

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՈՐՀԱՆՈՒՄԱՆ ԿԱՆՈՒՄ

Կոստյան Բ. Վ. (պատ. խմբագիր), Աղանց Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ), Ալեքսևսկի Վ. Վ., Անանյան Ա. Կ., Կոստյան Տ. Ա., Ղազարյան Մ. Ա., Նազարով Ա. Է., Տեղ-Ազատի Ի. Ա., Փինաչյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ)

Պատահականորեն բացառված Սեփյանյան Զ. Կ.

ՐԵԴԱԿՈՐԱՏՈՐԱՆ ԿՕՂԵԳԻԱ

Կոստյան Բ. Վ. (պատ. խմբագիր) Կոստյան Բ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ), Ալեքսևսկի Վ. Վ., Անանյան Ա. Կ., Կոստյան Տ. Ա., Ղազարյան Մ. Ա., Նազարով Ա. Է., Տեղ-Ազատի Ի. Ա., Փինաչյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ)

Օրենսդրական քարտեզ Տեղանյան Զ. Կ.

Խմբագրության հասցեն՝ Երևան—(Տ). Բարեկամության փող. 21-ր
Հասցե՝ Երևան 19, Կապույտի 24-ր

МАРТЫН ВАГАНОВИЧ КАСЬЯН
(К 70-летию со дня рождения)

Действительному члену Академии наук АрмССР Мартыну Вагановичу Касьяну, видному советскому ученому-машиностроителю, инженеру, педагогу и общественному деятелю—70 лет.

М. В. Касьян родился 14 сентября 1905 года в г. Абастумане Груз. ССР. Среднюю школу окончил в 1923 году, а спустя пять лет—механический факультет Тбилисского политехнического института, после окончания которого был оставлен на кафедре института для стажировки и



подготовки к научно-педагогической деятельности. Умело сочетая работу на машиностроительных заводах с научной деятельностью, им в этот период была создана технологическая лаборатория, где изучались основные вопросы резания металлов, закономерности деформации металла, температурных, динамических износных явлений при контактировании режущего инструмента с обрабатываемым материалом.

Обобщением этих работ стали кандидатская и докторская диссертации, которые М. В. Касьян защитил соответственно в 1937 и 1943 годах. Кстати, им тогда впервые выдвигалась идея управления процессом стружкообразования при непрерывном резании, ставшая в дальнейшем основополагающей при решении многих практических задач. Созданная им лаборатория при кафедре «Технология машиностроения» стала одним из научных очагов развития отечественного машиностроения.

В грозные годы Великой Отечественной войны на проф. М. В. Касьяна была возложена ответственная и сложная задача по организации на предприятиях Грузинской ССР производства боевой техники и боеприпасов для нужд фронта. В этот период и в послевоенные годы им в Грузинском политехническом институте были подготовлены тысячи инженеров-механиков, многие из которых стали впоследствии замечательными инженерами и учеными, сыгравшие важную роль в развитии машиностроения в стране.

В 1949 г. Ереванским политехническим институтом М. В. Касьян приглашается на должность заместителя директора института по учебной и научной работе и заведующего кафедрой «Технология машиностроения». К этому же времени в АН АрмССР он приступает к разработке основ теории резания камней. В результате проведенных под руководством М. В. Касьяна комплексных исследований с привлечением большого числа специалистов была создана гамма камнеобрабатывающих станков, выпуск которых освоили Ленинканские механические заводы.

Эти комплексные исследования, проведенные под руководством юбиляра, послужили мощным стимулом научно-технического прогресса в области добычи и обработки каменных материалов.

Исследовательские работы М. В. Касьяном были разноразмерны не только в институтских, но и в заводских лабораториях, каждая из которых имела свое научное направление для решения конкретных задач. Были налажены творческие связи не только с ведущими отечественными организациями, но и с организациями социалистических стран.

Под научным руководством М. В. Касьяна разрабатывались актуальные проблемы улучшения несущей способности рабочих поверхностей инструментов путем управления процессом резания, установлением закономерностей упрочнения обрабатываемой поверхности, изменением плотности дислокации металла зоны резания и поверхности. Изучались явления, связанные с экзoeлектроинной эмиссией, с образованием пологого тока и его влияния на контактные процессы. Изучались процессы резания как в активных (кислород, эмульсии, пропитанные кислородом), так и в пассивных (аргон, вакуум и др.) средах, вопросы топографии изнашивания резцов, изготовленных из различных материалов. Велись поиски новых режущих материалов и эффективных конструкций инструментов.

Трудно переоценить результаты многолетней, целеустремленной, плодотворной деятельности этого самобытного и очень трудолюбивого

ученого, т. е. замечательная инженерная интуиция позволяла ему безошибочно находить основные направления при решении важных и сложных проблем современного машиностроения.

В 1953 году М. В. Касьян избирается членом-корреспондентом АН АрмССР по машиностроению и академиком-секретарем Отделения технических наук, а в 1956 г. — академиком АН АрмССР и академиком-секретарем АН АрмССР. В 1957 году он назначается председателем Государственного научно-технического Комитета Совета Министров АрмССР.

За четверть века научно-педагогической работы в Армянской ССР М. В. Касьяном подготовлены более 4000 инженеров-машиностроителей. Подготовили и защитили кандидатские и докторские диссертации более 100 специалистов. Итоги многолетней научно-исследовательской работы М. В. Касьяна нашли отражение в опубликованных им 150 статьях, книгах и брошюрах, а также в 15 авторских свидетельствах на изобретения в области станкостроения.

Имя М. В. Касьяна известно далеко за пределами нашей страны. Он приглашался для чтения лекций по физическим основам резания металлов в Мишкульский институт тяжелого машиностроения, в Даниицкий политехнический институт, в институт имени Отто фон Герике, в Массачусетский технологический институт, в Ренселлеровский политехнический институт и т. д.

Являясь председателем научного Совета по проблемам машиноведения при Отделении физико-технических наук и механики АН АрмССР и заместителем академика-секретаря этого отделения, М. В. Касьян принимает активное участие в решении вопросов, представляющих общегосударственный интерес. В частности, к ним относится технология получения высококачественного железного порошка из руды Разданского месторождения.

