046	-0,030	1,083	-0,053	-0,061	1,091	-0,033	-0,118
	7	1,065	-0,069	-0,001	1,086	-0,092	-0,001	1,125	-0,133	-0,006	1,151	-0,160	-0,023
	8	1,076	-0,091	0,018	1,102	-0,123	0,026	1,151	-0,190	0,048	1,189	-0,251	0,077
	9	1,181	-0,101	0,028	1,109	-0,139	0,042	1,163	-0,219	0,080	1,207	-0,298	0,137

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	5	7	8	9	10	11	12	13	14
10	1	0,802	0,131	0,038	0,723	0,176	0,057	0,518	0,249	0,109	0,358	0,259	0,173
	2	0,870	0,123	0,022	0,815	0,172	0,034	0,619	0,270	0,077	0,546	0,342	0,159
	3	0,925	0,099	-0,004	0,891	0,142	-0,004	0,808	0,243	0,007	0,705	0,348	0,055
	4	0,971	0,064	-0,026	0,954	0,096	-0,039	0,908	0,180	-0,060	0,844	0,288	-0,070
	5	1,007	0,023	-0,036	1,005	0,040	-0,052	0,989	0,095	-0,096	0,956	0,181	-0,152
	6	1,036	-0,017	-0,031	1,045	-0,016	-0,046	1,034	0,084	-0,090	1,046	0,051	-0,158
	7	1,058	-0,053	-0,015	1,075	-0,067	-0,023	1,103	0,083	-0,049	1,115	-0,078	-0,096
	8	1,073	-0,081	0,005	1,097	-0,108	0,006	1,138	-0,156	0,008	1,165	-0,188	0,002
	9	1,083	-0,101	0,022	1,110	-0,136	0,032	1,160	-0,206	0,059	1,196	-0,267	0,093
	10	1,088	-0,110	0,032	1,117	-0,150	0,047	1,171	-0,231	0,087	1,211	-0,307	0,146
11	1	0,783	0,141	0,041	0,699	0,186	0,063	0,518	0,252	0,117	0,392	0,248	0,174
	2	0,849	0,135	0,028	0,789	0,186	0,043	0,654	0,281	0,093	0,508	0,337	0,177
	3	0,906	0,115	0,002	0,885	0,162	0,007	0,771	0,266	0,029	0,543	0,360	0,093
	4	0,953	0,083	-0,021	0,929	0,122	-0,010	0,870	0,217	-0,042	0,746	0,323	-0,028
	5	0,992	0,045	-0,037	0,983	0,070	-0,023	0,953	0,142	-0,092	0,908	0,239	-0,129
	6	1,024	0,005	-0,038	1,027	0,015	-0,027	1,022	0,056	-0,105	1,001	0,125	-0,172
	7	1,049	-0,034	-0,028	1,061	-0,038	-0,042	1,076	-0,032	-0,043	1,076	0,092	-0,147
	8	1,068	-0,067	-0,010	1,087	-0,085	-0,016	1,118	-0,111	-0,035	1,133	-0,115	-0,072
	9	1,081	-0,093	0,010	1,105	-0,123	0,014	1,148	-0,175	0,022	1,175	-0,171	0,024
	10	1,090	-0,110	0,026	1,118	-0,148	0,038	1,167	-0,220	0,089	1,201	-0,279	0,107
	11	1,094	-0,119	0,035	1,124	-0,160	0,052	1,177	-0,242	0,095	1,214	-0,313	0,154
12	1	0,764	0,149	0,047	0,676	0,194	0,069	0,491	0,253	0,123	0,309	0,237	0,173
	2	0,830	0,147	0,033	0,764	0,198	0,052	0,521	0,288	0,107	0,475	0,330	0,190
	3	0,888	0,129	0,009	0,840	0,180	0,017	0,575	0,284	0,050	0,623	0,366	0,124
	4	0,935	0,101	-0,016	0,905	0,145	-0,021	0,634	0,246	-0,021	0,752	0,347	0,013
	5	0,976	0,065	-0,035	0,961	0,098	-0,050	0,698	0,183	-0,080	0,863	0,283	-0,095
	6	1,010	0,026	-0,043	1,007	0,045	-0,062	0,760	0,105	-0,111	0,958	0,187	-0,164
	7	1,038	-0,013	-0,038	1,045	-0,108	-0,058	0,828	0,020	-0,106	1,036	0,075	-0,175
	8	1,060	-0,049	-0,024	1,075	-0,159	0,036	0,895	-0,062	-0,072	1,099	-0,145	-0,130
	9	1,076	-0,080	-0,005	1,098	-0,191	0,008	0,958	-0,135	-0,021	1,148	-0,230	-0,048
	10	1,089	-0,103	0,015	1,115	-0,236	0,021	1,017	-0,192	0,034	1,183	-0,311	0,043
	11	1,096	-0,119	0,030	1,125	-0,258	0,044	1,074	-0,231	0,078	1,205	-0,359	0,119
	12	1,100	-0,127	0,038	1,130	-0,270	0,056	1,082	-0,251	0,102	1,216	-0,389	0,160

Продолжение таблицы 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
13														
1	0,746	0,157	0,050	0,653	0,201	0,074	0,467	0,253	0,129	0,289	0,227	0,172		
2	0,811	0,157	0,039	0,740	0,209	0,059	0,512	0,293	0,293	0,446	0,321	0,199		
3	0,868	0,142	0,017	0,815	0,196	0,027	0,703	0,297	0,069	0,587	0,365	0,150		
4	0,919	0,117	-0,010	0,881	0,166	-0,011	0,800	0,270	0,003	0,712	0,363	0,052		
5	0,959	0,084	-0,032	0,939	0,124	-0,044	0,885	0,218	-0,063	0,821	0,316	-0,058		
6	0,995	0,047	-0,041	0,986	0,074	-0,063	0,957	0,148	-0,107	0,916	0,238	-0,143		
7	1,025	0,008	-0,045	1,027	0,022	-0,066	1,019	0,069	-0,119	0,997	0,138	-0,182		
8	1,050	-0,029	-0,036	1,060	-0,030	-0,054	1,070	0,012	-0,101	1,064	0,030	-0,168		
9	1,069	-0,063	-0,019	1,087	-0,077	-0,030	1,110	-0,059	-0,060	1,117	-0,076	-0,110		
10	1,084	-0,091	0,001	1,107	-0,117	0	1,142	-0,155	-0,007	1,159	-0,171	-0,026		
11	1,095	-0,113	0,020	1,122	-0,148	0,028	1,165	-0,206	0,046	1,189	-0,246	0,060		
12	1,102	-0,128	0,034	1,132	-0,168	0,049	1,179	-0,242	0,085	1,209	-0,298	0,129		
13	1,106	-0,135	0,042	1,136	-0,179	0,061	1,186	-0,259	0,108	1,218	-0,324	0,166		
14														
1	0,729	0,164	0,054	0,633	0,208	0,079	0,444	0,252	0,134	0,271	0,217	0,169		
2	0,793	0,166	0,044	0,717	0,218	0,067	0,564	0,296	0,129	0,420	0,312	0,204		
3	0,850	0,155	0,022	0,792	0,209	0,037	0,672	0,307	0,087	0,555	0,363	0,170		
4	0,899	0,132	-0,003	0,858	0,184	0	0,768	0,289	0,022	0,675	0,372	0,085		
5	0,943	0,102	-0,027	0,915	0,147	-0,036	0,852	0,247	-0,044	0,783	0,341	-0,020		
6	0,980	0,067	-0,043	0,965	0,101	-0,061	0,962	0,186	-0,095	0,877	0,278	-0,114		
7	1,012	0,029	-0,049	1,008	0,051	-0,071	0,989	0,113	-0,123	0,958	0,192	-0,173		
8	1,038	-0,009	-0,045	1,044	-0,001	-0,066	1,043	0,036	-0,121	1,028	0,093	-0,185		
9	1,060	-0,044	-0,032	1,073	-0,049	-0,048	1,087	-0,041	-0,093	1,086	-0,010	-0,154		
10	1,078	-0,076	-0,014	1,107	-0,093	-0,022	1,123	-0,112	-0,047	1,132	-0,107	-0,088		
11	1,092	-0,102	0,005	1,116	-0,131	0,007	1,151	-0,172	0,006	1,168	-0,192	-0,005		
12	1,101	-0,122	0,024	1,129	-0,158	0,034	1,171	-0,219	0,056	1,195	-0,259	0,075		
13	1,108	-0,136	0,038	1,136	-0,177	0,054	1,184	-0,251	0,091	1,212	-0,305	0,137		
14	1,111	-0,142	0,045	1,142	-0,187	0,065	1,190	-0,266	0,114	1,220	-0,327	0,171		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15	1	0,712	0,171	0,058	0,613	0,213	0,083	0,424	0,250	0,138	0,256	0,208	0,166
	2	0,775	0,175	0,049	0,696	0,226	0,073	0,540	0,296	0,138	0,397	0,302	0,207
	3	0,832	0,166	0,029	0,770	0,221	0,046	0,644	0,314	0,102	0,526	0,359	0,186
	4	0,882	0,146	0,003	0,835	0,201	0,010	0,738	0,304	0,043	0,642	0,377	0,114
	5	0,926	0,119	-0,021	0,893	0,168	-0,026	0,822	0,271	-0,023	0,747	0,359	0,017
	6	0,964	0,086	-0,041	0,944	0,126	-0,056	0,895	0,219	-0,081	0,840	0,310	-0,080
	7	0,998	0,049	-0,051	0,989	0,078	-0,072	0,960	0,153	-0,119	0,922	0,237	-0,154
	8	1,026	0,012	-0,052	1,027	0,028	-0,075	1,016	0,080	-0,131	0,993	0,148	-0,189
	9	1,050	-0,025	-0,013	1,050	-0,021	-0,064	1,063	0,005	-0,117	1,053	0,052	-0,182
	10	1,070	-0,058	-0,028	1,085	-0,067	-0,042	1,102	-0,067	-0,082	1,104	-0,044	-0,137
	11	1,086	-0,088	-0,009	1,107	-0,108	-0,015	1,131	-0,132	-0,031	1,144	-0,133	-0,067
	12	1,098	-0,112	0,011	1,123	-0,142	0,014	1,159	-0,187	0,019	1,176	-0,210	0,013
	13	1,107	-0,131	0,028	1,135	-0,168	0,040	1,177	-0,230	0,066	1,199	-0,270	0,088
	14	1,113	-0,143	0,041	1,143	-0,186	0,059	1,188	-0,259	0,101	1,214	-0,311	0,144
	15	1,119	-0,149	0,048	1,147	-0,194	0,069	1,194	-0,273	0,119	1,221	-0,331	0,174
16	1	0,696	0,177	0,061	0,595	0,218	0,087	0,405	0,247	0,141	0,242	0,199	0,162
	2	0,758	0,182	0,053	0,675	0,233	0,080	0,516	0,296	0,146	0,376	0,292	0,209
	3	0,814	0,176	0,035	0,748	0,231	0,055	0,618	0,319	0,116	0,499	0,352	0,198
	4	0,865	0,159	0,010	0,813	0,215	0,021	0,710	0,316	0,062	0,612	0,378	0,140
	5	0,909	0,131	-0,015	0,872	0,187	-0,016	0,792	0,291	-0,002	0,714	0,371	0,050
	6	0,948	0,103	-0,037	0,923	0,149	-0,048	0,866	0,247	-0,063	0,805	0,334	-0,046
	7	0,983	0,069	-0,051	0,969	0,104	-0,070	0,931	0,189	-0,109	0,887	0,274	-0,128
	8	1,013	0,032	-0,056	1,008	0,056	-0,080	0,988	0,121	-0,133	0,959	0,196	-0,180
	9	1,039	-0,004	-0,052	1,043	0,007	-0,075	1,038	0,050	-0,133	1,021	0,107	-0,194
	10	1,061	-0,039	-0,040	1,071	-0,040	-0,060	1,080	-0,022	-0,110	1,074	0,015	-0,172
	11	1,079	-0,071	-0,023	1,095	-0,084	-0,035	1,115	-0,090	-0,070	1,118	-0,074	-0,119
	12	1,093	-0,099	-0,004	1,115	-0,122	-0,007	1,143	-0,151	-0,021	1,154	-0,156	-0,047
	13	1,104	-0,122	0,016	1,130	-0,153	0,021	1,165	-0,201	0,030	1,182	-0,225	0,030
	14	1,113	-0,139	0,033	1,141	-0,177	0,046	1,181	-0,240	0,075	1,203	-0,279	0,099
	15	1,118	-0,150	0,045	1,148	-0,194	0,064	1,192	-0,266	0,107	1,216	-0,316	0,151
	16	1,120	-0,156	0,051	1,151	-0,201	0,073	1,197	-0,279	0,124	1,222	-0,334	0,178