В 1970 г. М. В. Касьян был удостоен Государственной премии АрмССР в области науки и техники.

Много сил и энергии он отдает общественной деятельности. С 1962 г. по настоящее время М. В. Касьян является ответственным редактором журнала «Известия АН АрмССР (серия технических наук)». Он является одним из организаторов и редакторов журнала «Интуиция в технике». По его инициативе при Республиканском Совете научно-технических обществ, членом президиума которого он неоднократно избирается, впервые организована общественная аспирантура, которую он возглавляет 13 лет. В общественной аспирантуре успешно защитили кандидатские диссертации около ста ведущих специалистов различных областей народного хозяйства.

В обществе «Знание», членом президиума республиканского правления которого М. В. Касьян состоит со дня его основания, он руководит методическим Советом по науке и технике.

С 1943 года он член КПСС. Советское Правительство высоко оценило плодотворную деятельность М. В. Касьяна. Он награжден орденом

Дружбы Народов, двумя орденами Трудового Красного Знамени, орденом «Знак Почета», многими медалями и почетной грамотой Президиума Верховного Совета Армянской ССР.

Замечательная жизнь и многогранная деятельность Мартына Вагановича Касьяна является ярким примером беззаветного служения партии и народу, сочетания высокого чувства гражданского долга с многолетним трудом во имя развития советской науки и техники.

И сегодня юбиляр полон творческой энергии и новых творческих замыслов.

РЕДКОЛЛЕГИЯ

МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. Б. ЭДЖИЯН, Г. Г. АГАРОНЯН

СИНТЕЗ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ЦЕПНОГО
МЕХАНИЗМА С ПЕРИОДИЧЕСКИМ ПОВОРОТОМ
ВЕДОМОГО ЗВЕНА

В современных машинах-автоматах все более широкое применение получают механизмы, обеспечивающие остановку ведомого звена при непрерывном вращательном движении ведущего звена. В последние годы получили применение механизмы периодического поворота, в которых используется цепная передача. В работах [1] и [2] рассмотрено несколько механизмов периодического поворота с цепными передачами.

В настоящей статье приводится методика кинематического исследования и синтеза нового типа комбинированного механизма с периодическим поворотом ведомого водила H (рис. 1). В состав механизма входят: ведущая звездочка 1, ролик 2, цепь 3 с пальцем 4, кулиса 5, дифференциальный механизм с центральными колесами 6 и 8, сателлитом 7 и водилом H .

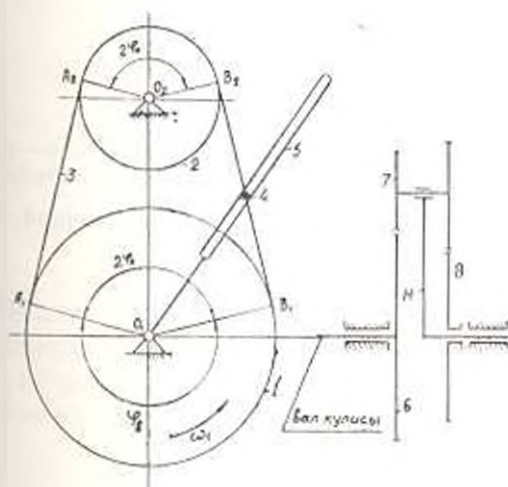


Рис. 1

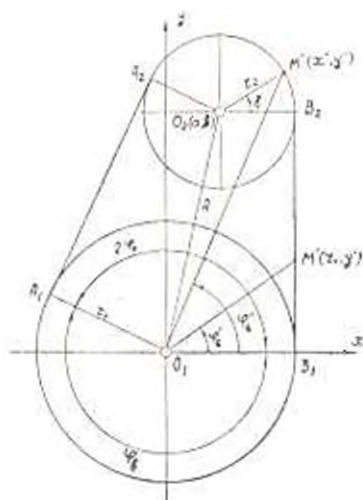


Рис. 2

При вращении звездочки 1 с $\omega_1 = \text{const}$ движение передается кулисе 5 посредством пальца 4, закрепленного на оси ролика цепи 3. На валу кулисы неподвижно закреплено зубчатое колесо 6 дифференциального механизма. Когда ролик цепи с пальцем войдет в зацепление со звездочкой 1, кулиса 5, а следовательно, и колесо 6

вместе со звездочкой будут вращаться с постоянной угловой скоростью $\omega_0 = \omega_1$. При этом ведомое водило H дифференциального механизма окажется неподвижным, если угловые скорости ω_0 и ω_2 связаны следующим образом:

$$i_{02}^H = \frac{\omega_0}{\omega_2},$$

где i_{02}^H — передаточное отношение дифференциального механизма при неподвижном водиле H ;

ω_2 — угловая скорость колеса δ .

При выходе же ролика цепи с пальцем из зацепления со звездочкой водило будет вращаться, так как нарушится условие $\omega_0 = \text{const}$. Вращение водила будет происходить до момента повторного входа в зацепление со звездочкой ролика цепи с пальцем.

Угловой период такого механизма будет:

$$\Phi = \varphi_n + \varphi_{\text{пов}} = 2\pi \frac{z_n}{z_1}, \quad (1)$$

где φ_n — угол выстоя; $\varphi_{\text{пов}}$ — угол поворота звездочки, соответствующий повороту водила; z_1 — число зубьев звездочки I ; z_n — число звеньев цепи.

Механизм получится компактным, если использовать многорядные цепи.

Кинематика механизма. Передаточное отношение дифференциального механизма при вращении водила равно:

$$i_{02}^H = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi_0 - \varphi_2}, \quad (2)$$

где φ_0 — угол поворота колеса δ ; φ_1 — угол поворота колеса δ ; φ_2 — угол поворота водила.

Когда ролик цепи с пальцем войдет в зацепление со звездочкой, водило остановится и

$$\varphi_2 = i_{02}^H \varphi_0 = \varphi_1, \quad (3)$$

где φ_1 — угол поворота звездочки I .

Решая (2) относительно φ_2 с учетом (3) получим:

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 - \varphi_0}{i_{02}^H - 1}. \quad (4)$$

Рассмотрим зависимость $\varphi_0 = \varphi_0(\varphi_1)$ при двух качественно различных положениях цепного механизма.

а) Палец находится на прямолинейном участке B_1B_2 или A_1A_2 (рис. 2).

Обозначая в этом случае угол поворота колеса δ через φ_0 , получим:

$$\varphi'_1 = \operatorname{arctg} \frac{y'}{r_1} \operatorname{arctg} \varphi_1, \quad (5)$$

где r_1 — радиус начальной окружности звездочки 1;

Угол φ'_1 изменяется в пределах:

$$0 \leq \varphi'_1 \leq \operatorname{arctg} \frac{b}{r_1},$$

где $b = \sqrt{A^2 - (r_1 - r_2)^2}$; A — межцентровое расстояние звездочки и ролика 2; $r_2 = r_{p2} + r_{pn}$ — радиус окружности ролика 2, проходящей через центры роликов цепи; r_{p2} — радиус ролика 2; r_{pn} — радиус роликов цепи.

б) Палец находится на ролике 2.

Обозначая при этом угол поворота колеса b через φ''_1 , получим:

$$\varphi''_1 = \operatorname{arctg} \frac{y''}{x''} = \operatorname{arctg} \frac{b + r_2 \sin \gamma}{a + r_2 \cos \gamma}, \quad (6)$$

где $a = r_1 - r_2$; $b = \sqrt{A^2 - (r_1 - r_2)^2}$.

Выразим угол γ через φ_1 . Из рис. 2 имеем:

$$\gamma = \frac{B_2 M^0}{r_2} = \frac{\varphi_1 r_1}{r_2}. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (6), получим:

$$\varphi'_1 = \operatorname{arctg} \frac{b + r_2 \sin \frac{\varphi_1 r_1}{r_2}}{a + r_2 \cos \frac{\varphi_1 r_1}{r_2}}. \quad (8)$$

Значение угла φ'_1 изменяется в пределах:

$$\operatorname{arctg} \frac{b}{r_1} \leq \varphi'_1 \leq 2\pi - \varphi'_1 = \operatorname{arctg} \frac{b}{r_1}.$$

Подставляя (5) и (8) и (4) находим передаточную функцию $\dot{\varphi} = \dot{\varphi}(\varphi_1)$.

Дифференцируя эту зависимость, получим соответствующие выражения скоростей и ускорений ведомого водила.

Величину полного угла поворота водила H находим из выражения

$$\varphi_H = \frac{\varphi_{\text{пов}} - \varphi_{\text{max}}}{i_{68}^H - 1} = \frac{2\pi \left(\frac{z_{11}}{z_1} - 1 \right)}{i_{68}^H - 1}, \quad (9)$$

где φ_{max} — максимальное значение угла поворота колеса b при движении водила ($\varphi_{\text{max}} = 2\varphi_0$).

Синтез механизма. Синтез механизма заключается в определении геометрических параметров ценного механизма и передаточного отношения дифференциального механизма. При синтезе механизма

задаются угол выстоя ведущей звездочки φ_* и полный угол поворота ведомого валика z_n .

При одной и той же звездочке 1 и угле выстоя φ_* , чем длиннее цепь (чем больше z_n), тем меньше получится радиус ролика r_2 . Следовательно, при заданных z_1 , φ_* , а также z_n , задача сводится к определению r_2 .

Вся длина цепи (l) равна:

$$l = z_n t = l_1 + 2l_2 + l_3, \quad (10)$$

где t — шаг цепи, выбираемый конструктивно или определяемый из силового расчета;

l_1 — длина цепи на звездочке 1:

$$l_1 = \frac{\varphi_*}{2\pi} z_1 t; \quad (11)$$

l_2 — длина цепи на отрезке A_1A_2 или B_1B_2 :

$$l_2 = -(r_1 - r_2) \operatorname{tg} \frac{\varphi_*}{2}; \quad (12)$$

l_3 — длина цепи на ролике 2:

$$l_3 = (2\pi - \varphi_*) r_2. \quad (13)$$

Подставляя значения (11), (12) и (13) в (10), выразив r_2 через шаг t и число зубьев z_1 , получим:

$$r_2 = \frac{t \left(z_n - \frac{\varphi_*}{2\pi} z_1 + \frac{\operatorname{tg} \frac{\varphi_*}{2}}{\sin \frac{\pi}{z_1}} \right)}{2\pi - \varphi_* + 2 \operatorname{tg} \frac{\varphi_*}{2}}. \quad (14)$$

Здесь z_1 и z_n выбираются произвольно ($z_n > z_1$), но при $\varphi_* > \pi$ их значения должны удовлетворить неравенству

$$z_n < \frac{2\pi}{\varphi_*} z_1 - \frac{\operatorname{tg} \frac{\varphi_*}{2}}{\sin \frac{\pi}{z_1}}. \quad (15)$$

Межцентровое расстояние равно:

$$A = - \frac{r_1 - r_2}{\cos \frac{\varphi_*}{2}}. \quad (16)$$

После нахождения геометрических параметров цепного механизма по выражению (17), полученному из (9), определим передаточное отношение дифференциального механизма:

$$i_{68}^n = \frac{2\pi}{\varphi_n} \left(\frac{z_n}{z_1} - 1 \right) + 1. \quad (17)$$

Из (9) видно, что для одного и того же цепного механизма (при одном и том же угле выстоя φ_n) можно получить разные значения полного угла поворота водила φ_n , изменив передаточное отношение дифференциального механизма i_{68}^n .

Пример. Спроектировать дифференциально-цепной механизм, обеспечивающий угол выстоя $\varphi_n = 240^\circ$ и угол поворота водила $\varphi_n = 30^\circ$. Принимаем шаг $t = 12,7$ мм, число зубьев звездочки $z_1 = 36$. По неравенству (15) принимаем $z_n = 40$. Угловой период получится $\Phi = 400^\circ$. По формуле (14) находим $r_2 = 35$ мм. Межцентровое расстояние $A = 76$ мм. Передаточное отношение дифференциального механизма получится $i_{68}^n = 7/3$.