Выводы

1. Предложена формула для определения периодов первых трех тонов свободных колебаний многоэтажных железобетонных каркасных зданий с гибким первым этажом с учетом нелинейности работы материала конструкции — бетона.

2. Даны поэтажные значения коэффициентов форм свободных колебаний таких зданий высотой от 6 до 16 этажей.

3. Полученные результаты могут быть использованы при расчетах таких зданий на сейсмическое воздействие.

ЕрIII им К. Миркса

Поступило 20. IX. 1977.

Տ. Ա. ԳՐՈՅԱՆ

ԿԻՐԻՆ ԱՌԱՋԻՆ ՀԱՐԿՈՎ ԵՐԿԱՐԵՏՈՆՆ ԿԱՐԿԱՍԱՅԻՆ ՇՆՆՔԵՐԻ
ԱԶԱՏ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՊԱՐԲԵՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ՆԷ ՁԵՎԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՇՈՒՂՋԸ

Ա մ փ ո ւ փ ո լ մ

Վերլուծության են ենթարկված ճկուն առաջին հարկով երկաթբետոնե ռազմահարկ կարկասային շենքերի փոքր տատանումների հաճախական հավասարումները՝ ծածկերի մակարդակներում կենտրոնացված մասսաների հավասարության և քաղաքական կոշտ պարզունակների դեպքում: Կանոնականների նյութի՝ բետոնի, ոչ-դժայնությունը հաշվի է առնված առանձնացած կերպով, յուրաքանչյուր հարկի սահմաններում կանգնակր դիտված է որպես զժայնորեն առաձգական՝ իրեն առաձգականության մոդուլով:

Մինչև 16-հարկանի աղյուսի շենքերի ազատ տատանումների առաջին երեք ձևերի պարբերությունները որոշելու համար առաջարկվում է օգտվել (10) բանաձևից՝ վերցնելով նրա մեջ մտնող գործակիցների արժեքներն ըստ աղյուսակ 1-ի:

Բերված են 6-ից մինչև 16 հարկ բարձրություն ունեցող շենքերի ազատ տատանումների առաջին երեք ձևերի գործակիցների արժեքներն ըստ հարկերի՝ առաջին հարկի ճկունության փոփոխման մեծ դիապազոնում (աղյուսակ 2):

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гороян Т. А. К определению периодов свободных колебаний железобетонных каркасных зданий с учетом упруго-пластических свойств бетона. «Известия АН АрмССР (серия техн. наук)», т. XXVII, № 4, 1974.
2. Гороян Т. А., Хачиян Э. Е. К изучению сейсмостойкости железобетонных каркасных зданий повышенной этажности. Доклады Всесоюзного совещания по сейсмостойкому строительству в Алия-Ате, Ереван, 1967.
3. Гороян Т. А. Влияние упруго-пластических свойств бетона на формы свободных колебаний железобетонных каркасных зданий и формирование сейсмических нагрузок. «Известия АН АрмССР (серия техн. наук)», т. XXVII, № 6, 1974.

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

Ժ. Օ. ՄԵԼԿՈՒՄՅԱՆ, Վ. Ն. ՈՐԵՏԵՅԱՆ, Տ. Դ. ՏԱՐԿՆՅԱՆ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ ТРЕХТОЧЕЧНОЙ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛАТФОРМЫ

Настоящая работа посвящена исследованию системы автоматической стабилизации пространственного положения платформы задающего узла—важнейшего элемента двухзеркальной сферической антенны [1], входящей в комплекс Государственного эталона поля излучения ГЭПИ-32/50.

Задающий узел состоит из оптического телескопа—гида с экваториальной монтировкой, снабженного звездным фотоэлектрическим датчиком, и плоского зеркального отражателя, обеспечивающего управление угловым положением антенны с помощью узконаправленного оптического луча. Так как результирующая угловая погрешность наведения антенны не должна превосходить 10—15 угловых секунд, то ясно, что платформа, несущая на себе задающий узел, должна быть стабилизирована в пространстве с точностью не хуже 1—5 угловых секунд.

Во ВНИИРИ разработана система трехточечной автоматической стабилизации платформы задающего узла антенны ГЭПИ-32/50 на базе гидростатического нивелира с прецизионным фотоэлектрическим датчиком уровня жидкости [2].

Положение платформы в пространстве регулируется при помощи трех винтовых механизмов, обеспечивающих перемещение трех точек платформы в вертикальном направлении, что позволяет осуществлять поворот платформы вокруг любых горизонтальных осей и ее перемещение в вертикальном направлении. Привод каждого винтового механизма выполнен в виде системы, в которой измерителем рассогласования является вышеназванный гидростатический нивелир.

Как известно, гидростатическое нивелирование, основанное на закономерностях сообщающихся сосудов, позволяет контролировать разность высотных отметок двух или нескольких точек, расстояние между которыми может достигать сотен метров. Точность гидростатического нивелирования зависит от точности измерения уровней жидкости в сосудах и от способа компенсации температурных погрешностей, которые неизбежны при длительной работе. Фотоэлектрический датчик уровня жидкости [2] обеспечивает преобразование уровня

жидкости в электрический сигнал с коэффициентом преобразования порядка $0,4 \div 0,5$ В/мм с высокой стабильностью нуля, не зависящей от температуры окружающей среды. Это и другие преимущества указанного датчика позволили создать на его базе автоматическую систему, способную обеспечить длительную стабилизацию платформ с точностью не хуже 2-3 угловых секунд.

Динамика системы, состоящей из трех однотипных каналов регулирования между которыми имеют место взаимные связи, исследована методом производной аргумента [3].

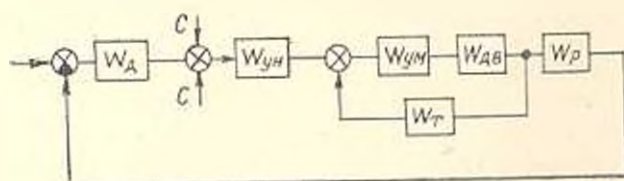


Рис. 1.

Структурная схема одного сепаратного канала показана на (рис. 1). Здесь w_d — передаточная функция датчика уровня жидкости, которая в первом приближении может быть представлена в виде безынерционного звена, т. е. $w_d = K_d$. По экспериментально полученной статической характеристике датчика $K_d = 0,4$ В/мм.

В качестве усилителя напряжения (w_{yn}) и усилителя мощности (w_{ym}) был использован серийно выпускаемый промышленностью электронный усилитель постоянного тока типа УЭД1-03. Нагрузкой усилителей является обмотка управления реверсивного асинхронного двигателя РД-09.

Усилители по сравнению с двигателем считаются безынерционными, поэтому передаточная функция усилителя равна постоянной величине — коэффициенту усиления

$$K_d = 10^2 \div 10^4; \quad w_{yn} = K_{yn} = 10; \quad w_{ym} = K_{ym} = 250.$$

Внутри контура сепаратного канала имеется тахометрическая обратная связь, которая улучшает устойчивость системы. Передаточная функция тахометрической связи имеет вид

$$w_t(s) = K_t s,$$

где K_t — крутизна выходной характеристики тахометрического моста в вольтах на радиан в секунду. Значение K_t было определено экспериментально и равно $3 \cdot 10^{-2}$ В·сек/рад.

По заданным техническим характеристикам двигателя получена передаточная функция исполнительного органа:

$$w_{dv}(s) = K_{dv} / (T_{dv} s + 1), \quad (1)$$

где $T_{dv} = 0,11$ сек; $K_{dv} = 17,28$ рад/В·сек; $K_p = 9 \cdot 10^{-4}$ мм/рад.

В силу симметричного расположения датчиков и их идентичности коэффициенты перекрестных связей равны друг другу:

$$C_{11} = C_{21} = C_{31} = C_{12} = C_{22} = C_{32}.$$

Экспериментальным путем снята характеристика перекрестной связи, из которой получено $K_c = 0,05$ В/мм.

По структурной схеме сепаратного канала запишем передаточную функцию замкнутой системы:

$$\Phi = \frac{w_{11} w_{12} w_{21} w_{22} w_p w_r}{1 + w_{11} w_{21} w_r + w_{12} w_{22} w_r w_p}. \quad (2)$$

Таким образом, характеристическое уравнение сепаратного канала принимает вид

$$P(s) = T_{22}s + K_2s + K_1 = 0, \quad (3)$$

где

$$K_1 = K_2 K_{11} K_{22} K_{12} K_p A_p = 15 \text{ 1/сек}; \quad K_2 = 1 + K_{11} K_{22} K_1 = 6,3.$$

Согласно методу производной аргумента [3] построим график функции

$$R(\omega) = \frac{d}{d\omega} [\arg P(i\omega)] = \frac{UV' - VU'}{U^2 + V^2}, \quad (4)$$

где

$$U = 15 - 0,11\omega^2; \quad V = 6,3\omega;$$

$$U' = -0,22\omega; \quad V' = 6,3.$$

По графику функции $R(\omega)$ (рис. 2) определим:

$$\max R(\omega) = 0,36 \text{ сек}; \quad \Omega = 0;$$

время переходного процесса $\tau \leq 3 \max R(\omega) = 1,08 \text{ сек};$

число колебаний $N \leq \Omega \cdot \max R(\omega) = 0;$

время первого максимума $t_m \approx \pi/\Omega = \infty;$

перерегулирование $\sigma \leq \exp(-\pi/N) = 0.$

Переходный процесс является аperiodическим, и время переходного процесса порядка одной секунды вполне удовлетворяет техническим требованиям.