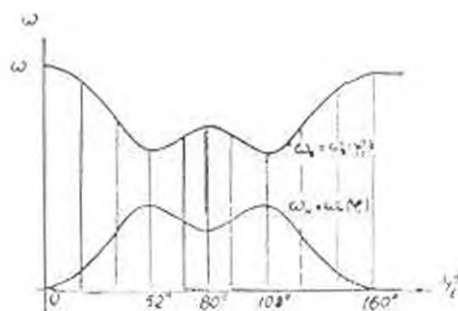


Рис. 3

На рис. 3 изображены графики изменения угловых скоростей входного и выходного валов механизма, рассмотренного в примере.

ЕрПИ им. К. Маркса

Получено 15 IV 1972

В. Р. ХАЧАТУР, А. Р. АЗАРЯНЦ

ՏԱՐՎՈՂ ՈՂԱՌԻ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ՊՏՈՒՅՏՈՎ ԴԵՖԵՐԵՆՑԻԱԼՆԻՍԿԱՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄԻ ՍԻՆԹԵԶ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ս Ո

Հողվածում ներկայացված է հեղինակների կողմից մշակված նոր տիպի տարփող օղակի ընդհատուներով պտույտ ապահովող կոմբինացված մեխանիզմի կինեմատոտիկական անալիզի և սինթեզի մեթոդը: Բերված է բվային օրինակ:

ЛИТЕРАТУРА

1. Mc. Larnan C. W., Freudenstein F. Chain-type intermittent-motion mechanism. "Annals New York Academy of Sciences", 1966, 130, № 13.
2. Аникин Н. П., Шамаidenко Н. Е. Механизмы для движения с остановками с цепным приводом. "Вестник машиностроения", № 2, 1972.

ЭНЕРГЕТИКА

Բ. Լ. ԱԼՈՍԻ, Ս. Բ. ԱՐՄԵՐՅԱՆ

РАСЧЕТ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ДВУХ
ЭНЕРГОСИСТЕМ, СВЯЗАННЫХ ПЕРЕДАЧЕЙ
ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ
ОТБОРОМ МОЩНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО
ПРИСОЕДИНЕНИЯ

В качестве межсистемных связей между отдельными энергосистемами все чаще используются электропередачи постоянного тока. Усиление систем переменного тока передачами постоянного тока (ППТ) позволяет [1, 2] повысить их устойчивость, надежность, при этом снижаются токи короткого замыкания, облегчаются условия регулирования частоты и активной мощности. В известных [3, 4 и др.] программах расчета установившегося режима (у.р.) энергосистем, содержащих ППТ, не учитывается конфигурация передачи и режим работы ее преобразовательных подстанций. В других работах [1, 2 и др.] режим ППТ рассматривается более подробно, однако при этом энергосистемы, примыкающие к передаче, замещаются эквивалентной э.д.с. за некоторым результирующим реактивным сопротивлением, что не во всех случаях справедливо [5]. В то же время работа ППТ в значительной степени зависит от структуры и режима работы связываемых сю энергосистем, и наоборот, работа регулируемых преобразовательных подстанций ППТ влияет на режим примыкающих энергосистем. Наличие ППТ в системе переменного тока сложной структуры требует совместного решения уравнений у.р. энергосистем и ППТ, основанного на подробном описании как сети переменного тока, так и конфигурации и режима работы ее регулируемых преобразовательных подстанций.

Настоящая статья посвящена рассмотрению алгоритма расчета установившегося режима двух энергосистем, связанных линией электропередачи постоянного тока. В отличие от [1-7] приемная и отправная энергосистемы представляются эквивалентными многополюсниками. Режим ППТ описывается полными уравнениями, учитывающими работу регулируемых преобразовательных подстанций и наличие промежуточного отбора мощности параллельного включения. Алгоритм расчета разработан с учетом регулирования преобразовательных подстанций, осуществляемого как изменением коэффициентов трансформации трансформаторов концевых подстанций ППТ (медленное регулирование), так и непосредственно системой регулирования преобразователей (быстрое регулирование). При этом предполагается, что инвертор работает по характеристике постоянства угла погасания, а выпрямитель — по характерис-

нике постоянства выпрямленного тока. Предлагаемый алгоритм расчета может быть распространен на случай любого количества параллельно включенных отборов мощности.

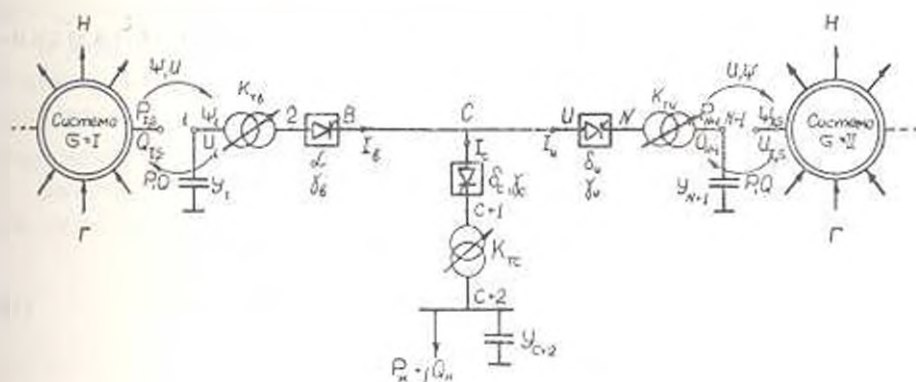


Рис. 1.