Критический коэффициент усиления $K_{cr} = 90 \frac{1}{\text{сек}}$, тогда как требуемая добротность системы гораздо меньше: для обеспечения точности 0,01 мм при скорости 0,5 мм/сек она равна 50 1/сек. Эксперименты на действующем лабораторном макете (платформа диаметром 1 м) показали, что система обладает показателями, близкими к расчетным.

Далее, составим структурную схему (рис. 3). Здесь

$$D = \begin{pmatrix} D_{11} & 0 & 0 \\ 0 & D_{22} & 0 \\ 0 & 0 & D_{33} \end{pmatrix}; \quad w = \begin{pmatrix} w_{11} & 0 & 0 \\ 0 & w_{22} & 0 \\ 0 & 0 & w_{33} \end{pmatrix}; \quad C = \begin{pmatrix} 0 & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & 0 & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & 0 \end{pmatrix}$$

квадратные матрицы, а X и Y —столбцовые матрицы третьего порядка.

Согласно структурной схеме передаточная функция разомкнутой многомерной системы имеет вид [4]

$$G(s) = w(s) [C(s) + D(s)], \quad (5)$$

а передаточная функция замкнутой системы

$$\Phi(s) = G(s) / (E + G(s)),$$

где E —единичная матрица.

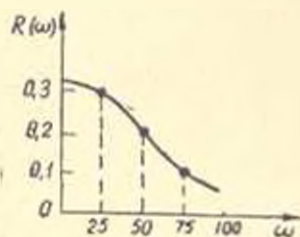


Рис. 2.

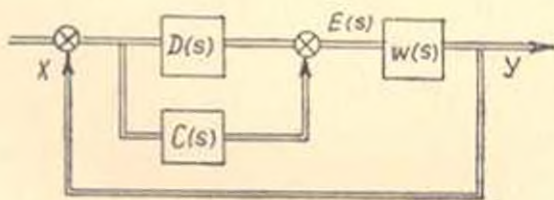


Рис. 3.

Характеристическое уравнение замкнутой многомерной системы определяется равенством [4]

$$\det(E + G(s)) = 0 \quad (6)$$

или в развернутом виде

$$\det \begin{pmatrix} 1 + w_{11}D_{11} & w_{11}C_{12} & w_{11}C_{13} \\ w_{21}C_{21} & 1 + w_{22}D_{22} & w_{22}C_{23} \\ w_{31}C_{31} & w_{32}C_{32} & 1 + w_{33}D_{33} \end{pmatrix} = 0. \quad (7)$$

В силу симметричности многомерной системы имеем:

$$\begin{aligned} w_{11} &= w_{22} = w_{33} = w = K_1/s (K_2 + T_{22}s); \\ C_{12} &= C_{21} = C_{31} = C_{13} = C_{23} = C_{33} = C = K_c; \\ D_{11} &= D_{22} = D_{33} = K_2 = D. \end{aligned} \quad (8)$$

Этот факт существенно упрощает вычислительные процедуры.

Раскрыв определитель характеристического уравнения, получим

$$(1 + wD)^3 + 1(wC)^3 - 3(wC)^2(1 + wD) = 0.$$

Подставив выражения передаточных функций, характеристическое уравнение принимает вид

$$P(s) = a_0s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s^2 + a_4s^2 + a_5s + a_6 = 0, \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} a_0 &= T_{22}^3; & a_1 &= 3T_{22}^2K_1; & a_2 &= 3T_{22}K_1^2 + 3K_1K_cT_{22}^2; \\ a_3 &= K_c^3 + 6K_1K_cK_2T_{22}; & a_4 &= 3K_1K_c^2K_2 + 3K_1(K_c^2 - K_c^2)T_{22}. \end{aligned}$$

$$a_3 = 3K_1^2(K_2^2 - K_2^2)K_2; \quad a_4 = (K_1^3(K_2^2 + 2K_2^2 - 3K_2K_2^2));$$

$$K_1 = K_{y1}K_{y2}K_{y3}K_{y4}; \quad K_2 = 1 + K_{y1}K_{y2}K_{y3}K_{y4}.$$

Согласно методу производной аргумента построим график функции $R(\omega)$ для различных значений коэффициента тахометрической связи ($K_1 = 0,01; 0,02; 0,03; 0,04$). Расчеты производились на ЭВМ. График функции $R(\omega)$ (рис. 4) показывает, что при $K_1 = 0,01$ переходный процесс многомерной системы колебательный, так как функция $R(\omega)$ имеет максимум при частоте $\Omega = 10$, причем $\max R(\omega) = 0,16$.

Определим параметры качества в случае $K_1 = 0,01$.

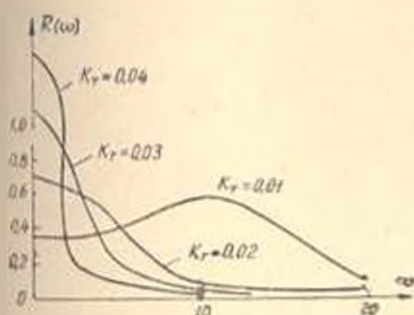


Рис. 4.

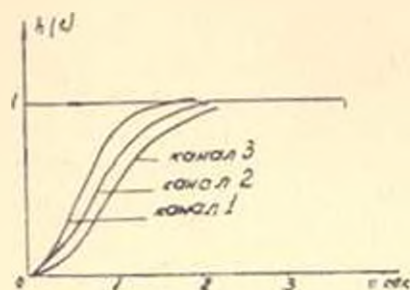


Рис. 5.

Время переходного процесса $\tau < 3\max R(\omega) = 1,38$ сек; число колебаний $N \leq \Omega \max R(\omega) = 4,6$; время первого максимума $t_m \approx \pi/\Omega = 0,311$ сек; перерегулирование $\sigma < \exp(-\pi/\Lambda) = 48\%$.

В остальных случаях переходный процесс многомерной системы получается аperiodическим, так как максимум функции $R(\omega)$ находится в начале координат ($\Omega = 0$). Однако при $K_1 = 0,04$ время переходного процесса ($\tau < 3\max R(\omega) = 4,65$ сек) заметно увеличивается. Следовательно, целесообразно выбрать $K_1 = 0,02 - 0,03$.

Для случая $K_1 = 0,02$ переходные процессы в отдельных каналах представлены на рис. 5.

Всероссийский научно-исследовательский институт
радиофизических измерений (ВНИИРИ)

Поступило 2.X 1976

Г. Л. ПОДПРИЯТЫЙ, Ч. В. СЕРГЕЕВ, И. С. ПАВЛОВ

ՀԱՅԹԱՎԻ ԵՐԱՐԵՏ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՅՈՒՆԱՅԻՐԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԻ ԴԻԱԳՆՈՒՄԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ

Ա Վ Փ Ռ Փ Ո Վ

Հետազոտված է երկհայելի զնդածն անտենայի կարևորագույն մասի՝
տարածական դիրքի ավտոմատ կայունացման բաղմամբ համակարգի, դի-

նամիկան, որը մտնում է Հառաքայթման դաշտի Պետական էտալոնի համա-
լիր ГЭПН—32/50-ի մեջ:

Համակարգի դինամիկան ուսումնասիրվում է արգումենտի ածանցյալի
մեթոդով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Геруни П. М., Саркисян Р. А. Система автоматического управления большими антеннами. «Радиотехника», № 3, 1964.
2. Петросян С. П., Сагателян О. А., Саркисян С. Т., Тагянская Я. С. Фотоэлектрическое устройство для измерения уровня жидкости, преимущественно в гидростатических инвезирах. Авторское свидетельство № 522410 от 19.12.71, «Бюллетень изобретений», № 27, 1976.
3. Мелкумян Д. О. Исследование САУ методом производной аргумента. «Изв АН АрмССР, серия ТН», № 6, 1971.
4. Морозовский В. Г. Многоконтурные системы автоматического регулирования, М., «Энергия», 1970.

ЭНЕРГЕТИКА

Э. А. АМАТУНИ

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА
СЛОЖНЫХ ТЭЦ

Рассматривается оптимальное распределение электрической и тепловых нагрузок различных параметров между агрегатами ТЭЦ (турбоагрегатами, котлоагрегатами, РОУ) при условии, что заданы тепловые схемы ТЭЦ, суммарные электрические и тепловые нагрузки, состав работающего оборудования с их энергетическими характеристиками. В общем виде энергетические характеристики турбин представляются в виде полиномов, доходящих до четвертой степени (для турбин типа «ПТ» и «Т»), а также в виде гладких невыпуклых функций с несколькими точками излома (для турбин типа «Р») и представляются следующими функциями и неравенствами.

а. Турбины типа «ПТ»:

$$Q = Q(P, x, y), \quad (1)$$

$$x^*(P, y) - x \geq 0, \quad (2)$$

$$P^*(x, y) - P \geq 0, \quad P - P^0(x, y) \leq 0, \quad (3)$$

где Q — расход тепла на турбину; P — электрическая мощность турбины; y — величина произведенного отбора; x — отбор тепла на теплофикацию; x^* — максимально возможная теплофикационная нагрузка при заданных P и y ; P^* и P^0 — соответственно максимально и минимально возможные мощности при заданных x и y . Функции x^* , P^* и P^0 представляются также в виде полиномов.

б. Турбины типа «Т» могут работать с трехступенчатой, двухступенчатой (по тепловому и электрическому графику) схемами подогрева сетевой воды, а также в чисто конденсационном режиме. Каждый из этих режимов представляется своей энергетической характеристикой. В общем виде энергетическая характеристика турбины типа «Т» представляется в виде:

$$Q = Q(\tau_1, \tau_2, W_{св}, x, P_{\kappa}, \theta), \quad (4)$$

$$x^*(P(x), P_{\tau\kappa}(x), \theta) - x \geq 0, \quad (5)$$

где τ_1, τ_2 — температура сетевой воды за бойлерами и перед бойлерами; $W_{св}$ — расход сетевой воды через бойлеры; $P_{\tau\kappa}$ — давление в верхнем теплофикационном отборе; P_{κ} — конденсационная мощность,

вырабатываемая за счет дополнительного расхода пара в конденсаторе сверх вентиляционного расхода; X^* — максимально возможная тепловая нагрузка турбины; θ — параметр, характеризующий режим работы турбины ($\theta=0$ — конденсационный режим, $\theta=1$ — режим с трехступенчатой схемой подогрева сетевой воды, $\theta=2$ — режим с двухступенчатой схемой подогрева сетевой воды при работе по тепловому графику, $\theta=3$ — двухступенчатый подогрев при работе по электрическому графику).

в. Турбины типа «Р»:

$$Q = a_0 + \sum_{i=1}^3 a_i (P - c_i), \quad P = c_0 + \sum_{i=1}^3 \lambda_i (y - c_i), \quad (6)$$

где a_0 , a_i , c_i , c_0 , c_i , λ_i — постоянные коэффициенты. Здесь вычисление вторых и последующих членов производится только в случае принятия аргументом значений, превосходящих вычитаемую от него в скобках численную величину.

В настоящее время существует большое разнообразие методов решения задач выпуклого нелинейного программирования [1, 2, 3], что, прежде всего, указывает на сложность проблемы поиска и трудности, связанные с оценкой эффективности использования того или иного метода решения задачи. Для решения задач нелинейного невыпуклого программирования, к которым относится рассматриваемая задача оптимизации режима сложных ТЭЦ (в силу невыпуклости энергетических характеристик турбин), возникают дополнительные трудности, связанные с тем, что в рассматриваемой области изменения переменных может быть не один, а несколько минимумов, и первый найденный минимум может быть не абсолютным. В настоящее время нет общего эффективного метода преодоления этой трудности. Учитывая отсутствие общего решения и строгих доказательств сходимости алгоритмов невыпуклого нелинейного программирования, в АрмНИИ Энергетики разработан специальный алгоритм, основанный на применении комбинации метода проектирования градиентов [4], обеспечивающего спуск в локальный минимум, с методом «оврагов» [5], позволяющим выходить из областей локальных минимумов с целью отыскания глобального.

Предметом настоящей статьи является применение метода проектирования градиентов, обеспечивающего спуск в локальный минимум, для оптимизации режима сложных ТЭЦ, включающих сочтения турбин типов «ПТ», «Т», «Р».

Постановка и решение задачи. В математической постановке рассматривается задача нахождения минимума нелинейной функции

$$F = \sum_{i=1}^I B_i(Q_i^*) \quad (7)$$

при ограничениях, заданных в виде равенств и неравенств:

1. Условие баланса тепла по паропроводу острого пара

$$g_1 = \sum_{i=1}^l Q_i(P_i, x_i, y_i) + \sum_{i=l+1}^h Q_i(P_i, x_i) + \sum_{i=h+1}^q Q_i(P_i, y_i) + \\ + \sum_{i=q+1}^k Q_i(P_i) + \sum_{j=1}^r Q_j^R(z_j) - \sum_{i=1}^r Q_i^A = 0. \quad (8)$$

2. Условие баланса электрической мощности по станции

$$g_2 = \sum_{i=1}^n P_i - N = 0. \quad (9)$$

3. Условие баланса по теплу, отпускаемому на теплофикацию

$$g_3 = \sum_{i=1}^k x_i - Q_T = 0. \quad (10)$$

4. Условие баланса пара, отпускаемого из j -го коллектора на производство

$$g_s = \sum_{i=1}^k K_{ij} y_i + z_j - D_j = 0; \quad j = 1, \dots, \xi; \quad s = 3 + j. \quad (11)$$

5. Условия, отражающие режимные ограничения турбин типов «ПТ» и «Т»:

$$g_j = x_i^*(P_i, y_i) - x_i \geq 0; \quad i = 1, \dots, l; \quad j = \xi + 3i - 2; \\ g_s = P_i^*(x_i, y_i) - P_i \geq 0; \quad s = j + 1; \quad (12)$$

$$g_d = P_i - P_i^0(x_i, y_i) \geq 0; \quad d = j + 2; \\ g_l = x_j^*(P_i(x_i), P_{\text{max}}(x_i), \theta - x_i) \geq 0; \quad (13) \\ i = l + 1, \dots, h; \quad j = 3i + \xi + 1,$$

С целью удобства дальнейших выкладок, условия (12) и (13) представим одинаковой записью:

$$g_j = \varphi_j(P_i, x_i, y_i) \geq 0; \quad (14) \\ j = 1 + \xi, \dots, m; \quad m = \xi + 3l + (h - l).$$

6. Условия, накладываемые на область изменения переменных:

$$P^0 \leq P \leq P^*; \quad X^0 \leq X \leq X^*; \quad Y^0 \leq Y \leq Y^*; \\ Z^0 \leq Z \leq Z^*; \quad Q^{*0} \leq Q^* \leq Q^{**}, \quad (15)$$

где B_i и Q_i^* — соответственно расход топлива и тепловая нагрузки i -го котлоагрегата; r — число котлов на станции; l — число турбин типа „ПТ“; h — число турбин типов „ПТ“ и „Т“; n — общее число турбин на станции; Q_T^R и z_j — соответственно расход тепла и пара

через i -й РОН; $\bar{z}$ — число коллекторов, отпускающих пар на производство; N , Q , и D — соответственно заданные суммарные, электрическая мощность, теплофикационная нагрузка и производственные отборы с j -го коллектора; K_{ij} — постоянный коэффициент, указывающий на наличие связи i -й турбины с j -м коллектором ($K_{ij} = 1$, если i -я турбина связана с j -м коллектором и $K_{ij} = 0$ в противном случае); верхними индексами „0“ и „*“ обозначены, соответственно, минимальные и максимальные значения переменных.

Вводя так называемые свободные переменные $V(v_1, \dots, v_m)$, можно ограничения, заданные в виде неравенств (14), преобразовать в равенства

$$g_j = \varphi_j(P_j, x_j, y_j) - v_j^* = 0; \quad j = 1 + \bar{z}, \dots, m. \quad (16)$$

Тогда задача сводится к нахождению минимума функции (7) при наличии ограничений в виде равенств $g_j(U) = 0$ ($j = 1, \dots, m$) и неравенств $U^0 \leq U \leq U^*$, где $U(P, X, Y, Z, V)$ — $3n + m + \bar{z}$ -мерный вектор искоемых переменных.

Решение задачи начинается с произвольного задания переменных $\hat{U}$ так, чтобы выполнялись условия (9), (10), (11) и (15). При этом для заданной точки $\hat{U}$ в общем случае будут справедливы соотношения $g_j(\hat{U}) = b_j$ ($j = 1, \dots, m$), в которых, по крайней мере, некоторые из b_j отличны от нуля. Осуществив спуск по направлению нормали к гиперповерхности ограничений $g_j(U) = 0$, можно попасть в точку $U_0 = \hat{U} - S(\hat{U})$, расположенную на этой гиперповерхности, где $S(U)$ — вектор, совпадающий по направлению с вектором нормали к гиперповерхности ограничений. Поскольку точка U_0 заранее неизвестна, то в первом приближении можно считать, что $S(U_0) \approx S(\hat{U})$. Вектор $S(\hat{U})$ характеризует направление и величину шага, с помощью которого можно попасть на гиперповерхность ограничений: $G(U_0) = 0$.

$$S(\hat{U}) = A^*(\hat{U})\delta, \quad (17)$$

где вектор δ определяется из системы

$$A(\hat{U})\delta = G(\hat{U}), \quad (18)$$

где $G(\hat{U})$ — m -мерный вектор с компонентами $g_j(\hat{U})$; $A(U) = m \times \times (3n + m)$ матрица с элементами $\partial g_j / \partial U$. Если после выполнения найденного таким образом шага, ограничения $G = 0$ еще не будут соблюдаться, то можно сделать еще один шаг с использованием рассмотренного выше метода.

После того, как вычислен начальный вектор переменных U_0 , осуществляется процесс проектирования вектора-градиента целевой функции ∇F на направление, касательное к гиперповерхности ограничений

[4]. При этом, новые значения переменных на $\tau+1$ -м шаге, дающем наибольшее уменьшение величины F , определяются зависимостью

$$U^{(\tau+1)} = U^{(\tau)} - T^{(\tau)} d^{(\tau)}, \quad (19)$$

здесь T — вектор, касательный к гиперповерхности ограничений, определяемый из соотношения

$$T = \nabla F(U) + A^T(U) W, \quad (20)$$

где $W = [w_1, \dots, w_m]$ — m -мерный вектор-столбец, элементами которого являются множители Лагранжа, определяемые из системы линейных уравнений

$$A(U) A^T(U) W = -A(U) \nabla F(U); \quad (21)$$

d — скаляр, величина которого равна длине шага из точки U в направлении T .

В направлении вектора T делается один или несколько шагов, пока не нарушается условие

$$\sum_{j=1}^n |g_j(U)|^2 \leq \varepsilon_0, \quad (22)$$

где ε_0 — заданная величина, определяющая некоторую допустимую окрестность гиперповерхности ограничений. После этого производится спуск на гиперповерхность ограничений по направлению к нормали.

В качестве критерия окончания процесса оптимизации методом проектирования градиентов принимается соотношение

$$|F(U^{(\tau)}) - F(U^{(\tau-1)})| \leq \varepsilon, \quad (23)$$

здесь ε — заданное малое положительное число, зависящее от требуемой точности.

Из полученной точки делается большой дополнительный $\tau+1$ -й шаг и выясняется соотношение $F(U^{(\tau+1)})$ и $F(U^{(\tau)})$. Если $F^{(\tau+1)} < F^{(\tau)}$ и, одновременно, $|F^{(\tau+1)} - F^{(\tau)}| > \varepsilon$, то процесс решения задачи продолжается описанным выше способом. Если $F^{(\tau+1)} \geq F^{(\tau)}$, то имеет место локальный минимум в точке $U^{(\tau)}$. Из полученной точки локального минимума решение задачи продолжается методом „оврагов“.

Вычислительная схема алгоритма и результаты расчетов. На основе описанного выше метода составлен алгоритм оптимизации режима работы сложных ТЭЦ, который сводится к следующему:

1. Произвольно задаются значения переменных $\bar{U}$ с обеспечением условий (9), (10), (11) и (15).
2. Вычисляется начальная точка U_0 , удовлетворяющая ограничениям

$$g_j(U_0) = 0 \quad (j = 1, \dots, m) \quad \text{и} \quad U^0 \leq U \leq U^*.$$

3. Вычисляются компоненты вектор-градиентов $\nabla F(U)$, $\nabla G(U)$.
4. Вычисляются множители Лагранжа $W(w_1, \dots, w_m)$.
5. По соотношению (20) определяются компоненты вектора T .
6. По зависимости (19) вычисляются новые значения переменных U^{i+1} , причем величина шага d выбирается так, чтобы уменьшение функции F в направлении T было наибольшим.

7. Проверяются условия $U^0 \leq U \leq U^*$ и, если они удовлетворены, то осуществляется переход к п. 8, если они нарушены для одной или сразу для нескольких переменных, то осуществляется пересчет шага T по формуле $d = \Delta U / T$, где $\Delta U = \max \|\Delta U^0\|, \|\Delta U^*\|$; $\Delta U^* = U^{i+1} - U^*$; $\Delta U^0 = U^0 - U^{i+1}$.

8. Проверяется условие (22), если оно удовлетворено, то осуществляется переход к п. 9; если нет, осуществляется спуск на гиперповерхность ограничений по направлению нормали к $G(U^{i+1})$.

9. Проверяется условие (23), если оно не удовлетворено, то процесс решения задачи повторяется с п. 3, если оно удовлетворено, то делается дополнительный шаг d_0 и если $F(U^{i+1}) < F(U)$ и одновременно $|F(U^{i+1}) - F(U)| > \epsilon$ осуществляется переход к п. 3, если же $F(U^{i+1}) \geq F(U)$, то решение задачи продолжается методом "оправов".

Описанный алгоритм реализован в виде ФОРТРАН-программы на ЭВМ ЕС-1020 для оптимизации режимов ТЭЦ Башкирэнерго.

Здесь приводятся результаты расчетов для одной ТЭЦ Башкирэнерго, схема которой представлена на рис. 1. Рассматриваемая ТЭЦ опускает пар давлением 1; 2; 10 и 16 атa. Котельная группа состоит из десяти котлов: котлы № 1, 2, 3—ТП-41 составляют котельную группу среднего давления, а котлы 4-10—ТГМ—высокого давления.