Постановка задачи. Принимаются заданными:

а) параметры Y двух ($z = I, II$) систем (рис. 1), приведенных к эквивалентным пассивным многополюсникам с z, n независимыми узлами, в число которых входят все генераторные и нагрузочные узлы, а также узел, представляющий начало или конец ППТ;

б) параметры режима: $P_{z, \alpha}$ (активные мощности), $Q_{z, \beta}$ (реактивные мощности), $U_{z, \gamma}$ (модули напряжений), $\psi_{z, \delta}$ (фазы напряжений) режима соответственно z, f, m, β узлов двух ($z = I, II$) систем, кроме параметров режима начала и конца ППТ;

в) диапазон регулирования напряжения и стандартные отпаики преобразовательных трансформаторов, их сопротивления, проводимости (Y_1, Y_{N+1}, Y_{N+2}) шунтовых конденсаторных батарей преобразовательных подстанций, активные сопротивления (R_1, R_2) участков линии ППТ;

г) углы регулирования преобразовательных подстанций: минимальный угол погасания инвертора $\delta_{\min}$, минимальный угол опережения зажигания выпрямителя α , допустимый диапазон его изменения, заданный угол погасания инвертора промежуточной подстанции δ_i и мощность отбора S_N ППТ.

Являются искомыми: а) параметры $P_{z, \alpha}, Q_{z, \beta}, U_{z, \gamma}, \psi_{z, \delta}$ соответственно β, m, f, α узлов двух ($z = I, II$) энергосистем, включая параметры режима начала и конца ППТ;

б) параметры режима всех узлов ППТ, в том числе номера отпаек преобразовательных трансформаторов, обеспечивающих минимальные углы регулирования, действительный угол зажигания выпрямителя α , и т. д.

Допущения. Переменный ток и напряжение на зажимах преобразователей синусоидальны; выпрямленный ток идеально стабилен; не учитываются потери в преобразователях и конденсаторах;

вентили преобразователей идеальны, разброс в их зажигании отсутствует. Преобразователи работают в основном эксплуатационном режиме при горении вентилей преобразовательных мостов группами по два и по три (режим 2—3).

Расчетные уравнения. Уравнения у. р. многополюсников $z=I, II$ запишем следующим образом [3]:

$$\begin{aligned} P_{\alpha,\beta}^i &= P(\dots \Psi_{\alpha,\beta}^{i-1} \dots U_{\alpha,\beta}^{i-1}); \\ Q_{\alpha,\beta}^i &= Q(\dots \Psi_{\alpha,\beta}^{i-1} \dots U_{\alpha,\beta}^{i-1}); \\ \Psi_{\alpha,\beta}^i &= \Psi(\dots \Psi_{\alpha,\beta}^{i-1} \dots Q_{\alpha,\beta}^{i-1} \dots U_{\alpha,\beta}^{i-1}); \\ U_{\alpha,\beta}^i &= U(\dots \Psi_{\alpha,\beta}^{i-1} \dots U_{\alpha,\beta}^{i-1}), \end{aligned} \quad (1)$$

где $\alpha, \beta, m, f = 1 + n$; $\alpha \neq \beta$; $m \neq f$; $z = I, II$;

i — шаг внутренней итерации.

Уравнения передачи постоянного тока записываются с учетом возможности медленного регулирования ее режима при помощи изменения отпаяк преобразовательных трансформаторов на приемном и отправном концах, грубо обеспечивающих минимальные углы регулирования. Более точное регулирование режима передачи осуществляется работой инвертора по характеристике постоянства угла погасания и работой выпрямителя по характеристике постоянства выпрямленного тока.

В соответствии с минимальным углом погасания γ_a инвертора приемного конца передачи, поддерживаемого неизменным системой регулирования ППТ, угол γ_a коммутации инвертора вычисляется по формуле

$$\gamma_a^i = \sin \gamma_a^{i-1} [\cos (2\delta_a - \gamma_a^{i-1}) - \lg \varphi \sin (2\delta_a + \gamma_a^{i-1})], \quad (2)$$

где $\lg \varphi$ — коэффициент мощности на зажимах инвертора:

$$\lg \varphi = \frac{Q_{N+1}}{P_{N+1}},$$

причем, активная (P_{N+1}) и реактивная (Q_{N+1}) мощности приемного конца ППТ (рис. 2) определяются на основе расчета у. р. приемной энергосистемы $z=II$ с учетом соответствующих уравнений связи.

Переменное напряжение U_N на зажимах инвертора определяется по зависимости

$$U_N = \sqrt{\frac{2\pi x_{\Sigma} P_N}{3 \sin (2\delta_a - \gamma_a) \sin \gamma_a}}, \quad (3)$$

где x_{Σ} — индуктивное сопротивление контура коммутации инвертора.

Коэффициент трансформации инверторной подстанции, обеспечивающей работу инвертора с минимальным углом регулирования, находится как

$$K_{тн} = \frac{U_N}{U_{н.с}}, \quad (4)$$

где $U_{н.с}$ — напряжение узла связи системы $\varepsilon = II$ с ППТ.

В соответствии с заданным диапазоном регулирования и числа отнаек трансформатора приемного конца ППТ выбирается ближайшая стандартная отайка трансформатора, по которой корректируется напряжение узла связи системы $\varepsilon = II$ с ППТ.

Выпрямленный ток и напряжение приемного конца ППТ определяются по формулам:

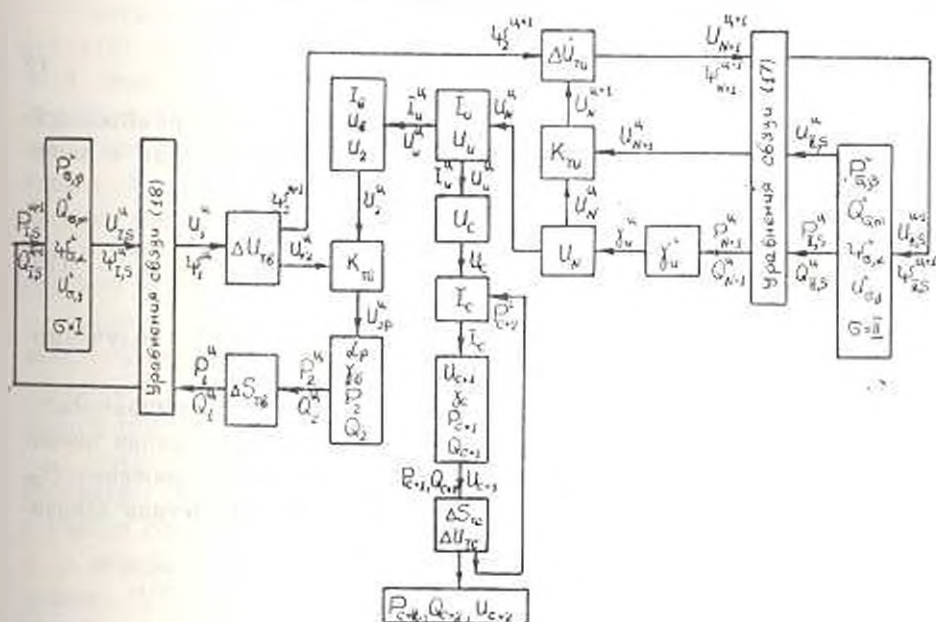
$$I_u = \frac{U_A}{\sqrt{2}x_{\gamma u}} \left| \cos \varphi_u - \cos (\varphi_u + \gamma_u) \right|; \quad (5)$$