Котельные группы среднего и высокого давлений связаны между собой через РОУ 140/100. Турбинная группа состоит из десяти турбоагрегатов: № 1, 2—ПТ-25-3М; № 3—ПТ-25-4; № 4—ПТ-60-130; № 6—Т-100-130 и № 7-10—Р-50-130.

Рассматривается оптимизация режима станции при $N = 373,4 \text{ МВт}$, $Q = 128 \text{ Гкал/ч}$, $D_1 = 1102 \text{ т/ч}$, $D_2 = 245 \text{ т/ч}$.

На рис. 2 приведен график изменения значений целевой функции от числа итераций. В произвольно заданной начальной точке $\hat{U}$ некоторые из условий (14) нарушены, т. е. начальный режим станции является фиктивным. Действительный режим U_0 , удовлетворяющий ограничениям задачи, получен после 6-й итерации. Результаты реализации алгоритма, основанного на методе проектирования градиентов, после 1-й и 28-й итераций, при которых процесс сошелся, приведены в табл. 1. Экономия топлива за счет оптимизации $\Delta F = 2,7 \text{ т/ч}$, что составляет 1,8% от величины суммарного расхода топлива на ТЭЦ.

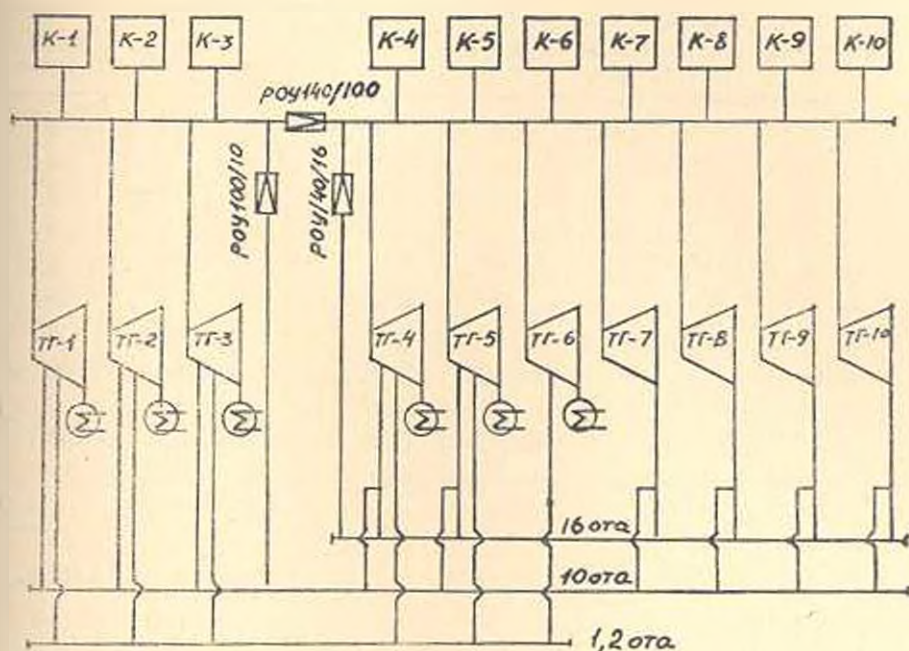


Рис. 1.

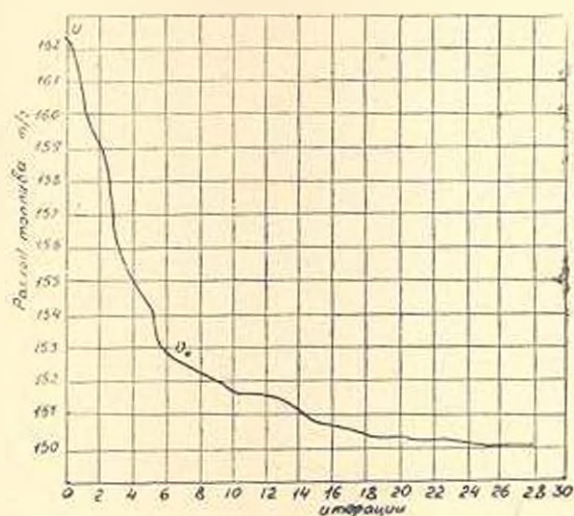


Рис. 2.

Анализ проведенных расчетов показал, что решение задачи сходится к локальному минимуму за 25—30 итераций; время счета одной итерации на ЭВМ ЕС-1020 составляет от восьми до десяти секунд. общее время решения задачи около 5 минут.

Таблица 1

№ т. г.	$\tau = 0$				$\tau = 28$			
	P МВт	X Гкал/час	$Y_{10 \text{ ата}}$ т/час	$Y_{16 \text{ ата}}$ т/час	P МВт	X Гкал/час	$Y_{10 \text{ ата}}$ т/час	$Y_{16 \text{ ата}}$ т/час
1	25,65	21,28	87,21	0	3,50	2,00	5,00	0
2	25,65	21,28	87,21	0	3,50	2,00	5,00	0
3	21,65	19,74	73,50	0	22,92	10,58	90,79	0
4	40,99	32,85	131,05	0	60,00	37,23	84,76	0
5	40,97	32,85	0	34,1	60,00	76,19	0	5,0
6	66,29	0	0	0	34,80	0	0	0
7	37,97	0	241,00	0	52,27	0	305,48	0
8	37,97	0	241,00	0	52,27	0	305,48	0
9	37,97	0	241,00	0	52,27	0	305,48	0
10	37,97	0	0	210,9	31,81	0	0	240,0
$F = 162,5 \text{ т/час}$					$F = 150,2 \text{ т/час}$			

АрмНИИЭ

Поступило 15.VII.1976

Է. Հ. ԱՄԱՏՈՒՆԻ

ՐԱՐԴ ԶԷԿ-ԵՐԻ ԹԵԺԻՄԱՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԻԶԱՑԻԱՅԻ
ԹՎԱՅԻՆ ՄԵԹՈԴ

Ա մ փ ո փ ո ո մ

Հոգիաժողովում գիտվում է բարդ ԶԷԿ-երի ռեժիմների օպտիմիզացիայի խնդրի լուծումը պրոգրեսիվների պրոցեսիայի մեթոդով, որը թույլ է տալիս դանել լոկալ մինիմումը: Հաշվարկները ցույց են տվել, որ խնդրի լուծման խանգարող պրոցեսը գույամիավում է լոկալ մինիմումի կետում՝ միջին հաշվով 25—30 խանգարացից հետո, իսկ լուծման ընդհանուր ժամանակը կազմում է 5÷6 րոպե:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Фиакко А. Мак-Кормик Г. Нелинейное программирование. Методы последовательной минимизации. Изд. «Мир», 1972.
2. Хедли Дж. Нелинейное и динамическое программирование. Изд. «Мир», 1967.
3. Полак Э. Численные методы оптимизации. Изд. «Мир», 1974.
4. Лейтман Дж. и др. Методы оптимизации с приложениями к механике космического полета. Изд. «Наука», 1965.
5. Гельфанд И. М. и др. Метод опрагов в задачах рентгеноструктурного анализа. Изд. «Наука», 1966.

ЭНЕРГЕТИКА

В. Г. ПОГОСОВ

К МЕТОДУ РАЗДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ
НА ПОДСИСТЕМЫ

Продолжается процесс роста энергосистем, их объединение, углубление взаимосвязей, переход от частных задач к задачам комплексного анализа режима системы. В этой связи вопросы разработки эффективных алгоритмов расчета установившихся режимов сложных электрических систем, ускорения сходимости, исследования полученных решений продолжают быть актуальными.

Среди различных методов расчета установившихся режимов представляет интерес последование метода разделения схем электрических систем на подсистемы.

Данная статья посвящена исследованию метода расчета установившихся режимов системы, разделенной на подсистемы, являясь продолжением исследований [1], [2] применительно к новому методу расчета модулей и синусов разности фаз напряжений, который обеспечивает улучшение сходимости итерации к физически реализуемому решению, отсутствие ограничений по фазам напряжений узлов и т. д. [3].

Постановка задачи. Рассматривается схема замещения системы как совокупность подсистем, состоящей из N узлов. Каждая подсистема состоит из $N_1, N_2, \dots, N_N$ узлов.

Отдельные подсистемы представляются открытыми схемами, т. е. схемами, содержащими генераторные, нагрузочные, сетевые и межсистемные узлы.

Разделение системы на подсистемы осуществляется по серединам ветвей.

Исходная информация для узлов задается в следующем виде:

- а) балансирующий узел каждой подсистемы представляется модулем напряжения;
- б) генераторные узлы представляются активной мощностью и модулем комплексного напряжения;
- в) нагрузочные узлы представляются активной и реактивной мощностями;
- г) межсистемные узлы представляются активной и реактивной мощностями, либо активной мощностью и модулем комплексного напряжения.

Пассивные параметры подсистемы задаются комплексными проводимостями $Y_{mk} = g_{mk} - jb_{mk}$, где g_{mk} , b_{mk} — активные и реактивные проводимости ветвей между ее узлами m и k . Использование матрицы комплексных проводимостей Y , отличающейся простотой формирования информации о схеме замещения, и учет в расчетах ненулевых элементов матрицы коэффициентов уравнений режима обеспечивает наилучшие условия использования оперативной памяти ЭЦВМ.

Требуется определить — недостающие параметры режима узлов и ветвей всех подсистем.

Расчетные уравнения [3]:

$$P_m = U_m^2 g_{mm} + U_m \sum_{\omega} U_{\omega} (g_{m\omega} \sqrt{1 - s_{m\omega}^2} - b_{m\omega} s_{m\omega}); \quad (1)$$

$$Q_m = U_m^2 b_{mm} + U_m \sum_{\omega} U_{\omega} (g_{m\omega} s_{m\omega} + b_{m\omega} \sqrt{1 - s_{m\omega}^2}). \quad (2)$$

Решение уравнений (1) и (2) относительно приращений искомых величин по методу Ньютона имеет вид:

$$\left| \frac{1}{U_m} \frac{\partial P_m}{\partial s_{m\omega}} \right|^i |\Delta s_{m\omega}|^{i+1} = \left| \frac{\Delta P_m}{U_m} \right|^i; \quad (3)$$

$$\left| \frac{1}{U_m} \frac{\partial Q_m}{\partial U_{\omega}} \right|^i |\Delta U_{\omega}|^{i+1} = \left| \frac{\Delta Q_m}{U_m} \right|^i \quad (4)$$

и далее:

$$s_{m\omega}^{i+1} = s_{m\omega}^i + \Delta s_{m\omega}^{i+1}; \quad (5)$$

$$U_{\omega}^{i+1} = U_{\omega}^i + \Delta U_{\omega}^{i+1}, \quad (6)$$

где P , Q — активная и реактивная мощности;

m — индекс узлов схемы;

ω — индекс множества узлов, связанных с узлом m ветвями с параметрами;

U — модуль напряжения узлов;

$s_{m\omega} = \sin(\phi_m - \phi_{\omega})$;

i — верхний индекс шага итераций.

$$\frac{\partial P_m}{\partial s_{m\omega}} = U_m U_{\omega} \left(b_{m\omega} + g_{m\omega} \frac{s_{m\omega}}{\sqrt{1 - s_{m\omega}^2}} \right); \quad (7)$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial U_{\omega}} = U_m \left(b_{m\omega} + \frac{Q_m}{U_m^2} \right); \quad (8)$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial U_m} = U_m (g_{mm} s_{mm} + b_{mm} \sqrt{1 - s_{mm}^2}); \quad (9)$$

$$\Delta P_m = P_m^* - P_m^i; \quad \Delta Q_m = Q_m^* - Q_m^i. \quad (10)$$

где P_m^* , Q_m^* — заданные величины мощностей;

P_m^i , Q_m^i — величины, вычисленные по формулам (1) и (2).

Записанные выше уравнения для каждой подсистемы дополняются уравнениями связи следующих видов:

$$\begin{aligned} P_{N1, s} &= -P_{N2, s'}; \\ Q_{N1, s} &= -Q_{N2, s'}; \\ U_{N1, s} &= -U_{N2, s'}; \end{aligned} \quad (11)$$

$$S_{m \rightarrow N1, s} = -S_{m \rightarrow N2, s'}$$

где s, s' — узлы связи между подсистемами $N1, N2$, $N1 \neq N2$; $N1, N2 = 1, II, \dots, NN$.

Алгоритм расчета установившегося режима методом расчета модулей и синусов разности фаз напряжений узлов схемы приведен на рис. 1.

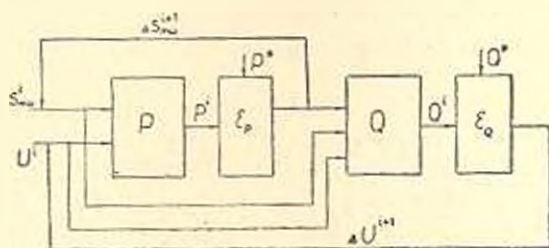


Рис. 1.

По рассмотренной выше методике решается каждая из $N1, N2, \dots, NN$ подсистем независимо друг от друга.

Критерием окончания расчета каждой подсистемы является достижение заданных величин:

$$\epsilon = \frac{P_m^* - P_m^i}{U_m} \leq 10^{-3}; \quad \mu = \frac{Q_m^* - Q_m^i}{U_m} \leq 10^{-3}. \quad (12)$$

Расчетом установившихся режимов каждой подсистемы заканчивается процесс, так называемой, внутренней итерации. В результате чего для каждой подсистемы были получены и межсистемных узлах смежных систем параметры режима $P, Q, U, S_{m \rightarrow}$.

Отличительной особенностью данного метода расчета установившегося режима является то, что оперируем не четырьмя параметрами режима, как это делалось ранее, а тремя, что способствует ускорению и упрощению процесса внешней итерации.

Результаты расчета на i -м шаге внешней итерации по межсистемным узлам усредняются:

$$P_{\text{ср}} = \frac{|P_{N1}| + |P_{N2}|}{2}; \quad Q_{\text{ср}} = \frac{|Q_{N1}| + |Q_{N2}|}{2};$$

$$U_{\text{ср}} = \frac{U_{N1} + U_{N2}}{2}.$$
(13)

Активные P и реактивные Q мощности берутся по абсолютной величине, т. к. для одной подсистемы мощность берется со знаком минус, а для другой—плюс. $(i+1)$ -й шаг в каждой подсистеме выполняется по результатам i -го шага каждой подсистемы и усредненных значений межсистемных узлов смежных подсистем. Эта процедура будет продолжаться до получения одинаковых результатов расчетов по межсистемным узлам смежных подсистем, т. е. при достижении заданных величин:

$$\varepsilon_P = \{ |P_{N1}| - |P_{N2}| \} \leq 10^{-1}; \quad \varepsilon_Q = \{ |Q_{N1}| - |Q_{N2}| \} \leq 10^{-1};$$

$$\varepsilon_U = |U_{N1} - U_{N2}| \leq 10^{-1}.$$
(14)

Процесс полного цикла внешней итерации для простейшего случая двух смежных подсистем схематически представлен на рис. 2.

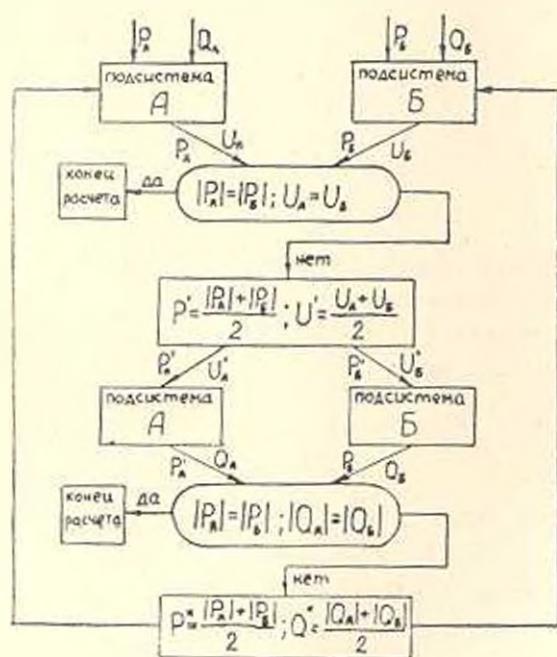


Рис. 2.

Иллюстрацию рассмотренного выше алгоритма расчета установившегося режима системы, расчлененной на подсистемы, и стыковки указанных смежных подсистем рассмотрим на примере электрической

системы [4]. Разрезание указанной системы проведем так, как это показано на рис. 3.

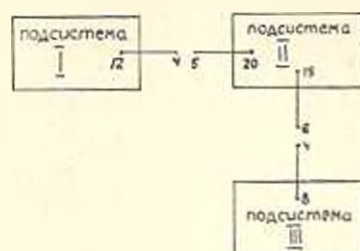


Рис. 3.

В табл. 1 приведены данные как для схемы в целом, так и для трех полученных после разрезания подсистем.

Таблица 1

№ пп	Наименование	Число узлов	Число ветвей	Число генерат.	Число нагрузок	Число контур
1	Система в целом	46	51	10	18	6
2	I подсистема	15	16	3	7	2
3	II подсистема	20	19	4	10	—
4	III подсистема	15	18	3	8	1

Результаты расчетов установившегося режима методом модулей и синусов разности фаз напряжений для системы в целом и трех подсистем в отдельности приведены для случая внутренней итерации в табл. 2.

Таблица 2

№ пп	Наименование	Число итераций	Время счета	Параметры режима в межсистемных узлах			
				P	Q	U	$S_{\text{м}}$
1	Система в целом	6	4'25"	—	—	—	—
2	I подсистема	6	1'20"	154,20	32,65	204,82	0,00658479
3	II подсистема	6	1'18"	154,23 152,14	—32,65 44,75	204,99 201,13	—0,0063400 —0,0496140
4	III подсистема	7	1'40"	152,11	—44,75	201,15	0,0184762

Исследования показали, что задание P и Q в качестве искомых параметров в межсистемных узлах дает лучшие результаты, чем задание P и U .

В процессе внешней итерации в программе расчета установленный режим предусмотрен корректировка ΔP_m активных мощностей по формуле

$$\Delta P_m = \frac{\partial P_m}{\partial S_{m\omega}} \Delta S_{m\omega}. \quad (15)$$

Некоторые рекомендации по разрезанию системы на части:

а) число узлов подсистем должно соответствовать объему задачи, решение которой возможно с использованием только оперативной памяти данной ЭЦВМ;

б) число подсистем должно определяться практической необходимостью;

в) желательно, чтобы подсистемы были связаны наименьшим числом связей;

г) рекомендуется деление по середине ЛЭП.

В ы в о д ы

1. Предлагаемый алгоритм разбишки системы на подсистемы отличается достаточной простотой, является эффективным способом уменьшения числа вычислительных операций и объема промежуточной информации.

2. Возможность оперирования только тремя (взамен четырех) параметрами межсистемных узлов значительно облегчает стыковку (внешнюю итерацию) решений уравнений отдельных подсистем.

Арм НИИЭ

Поступило 4.V.1977.

Վ. Դ. ՊՈՂՈՍՈՎ

ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԴԵՐԸ ԵՆԹԱՀԱՐԱԿԱՐԴԵՐԻ ՐԱԺԱՆՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ա լ ը

Դիտարկվում է ենթահամակարգերի բաժանված համակարգի հաստատված ուժերի հաշվարկը լարումների մոդուլների և փուլերի տարբերության սինուսների հաշվարկման նոր մեթոդով: Տույց է տրված, որ միջհամակարգային հանդույցներում ուժերի ճշգրիտ պարամետրների տրման դեպքում կարելի է սահմանափակվել միայն ներքին խտրացիայով՝ ելակետային համակարգի հաստատված ուժերի ստացման համար: Միջհամակարգային հանդույցների միայն երեք (չորսի փոխարեն) պարամետրների օգտագործման հնարավորությունը հեշտացնում է առանձին ենթահամակարգերի հավասարումների լուծումների միակցումը (արտաքին խտրացիան): Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ ակտիվ և ակտիվ ճշգրտությունների տրման դեպք-

քում միջհամակարգային հանդուցներում ստացվում է ավելի լավ զուգամի-
տում՝ քան անտիվ հզորության ու լարման մոդուլի տրման քննարկում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Адоиц Г. Т. Расчет установившихся режимов электрической системы, разделенной на многополюсники «Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт», 1971, № 1.
2. Адоиц Г. Т., Арутюнян С. Г. Об одной схеме итерации и расчетах установившихся режимов электрической системы, разделенной на многополюсники «Изв. АН СССР Энергетика и транспорт», 1973, № 3.
3. Адоиц Г. Т. Метод расчета модулей и синусов разности фаз напряжений узлов схе-
мы. Сб. Всесоюзного научно-технического совещания «Исследование решений
на ЭВМ уравнений установившегося режима электрических систем». Изд.
«АрмНИИЭ», 1976.
4. Адоиц Г. Т., Гамбурян К. А., Мурадян С. Г. Об одной тестовой задаче расчета
установившегося режима энергосистем «Электрические станции», 1971, № 12.

Некоторые особенности кинематики и процесса резания безвершинными резцами. Тер Марквард М. С. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXX. № 6, 1977, 3—12.

В статье уточнены существующие зависимости, определяющие величины рабочих (кинематических) углов безвершинных резцов.

Введены переходные зависимости между аналогичными углами этих и обычных инструментов. Установлена взаимосвязь между углом схода стружки на передней поверхности безвершинного резца и некоторыми его геометрическими параметрами. Выяснилось, что угол схода стружки как и все рабочие углы резцов вдоль режущей кромки переменны.

Экспериментально установлено, что с переходом от обычного резца к безвершинному степень деформации стружки, средняя температура контакта и высота микронеровностей уменьшаются, снижается также напряженное состояние поверхностных и подповерхностных слоев.

Илл. 4. Библ. 8 назв.

Оценки устойчивости медленных перемещений направляющих станков с ЧПУ с применением ЭВМ. Манвелян Э. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXX. № 6, 1977, 13—20.

Рассматривается вопрос обеспечения устойчивости медленных (скользящих) перемещений и точности позиционирования направляющих станин с числовым программным управлением.