$$U_u = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_A \cos \varphi_u - \frac{3}{\pi} x_{\gamma u} I_u. \quad (6)$$

Рассчитываются параметры режима промежуточной инверторной подстанции по нижеприведенным зависимостям.

Напряжение узла подключения отбора мощности ППТ

$$U_c = U_u + I_u R_2. \quad (7)$$



где I — постоянный ток нагрузки, уточняемый в ходе расчета,

$$I_c = \frac{P_{c-1} + \Delta P_{c-1}}{U_c},$$

Угол коммутации промежуточной преобразовательной подстанции

$$\gamma_c = -\beta_c + \arccos\left(\cos \beta_c - \frac{\sqrt{3}x_{12} I_c}{U_{c+1}}\right). \quad (9)$$

Активная и реактивная мощности на выходе инвертора

$$P_{c+1} = \frac{3U_{c+1}^2}{2\pi x_{12}} \sin(2\beta_c + \gamma_c) \sin \gamma_c$$

$$Q_{c+1} = \frac{3U_{c+1}^2}{2\pi x_{12}} \left[\gamma_c - \cos(2\beta_c + \gamma_c) \sin \gamma_c \right] \quad (10)$$

Напряжение на выходе выпрямителя отправного конца ППТ, определяемое исходя из минимального угла зажигания α выпрямителя,

$$U_b = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} \left(U_b + \frac{3}{\pi} x_{12} I_b \right), \quad (11)$$

где выпрямленный ток I_b и напряжение U_b равны:

$$I_b = I_u + I_c; \quad U_b = U_c + I_b R_{12}. \quad (12)$$

Коэффициент трансформации трансформатора выпрямительной подстанции, грубо обеспечивающей работу преобразователя с минимальным углом зажигания, определяется как:

$$K_{12} = \frac{U_1}{U_{1,1}}, \quad (13)$$

где $U_{1,1}$ — напряжение узла связи системы $\tau = 1$ с ППТ, получаемого из расчета у. р. многополюсника $\tau = 1$.

По выбранной стандартной отпайке трансформатора выпрямительной подстанции, исходя из заданного диапазона регулирования напряжения, определяется расчетное значение переменного напряжения U_{2p} выпрямительной подстанции, по которой уточняется расчетная величина угла зажигания зажигания выпрямителя

$$\cos \tau_p = \frac{\pi}{3\sqrt{2}U_{2p}} \left(U_b + \frac{3}{\pi} x_{12} I_b \right), \quad (14)$$

и затем и угол коммутации выпрямителя

$$\gamma_b = -\tau_p + \arccos\left(\cos \tau_p - \frac{\sqrt{2}x_{12} I_b}{U_{2p}}\right) \quad (15)$$

Активная и реактивная мощности, потребляемые выпрямителем, определяются по зависимостям:

$$P_2 = \frac{3U_{2f}^2}{2-x_{\gamma b}} \sin(2\alpha_p + \gamma_b) \sin \gamma_b;$$

$$Q_2 = \frac{3U_{2f}^2}{2-x_{\gamma b}} \left[\gamma_b - \cos(2\alpha_p + \gamma_b) \sin \gamma_b \right]; \quad (16)$$

и затем мощности P_1 и Q_1 на входе трансформатора преобразователя, рассчитываемых с учетом потерь в самом трансформаторе.

Уравнениями связи для приемного и отправного концов ППТ служат:

$$P_{N+1} = P_{n+1}, Q_{N+1} = -U_{n+1}^2 Y_{N+1} + Q_{n+1}, U_{N+1} = U_{n+1}, \Psi_{N+1} = \Psi_{n+1}; \quad (17)$$

$$P_1 = -P_{1,1}, Q_1 = -Q_{1,1}, U_1 = U_{1,1}, \Psi_1 = \Psi_{1,1}; \quad (18)$$

где I, s, II, s — индексы узлов отправного (I) и приемного (II) многополюсников, примыкающих к ППТ;

$1, N+1$ — индексы начала и конца ППТ.

Алгоритм расчета сводится к совместному решению уравнений (1)÷(18). Методом последовательных приближений по принципу Зенделя решается система уравнений (1), записанная для отправной энергосистемы $s=I$. При этом в качестве исходных параметров режима для узла связи $s=I$ с ППТ используются активная $P_{1,1}$ и реактивная $Q_{1,1}$ мощности, известные лишь в первом приближении. Аналогично рассчитывается у. р. приемной энергосистемы $s=II$, однако в узле связи $s=II$ с ППТ задаются параметры U_{n+1} и Ψ_{n+1} , значения которых могут быть приняты равными $U_{n+1} = U_{ном}$, $\Psi_{n+1} = 0$. Если приемная и передающая системы связаны лишь передачей постоянного тока, без шунтирующих связей по переменному току, то из-за развязки по частоте единая ось отсчета фаз комплексных напряжений для систем $s=I, II$ является условной.