Используя возможность ЭВМ и исходя из двух экспериментальных зависимостей: а) зависимости силы трения от скорости перемещения, б) зависимости силы трения от времени неподвижного контакта, получены необходимые выражения и дан расчетный метод, с помощью которых на станин проектировавшая можно оценить характер релаксационных автоколебаний, что для станин с ЧПУ имеет важное значение.

Илл. 4. Табл. 3. Библ. 3 назв.

О некоторых результатах решения пространственной задачи массопереноса. Анимян С. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXX. № 6, 1977, 21—28.

Приведены результаты решения задачи массопереноса в двухслойной фильтрующей среде на фоне вертикальной дренажа.

Илл. 2. Табл. 6. Библ. 3 назв.

К определению периодов и форм свободных колебаний железобетонных каркасных зданий с гибким первым этажом. Горюня Т. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. II.)», т. XXX, № 6, 1977, 29—37.

Проанализированы частотные уравнения малых колебаний многоэтажных железобетонных каркасных зданий с гибким первым этажом при абсолютной жесткости ригелей и равенстве масс, сосредоточенных в уровнях перекрытий. Нелинейность работы материала конструкции—бетона—учтена особо: в пределах каждого этажа материал стоек рассматривался линейно упругим со своим модулем упругости.

Получена расчетная формула для определения периодов первых трех тонов свободных колебаний таких зданий высотой до 16 этажей. Приведены поэтажные значения коэффициентов первых трех форм свободных колебаний высотой от 6 до 16 этажей в большом диапазоне изменения гибкости первого этажа.

Илл. 1. Табл. 2. Библ. 3 назв.

УДК 621.38

Исследование динамики системы трехточечной автоматической стабилизации платформы. Мелкумян Д. О., Нерсисян В. П., Саркисян С. Т. «Известия АН АрмССР (серия Т. II.)», т. XXX, № 6, 1977, 38—43.

Исследуется многомерная система автоматической стабилизации пространственного положения платформы задающего узла—важнейшего элемента двухзеркальной сферической антенны, входящей в комплекс Государственного Эталона поля излучения ГЭПН-32/50.

Динамика системы исследуется методом производной аргумента.

Илл. 5. Библ. 4 назв.

УДК 621.311.29.9.001.24

Численный метод оптимизации режима сложных ТЭЦ. Амагунян Э. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. II.)», т. XXX, № 6, 1977, 44—51.

В статье рассматривается решение задачи оптимизации режима сложных ТЭЦ методом проектирования градиентов, обеспечивающим нахождение локального минимума. Результаты расчетов показали, что итерационный процесс решения сходится к точке локального минимума в среднем за 25—30 итераций, а общее время решения задачи составляет 5—6 мин.

Илл. 2. Табл. 1. Библ. 5 назв.

УДК 621.311.16.014.1

К методу разделения электрических систем на подсистемы. Погосов В. Г. «Известия АН АрмССР (серия Т. II.)», т. XXX, № 6, 1977, 52—58.

Рассматривается расчет установившегося режима системы, разделенной на подсистемы, применительно к новому методу расчета модулей и синусов разности фаз напряжений. Показано, что в случае точного задания параметров режима и межсистемных узлах можно ограничиться только внутренней итерацией для получения установившегося режима исходной электрической системы. Возможность оперирования только тремя (вместо четырех) параметрами межсистемных узлов облегчает стыковку (внешнюю итерацию) решения уравнений отдельных подсистем. Исследования показали, что задание активной и реактивной мощностей в межсистемных узлах дают лучшую сходимость, нежели задание активной мощности и модуль напряжения.

Илл. 3. Табл. 2. Библ. 4 назв.

Ր Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

«ՀԱՍՏ ԴԱ ՏՆՂՆԿԱՄԻՐ (տեխնիկական գիտությունների
սերիա)» հանդեսի 30-րդ հատորի

ԱՆԿԵՐԱՇԽԱՆԱԾՈՒՄ

Կ. Մ. Նիկոլյան, Լ. Մ. Մակարյան, Յու. Լ. Ստրզյան. Տեղափոխող մեխանիզմների հախադման մի քանի խնդիրներ	4—3
Մ. Վ. Կոսյան, Հ. Ս. Սարգսյան, Ն. Գ. Սովետյան. Տանգի և նրա որպես կորի: լավագույն երկրաչափության որոշման լավագույն՝ ցունավոր մեթոդները մշա- կելիս	3—3
Մ. Վ. Կասյան, Հ. Ս. Բաղդասարյան, Ա. Մ. Արզումանյան, Տանգի ժամային գե- ֆորմացիան որպես մշակելիության որոշման քանակ	3—5
Զ. Ա. Մանվելյան, Գ. Ս. Դադյան, Ա. Կ. Պաղոսյան. Եփման ժամանակ մեխանիկական ոնկալության ինքնատեսակների վրա որոշիչ պարամետրների ազդեցու- թյան անալիտիկ փոխադրում	3—8
Զ. Ա. Մանվելյան, Թվային ժրգրերով կառավարող հասարակների ուղղորդման դանդաղ տեղափոխումների կառուցման գեոմետրիա էՄ-ի ադապտացիան	6—13
Ի. Յու. Նիկոլյան, Բ. Ս. Ասլանյան. Բնականաբար ստացված գրավիտացիոն—համա- առարկա շարժումը թեք ուղիներով	1—13
Կ. Ն. Նանդալյան, Գ. Ա. Ջաղաղաբյան, Գ. Ս. Խաչատրյան. Մեխանիզմների սինթե- զում փնդի միջև որոշակի համապատասխանության հիման վրա, երբ փնդ- րի համապատասխան ուղիները կազմում են հաստատուն անկյուն	4—11
Ռ. Պ. Ջավախյան. Ֆրեդերիկ Բեռնարի մարմնի երկրորդ դասի հարթ բաղմ- ուղակ մեխանիզմների վրա	1—3
Ռ. Պ. Ջավախյան. Առանձնաշեղծային մեխանիզմների սինթեզը ըստ տարբեր արագության և արագացման կառուցման արժեքների	4—20
Մ. Ս. Տեր-Մարգարյան. Կարման պրոցեսի և կինեմատիկայի որոշ առանձնահատկու- թյունները անգագաթ կարիերներով աշխատելիս	6—3
Ն. Վ. Օլեյնիկ, Մ. Դ. Ստեփանյան. Ջերմաշեղծած պողպատների ցիկլային նրկարա- կեցության հետազոտումը	2—3

ՀԵՐԵՐԵՐԿԱՆ

Հ. Տ. Աղոնց, Էլեկտրական համակարգի հաստատուն ուժի մեծության հավասարումների լուծման ալգորիթմների համազոտություններ	3—12
Է. Հ. Ամատունի, Բարդ Ջեյ-Ների սեծի մեծության օպտիմիզացիայի թվային մեթոդ	6—44
Մ. Ս. Բալարևյան, Հեռադաշտակարգի ցանցերում կորուստների հարաբերական անճի որոշումը գնահատելիս մեթոդով	3—23
Յու. Դ. Դերգոյան, Կ. Վ. Դանդալյան, Ա. Ն. Դյակով. Հեռադաշտակարգերի բնու- յան մեծության սրահան գրաֆիկների հաշվարկում կոնֆուգուրացիան օպերա- տորի կիրառման հիման վրա	2—22
Ա. Ս. Հաբոյանյան, Հիթերիցային մատրիցայի կառուցումը ԹՄ-ի վրա	2—32
Ս. Դ. Հաբոյանյան, Ընդերկայանական և ընդարձակ կարգավորումով տրանսֆոր- մատորներ պարունակող էներգահամակարգերի հաստատված սեծի մեծության հաշ- վարկի շուրջը	4—47
Մ. Ս. Լիկտյան, Հեռադաշտակարգի բնույթի մասին գրաֆիկի կառուցման նշու- թյան բարձրացումը կոնստիտուցիայի մեթոդի գնացում	3—37
Վ. Դ. Պաղոսյան, Էլեկտրական համակարգերը ենթահամակարգերի բաժանման մեթոդի մասին	6—52

Էլեկտրասեփեցիկա

Վ. Ա. Ավագյան, Էլեկտրական մեքենաների տեխնոլոգիական թերությունների թրթուր- դիագնոստիկան թրթուման մոդելների հիման վրա	4—43
Է. Մ. Գիլենյան, Է. Մ. Աղաբաբյան, Գ. Ա. Աստաբաբյան, Պատույթի ժամանակ բազ- մաշարժիչային էլեկտրոմոթիլի էլեկտրաշարժիչների լարումների կարգավորման օրենքների որոշումը	3—13
Մ. Ա. Կարապետյան, Գործող դաշտի հաշվարկը Գրինի թիրեմի կիրառմամբ	4—59
Վ. Շ. Հարությունյան, Ու-Ֆազային ուղեղային թաղանթի էլեկտրաշարժիչների միա- ն բազմաոճեցիկային կոմպոտացիաների թվա-ափոխման առաջադեպերում	4—53
Ն. Գ. Նիկիլյան, Մ. Ե. Յունցեմ, Ա. Լ. Մայիլյան, Աղապահիչություն մեքենայի ստատորի փափուկի փորոտային և ճակատային ջրման հաղորդականությունները	3—20
Ա. Ա. Սաֆարյան, Վ. Ա. Սարաբև, Գծային մագնիսաէլեկտրական կերպափոխիչների տեսության շուրջը	2—11

Ջափողական սեխնիկա

Ս. Ս. Շաղղամյան, Պլատինե ջերմադիմադրության բնութագրի թվային դժայնացումը	4—30
Վ. Ռ. Վարդանյան, Ճնշման դիֆերենցիալ արագացործ ունակային կերպափոխիչ	1—40

Հաճվողական սեխնիկա

Յու. Վ. Չուկ, Ա. Մ. Մելիքովյան, Հ. Ռ. Մուրադյան, Դիտահեռադուսական ինստի- տուտի կազմակերպական կառուցվածքի վերանայման անհրաժեշտ հասանա- կանության որոշումը	1—18
--	------

Ջերմասեփեցիկա

Է. Ա. Մկրտումյան, Ռ. Ս. Սյուլալյան, Ա—ՎՏ դիզելի փորձարարական հետազո- տությունը բարձր լծանային պայմաններում	1—31
---	------

Ռադիոէլեկտրոնիկա

Գ. Շ. Մելիքովյան, Վ. Ն. Ներսիսյան, Ս. Տ. Սարգսյան, Հարթակի եռակետ ամպլիտուդ- կայունացման համակարգի դինամիկայի հետազոտում	6—36
---	------

Շինարարական մեխանիկա

Տ. Ա. Դուրյան, Դիտու առային հարկով հրկամբնություն կարկասային շենքերի ազատ տատանումների պարբերությունների և ձևերի որոշման շուրջը	6—29
Մ. Ա. Ջաղալյան, Հիմնատակին սեղմված շերտի մի վարիացիոն խնդրի վերաբերյալ հաշվի առած նյութի ուղեղիական հատկությունները	5—18
Է. Ե. Խաչիյան, Վ. Ա. Համբարձումյան, Լ. Գ. Պետրոսյան, Հատակադեղմ ձգվածու- թյուն ունեցող շենքերի ու կառուցվածքների ունակությունների որոշումը սնյամիկ այրենների տարածման սկզբնական փուլի հաշվառումով	4—37