Найденные в результате расчета у. р. многополюсников $s=I, II$ параметры режима их узлов связи используются в качестве исходных с учетом соответствующих уравнений связи (17) и (18) для расчета у. р. передачи постоянного тока. Полученные в результате расчета режима ППТ параметры режима узлов 1 и $N+1$ в свою очередь, также с учетом уравнений связи (17) и (18), используются в качестве исходных для расчета у. р. многополюсников $s=I, II$ во втором цикле итерации и т. д. до достижения сходимости. На рис. 1 показаны используемые для расчета многополюсников $s=I, II$ и ППТ параметры режима узлов связи, а также система параметров режима, используемая в согласованных расчетах режимов многополюсников и ППТ. С целью ускорения сходимости, начиная с третьего цикла, в

вводится поправочный коэффициент β по всем параметрам (U) узлов связи

$$U^{n+1} = U^n + \beta(U^{n+1} - U^n).$$

Величина коэффициента β зависит от хода протекания итерационного процесса, его диапазон изменения составляет $0,5 < \beta < 2$.

Расчет считается завершенным при достижении с заданной точностью баланса мощности в каждом из независимых узлов многополюсников $\pi = I, II$, дополнительно контролируются параметры режима ППТ. На рис. 2 приведена предлагаемая схема итерации по совместному решению уравнений многополюсников $\pi = I, II$ и ППТ.

Программа расчета. По предлагаемому алгоритму расчета составлена программа экспериментального назначения для ЭВМ семейства «Напри», позволяющая на наиболее мощной из этой серии — «Напри-3» — анализировать у.р. энергообъединения, включающего ППТ, при общем числе узлов до 300. При этом число промежуточных с ППТ отборов мощности не ограничивается. Выполненные по этой программе практические расчеты показывают стабильную сходимость итерации к искомому решению за 10–15 циклов итераций. Ввод коэффициента β значительно способствует уменьшению времени счета. В частных случаях, когда фиксируются модули напряжений в отдельных узлах преобразовательных подстанций, расчет сходится значительно быстрее. В разработанной программе имеется возможность (по ключу) автоматического изменения мощности шунтовых батарей конденсаторов, если не обеспечиваются заданные углы регулирования преобразовательных подстанций.

Пример расчета. Ниже приводятся результаты расчета у.р. двух энергосистем, связанных передачей постоянного тока. Приемная и передающая энергосистемы представлены в виде эквивалентных семиполюсников. Исходные параметры ППТ (рис. 1) приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Исходные параметры передачи постоянного тока

Наименования	Выпрямительная подстанция В	Инверторная подстанция И	Промежуточная подстанция С
Параметры трансформатора, <i>ом</i>	$R_{тв} = 0,5;$ $X_{тв} = 25$	$R_{тн} = 0,8;$ $X_{тн} = 47,5$	$R_{тс} = 2;$ $X_{тс} = 125$
Число отпиков	20	20	10
Пределы регулирования, %	± 10	± 10	± 5
Проводимость батарей шунтовых конденсаторов, <i>сим</i>	$Y_1 = 0,0022$	$Y_{n+1} = 0,0037$	$Y_c = 0,00138$
Минимальный угол запаздывания зажигания, <i>град</i>	$\alpha = 8,5$		
Минимальный угол зажигания, <i>град</i>		$\phi_{нн} = 15$	$\phi_{сн} = 15$
Сопротивления участков линии, <i>ом</i>	$R_1 = 10,5$ $R_2 = 5,25$		

Таблица 2

Результаты расчета установившегося режима

Системы	№М узелов	Параметры режима				Примечание
		P, Мвт	Q, Мвар	U, кВ	δ , град	
$\alpha = I$	1	543	363	230	0	узел баланса
	2	350	90,7	235	11,58	
	3	750	275,7	335	16,33	
	4	120	40	301,2	-8,65	
	5	180	70	208,9	-7,78	
	6	250	50	311,6	4	
	7	1042	20	483	-10,43	
$\alpha = II$	1	450	53,5	235	15,72	
	2	250	110	240	6,28	
	3	-280	-100	502,7	-0,22	
	4	-450	90	321,2	-5,95	
	5	-420	80	316,3	-6,78	
	6	-240	50	221,2	-2,88	
	7	710,9	174,7	511,6	2,28	
ПНТ	1	1042	501,1	483	-10,43	$K_{тв} = 1,05$
	2	1037,8	96,2	160	-4,37	$\gamma_n = 8,65$
	B	1037,8	0	636,7	—	$\gamma_n = 20,3$
	C	302	0	619,5	—	$\gamma_n = 21,27$
	C+1	302	120	517,8	-4,37	$I_n = 1160a$
	C+2	300	172	516	2,4	$I_n = 1630a$
	II	712,3	0	613,1	—	$I_n = 470a$
	N	712,3	357,7	511,8	-4,37	$\gamma_n = 20,58$
	N+1	710,9	-493,8	511,8	2,28	$K_{тв} = 1$

Заданные параметры режима — по два для каждого независимого узла многополюсников $\alpha = I, II$ — приводятся в табл. 2 (исходные параметры отмечены курсивом). Мощность промежуточного отбора мощности принята $S_{пн} = 300 + j 200$. Реактивная мощность, потребляемая промежуточной преобразовательной подстанцией и нагрузкой, покрывается местными источниками реактивной мощности. В табл. 2 приводятся результаты расчета у. р., полученные за 14 циклов итерации при заданном небалансе в узлах многополюсников $\alpha = I, II$ в 0,5 Мва. С третьего цикла итерации в расчет введен коэффициент $\beta = 0,5$. Общее число вычислительных операций оказалось равным 720 тыс.

Выводы

1. Предлагаемый алгоритм расчета у.р. двух энергосистем, связанных передачей постоянного тока с промежуточным отбором мощности, позволяет учесть как сложную структуру примыкающих энергосистем, так и конфигурацию и режим работы регулируемых преобразовательных подстанций ПНТ.

2. Выполненные практические расчеты по разработанной программе указывают на эффективность использования предлагаемого алгоритма.