Հիդրավիկա

Ս. Ա. Անանյան, Ա. Կ. Անանյան, Ստորերկրյա ջրերի պաշարների որոշումը հիդրո- դինամիկական մեթոդով՝ հաշվի առնելով նրանց որակի փոփոխումը մակե- րնային հոսքերից	3—34
Ս. Ա. Անանյան, Մասսատեղափոխման տարածական խնդիրների լուծման մի քանի արդյունքների մասին	6—21
Կ. Ա. Դավթյան, Վ. Հ. Այնջալյան, Ռ. Վ. Գրիգորյան, Սոսցող շերտում հասկանալի նյութերի ընդերկայնական ուղղությամբ խառնման պրոցեսի ռադիոնուկլիդ- թյունը ուղղանկյունաձև ապարատներում	1—24

Ռ. Մ. Ռաֆայելյան, Ռ. Ս. Ավետյան, Մզի: խաղաղակարգում պոմպի հաղորդակի անդաման անցողիկ պոքեւի հաշվարկի շարքը	5—55
--	------

Գիտական հոսքեր

Ռ. Ա. Ալավերդյան, Կ. Խ. Եանրազյան, Ծրկրորդ կարգի կոթերին շաշաթոջ ուղիների կառուցումը	2—39
Բ. Շ. Էլմայան, Բարդ լեռնադամակարգի աշխատանքի սեփմաների կառավարման խեղրի ուղտիմայ լուծման կայունության գնահատման շարքը	3—49
Լ. Ս. Հովհաննիսյան, Ջերմության լրացուցիչ մասնացմամբ ուղղանկյուն կոնվեկտիվ ուսարացման ապարատների հաշվարկի վերաբերյալ	1—51
Վ. Մ. Սուհակյան, Մ. Բ. Դեուրդյան, Ֆլուտացիայի պոքեւի անխնդրական քուցա- նիշների բարեբաղման ճարավորության վերաբերյալ	3—45
Ռ. Շ. Սիմոնյան, Յու. Ա. Արամանյան, Վ. Ա. Հատարյանով, Դեքիմետրաւոջ դիա- պագոնի ազմուկի փորագորարիտալին գննարատը	2—46

Դիտարկման գործիչներ

Դիտարկման գործիչներ Սեթ-Վո (ձեկայան Դժամայկի աղթիվ)	2—50
---	------

СО Д Е Р Ж А Н И Е

XXX тома журнала „Известия АН АрмССР (серия технических наук)“

Стр.

Машиностроение

Р. П. Джавухян. Распространение теоремы Фрейденштейна на плоские многозвенные механизмы II класса	1—3
Р. П. Джавухян. Синтез зубчато-рычажных механизмов по экстремальным значениям угловой скорости и ускорения ведомого звена	4—20
К. М. Егишян, Л. М. Макарян, Ю. Л. Саркисян. Некоторые задачи проектирования перемещающих механизмов	4—3
М. В. Касьян, Г. Б. Багдасарян, Н. Г. Мовсисян. Форма стружки как критерий оптимизации геометрических параметров резца при точении цветных металлов	3—3
М. В. Касьян, Г. Б. Багдасарян, А. М. Арзуманян. Объемная деформация стружки, как показатель определения обрабатываемости	5—5
З. А. Манвелян, Г. С. Гагян, А. К. Погосян. Аналитическая оценка влияний определяющих параметров на механические релаксационные автоколебания при трении	3—9
З. А. Манвелян. Оценка устойчивости медленных перемещений направляющих станков с ЧПУ с применением ЭВМ	6—13
И. Я. Никонов, Б. С. Асланян. Гравитационно-равномерное движение грузовых тележек по уклонным путям	1—13
Н. В. Олейник, М. Г. Стакан. Исследование долговечности термообработанных сталей	2—3
М. С. Тер-Маркрян. Некоторые особенности кинематики и процесса резания безвершинными резцами	6—3
К. Х. Шахбизян, Д. А. Джагацпнян, Г. С. Худоян. К синтезу механизмов на основе определенных соответствий между пучками, соответствующие прямые которых образуют постоянный угол	4—11

Энергетика

Г. Т. Адонц. Исследования алгоритмов решения уравнений установившегося режима электрической системы	5—12
Э. А. Амагуни. Численный метод оптимизации режима сложных ТЭЦ	6—44
А. А. Арутюнян. Формирование гибридной матрицы на ЦВМ	2—32
С. Г. Арутюнян. К расчету трансформаторов с продольно-поперечным регулированием в расчетах установившихся режимов энергосистем	4—67
М. А. Балабекян. Определение относительных приростов потерь в сетях энергосистем методом декомпозиции	3—28
К. Г. Григорян, К. В. Гаспарян, А. Ф. Дьяков. Прогнозирование суточных графиков нагрузок энергосистем применением оператора предсказания	2—22
М. С. Мкртчян. Повышение достоверности прогнозирования графика нагрузки при методе весовых коэффициентов	3—37
В. Г. Погосов. К методу разделения электрических систем на подсистемы	6—52

Электротехника

- В. А. Авакян. Вибродиагностирование технологических дефектов электрических машин на основе моделей вибрации 4—48
- Б. Ш. Арутюнян. Цифровые автоматные отображения одно- и многорежимных коммутаторов фаз m -фазных реверсивных шаговых электродвигателей 4—55
- Э. М. Диланян, Э. М. Агабекян, Г. К. Астабатьян. Определение законов регулирования напряжений электродвигателей многодвигательного электромобиля при повороте 3—13
- М. А. Карапетян. Расчет действующего поля с использованием теоремы Грина 4—59
- Н. Г. Никян, М. Е. Нонде, А. Т. Малян. Проводимости пазового и лобового рассеяния обмотки статора асинхронного двигателя 3—20
- А. А. Сафарян, В. А. Сараджев. К теории линейных магнитоэлектрических преобразователей 2—14

Измерительная техника

- В. Р. Вардианян. Дифференциальный быстродействующий емкостной преобразователь давления 1—40
- С. С. Шахкяни. Цифровая линеаризация характеристики платинового термометра сопротивления 4—30

Вычислительная техника

- Ю. Я. Чусев, А. М. Мелкумян, Г. Б. Мурадян. Определение необходимой частоты пересмотра организационной структуры НИИ 1—18

Теплотехника

- Э. А. Икртумян**, Р. С. Айвазян. Экспериментальное исследование дизеля А-41Т в высокогорных условиях 1—31

Радиоэлектроника

- Д. О. Мелкумян, В. Н. Нерсисян, С. Т. Саркисян. Исследование динамики системы трехточечной автоматической стабилизации платформы 6—35

Строительная механика

- Г. А. Горюнян. К определению периодов и форм свободных колебаний железобетонных каркасных зданий с гибким первым этажом 6—28
- М. А. Задоян. Об одной вариационной задаче о прижатии слоя к основанию при учете реологических свойств материалов 5—18
- Э. Е. Хачиян, В. А. Амбарцумян, Л. Г. Петросян. К определению реакций протяженных зданий и сооружений с учетом начальной фазы прохождения сейсмической волны 4—37

Гидравлика

- С. А. Ананиян, А. К. Ананиян. Гидродинамические методы определения эксплуатационных запасов подземных вод с учетом изменения их качества под влиянием поверхностных источников 5—54

С. А. Анян. О некоторых результатах решения пространственной задачи массопереноса	6—21
Г. А. Давтян, В. Г. Айнштейн, Р. В. Григорян. Исследование продольного перемешивания в прямоугольных аппаратах с псевдооживленным слоем зернистых материалов	1—21
Р. М. Рафаэлян, Р. С. Либетисян. К расчету переходного процесса в пне- матическом трубопроводе при отключении привода насоса	5—55

Научные заметки

Л. А. Алавердян, К. Х. Шахбазян. Построение касательных прямых к кривым второго порядка	2—39
Л. С. Оганесян. К расчету конвективных прямоточных нагревательных аппаратов с дополнительным подводом тепла	1—51
М. В. Саакян, М. Б. Геворкян. О возможности повышения технологических показателей процесса флотации	3—45
Р. Г. Симонян, Ю. А. Абрамян, В. А. Арутюкян. Маловибрационный генератор шума дециметрового диапазона	2—16
Ш. А. Элмаян. Об оценке устойчивости оптимального решения задачи уп- равления режимами работы сложной энергосистемы	3—49

Персоналии

Николай Константинович Снитко (к 75-летию со дня рождения)	2—50
--	------

Ր Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Ց Ո Ւ Ն

էջ

ՄԵՐԵՆՈՇԵԼՈՒՄԻՆ

17. Ս. Տիւր-Մարգարյան, Կտրման պրոցեսի և կիսեմատիկայի որոշ առանձնահատկութիւնները անզագաթ կտրիչներով աշխատելիս	3
2. Ս. Սանվլիւան, Թվային ծրագրերով կառավարվող հաստոցների ուղղորդներում դանդաղ տեղափոխումների կայունութիւնը ցեահաստումը էՀՄ-ի օգտագործմամբ	13

Հիդրավիկա

11. Ա. Անուսիւան, Մասնատեղափոխման տարածական խնդիրների լուծման մի քանի արդշունքների մասին	21
--	----

Շինարարական մեխանիկա

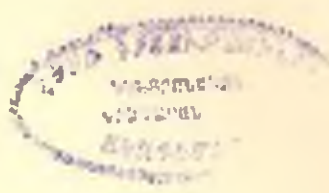
8. Պ. Պարոյան, Ժկուն առաջին հարկով երկաթբետոնե կարկասային շենքերի ազատ տասանումների պարբերությունների և ձևերի որոշման շուրջը	29
--	----

Ռադիոէլեկտրոնիկա

Գ. Ս. Սիւրմյան, Վ. Ն. Ներսիսյան, Ս. Տ. Սարգսյան, Հարթակի եռակետ ամոտման կայունացման համակարգի ղիծամիկայի հետազոտում	38
---	----

էներգետիկա

է. Շ. Սևաստուցի, Բարդ Զէն-կրթ սեմիմների օպտիմիզացիայի թվային թվային մեթոդ	44
Վ. Պողոսով, էլեկտրական համակարգերը ենթահամակարգերի բաժանման մեթոդի մասին	52
ՅՍ-րդ հատորի բովանդակութիւնը	59



СО Д Е Р Ж А Н И Е

Стр

Машиностроение

М. С. Тер-Муркарян. Некоторые особенности кинематики и процесса резания безвершинными резцами	3
Э. А. Манвелян. Оценка устойчивости медленных перемещений направляющих станков с ЧПУ с применением ЭВМ	13

Гидравлика

С. А. Анян. О некоторых результатах решения пространственной задачи массопереноса	21
--	----

Строительная механика

Г. А. Гороян. К определению периодов и форм свободных колебаний железобетонных каркасных зданий с гибким первым этажом	29
--	----

Радиоэлектроника

Д. О. Мелкумян, В. Н. Нерсисян, С. Т. Саркисян. Исследование динамики системы трехточечной автоматической стабилизации платформы	38
---	----

Энергетика

Э. А. Амагуни. Численный метод оптимизации режима сложных ТЭЦ	44
В. Г. Погосов. К методу разделения электрических систем на подсистемы	52
Содержание XXX тома	53