ԶԵՆԻՏԱՆԻ ՄԻՈՑՄԱՐԸ ԶՈՐՈՐԹՅԱՆ ՄԵԶԱՆԵՑԱԼ ԱՌԻՄՍԻՎ ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ
ՀՈՍԱՆՔԻ ԳՅՈՎ ԳԼԹՎԱԾ ԵՐԿՈՒ ԷՆԵՐԳԷԼԱՍԿԱՐԿԵՐԻ
ԳԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ԻՋԵՐԻՆԻ ԶԱՆՎԱՐԿԻ

Ս. Ժ Վ Ո Վ Ո Ւ Մ

Հոգիածած առաջարկված է զուգահեռ միացմամբ հոդափայտի միջանկյալ առումով հաստատուն հասանքի գծով կապված երկու էներգամատակարարների կապակցված սեփմի հաշվարկի ալգորիթմը, որը հնարավորություն է տալիս հաշվի առնելու ինչպես կցված էներգամատակարարների բարդ կապակցվածքը, այնպես էլ կարգավորվող փոխակերպիչ էներգայանքների աշխատանքային սեփմները: Մշակված ձրագրով կատարված դործնական հաշվարկները հաստատում են առաջարկված ալգորիթմի կիրառության էֆեկտիվությունը:

Լ Ի Տ Ի Ր Ա Տ Ր Ա

1. Электрические системы под ред. Велкова В. А., т. III, 1972.
2. Пикер Л. В. Схемы и режимы электропередач постоянного тока, «Энергия», 1973.
3. Аджоу И. Դ. Алгоритм расчета установившегося режима энергосистемы с учетом нелинейных характеристик генераторов и нагрузок, «Электричество», № 2, 1970.
4. Качанова Н. А., Змелюк В. В. Программа расчета установившегося электрического режима энергосистемы с учетом статических характеристик нагрузок Г. «Применение вычислительных машин для анализа устойчивости и токов короткого замыкания в электрических системах», Киев, 1968.
5. Аджоу В. Դ. Метод расчета статических характеристик электропередач постоянного тока с учетом сложной структуры примыкающей энергосистемы. Изв. вост. IIIIIT, № 16, 1970.
6. Hingorani N. G., Nounford J. D., Simulation of h. v. d. c. systems in a. c. load-flow analysis by digital computers, «Proc. Inst. Electr. Eng.», 113, №9, 1966.
7. Horigome Takashi, Ito Noboru, Digitalcomputer method for the calculation of power flow in an a. c.—d. c. interconnected power system, «Proc. Inst. Electr. Eng.», 111, №6, 1964.

ЭНЕРГЕТИКА

Н. С. ХУРИНДОВ

К МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ
 ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В основе решения задачи перспективного планирования газотранспортных систем (ГТС) лежат алгоритмы расчета оптимального паритета магистрального газопровода (МГ) [1, 2 и др.], предъявляющие высокие требования к оперативной памяти и машинному времени ЭВМ.

Целью настоящей статьи является усовершенствование известных алгоритмов расчета оптимальных параметров МГ для снижения затрат машинного времени, путем обеспечения минимума числа переходов от теоретических параметров к стандартным.

Постановка задачи. Задаются: конфигурация линейной части (л. ч.) МГ с указанием числа участков (n), их длины (L_i), параметров существующих трубопроводов (d_i^c) и значения потоков газа по всем участкам (Q_i); допустимые пределы изменения давления газа в МГ ($p^{\min}$, $p^{\max}$) и предельно допустимая температура газа ($T^{\max}$); места расположения существующих и точки возможного строительства новых компрессорных станций (КС); сортамент труб [d_i], рекомендуемый для строительства л. ч. и его экономические показатели [c_i]; типы и параметры КС, рекомендуемых для строительства (реконструкции), КС и их экономические показатели.

Требуется найти, оптимальные сочетания труб на всех расчетных участках, с учетом существующей л. ч.; оптимальные технические решения по реконструкции существующих и строительству новых КС; распределение по трассе МГ давлений и температур и затраты на развитие МГ.

Поскольку уровни потребления и потоки газа заданы, варианты будут отличаться величинами затрат на транспорт газа, значениями давлений и температур газа в узловых точках. Поэтому, в качестве критерия оптимальности выбирается минимум приведенных затрат на развитие и эксплуатацию МГ, а в качестве основной переменной состояния — давление газа; учет температуры осуществляется тем, что варианты, не удовлетворяющие температурным условиям, исключаются из рассмотрения. В связи с этим, для развития вариантов, в узловых точках МГ принимаются m дискретных значений давления газа $p_j(i)$ из множества $p(i) \subset P$: $p(i) = [p_1(i), \dots, p_j(i), \dots, p_m(i)]$. Множество допустимых вариантов образуется в результате варьирования элементами $u_j(i)$ множества $u(i) \subset U$ управляющих воздействий. Последователь-

ность управлений $u(i)$, соответствующая последовательности состояний $p(i)$: $u(i) = [u_1(i), \dots, u_j(i), \dots, u_m(i)]$ как непрерывных, так и дискретных, характеризует, в зависимости от участка, число и диаметр труб газопровода, длины и диаметры лунок и вставок, точки расположения, гнты и параметры КС и др. Рассматриваемая задача представляет собой определение таких управляющих воздействий, при которых все потребители обеспечиваются заданными количествами газа при минимуме критериальной функции.

Расчетные уравнения и формулы. Сформулированная задача ставится как задача математического программирования. За критерий оптимальности принимается функция

$$Z^{\text{оп}}(U, P) = \min_{\{u(i)\}} \sum_{i=1}^n Z_i(u(i), p(i)), \quad (1)$$

где $Z^{\text{оп}}(U, P)$, $Z_i(u(i), p(i))$ — приведенные затраты на развитие, соответственно, всего МГ и его i -го участка.

Ограничения:

$$p^{\text{мин}} \leq p_j(i) \leq p^{\text{макс}}; T_j(i) \leq T^{\text{макс}}; j = 1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

В качестве математического аппарата для решения поставленной задачи используется метод динамического программирования.

Критериальная функция в случае линейного участка (л. у.) представляет собой величину приведенных затрат на строительство и эксплуатацию газопровода с эквивалентным диаметром $d_i^{\text{эк}}$ [3] из труб набора $\{d_k\}$, обеспечивающего, совместно с существующим на этом л. у. $d_j^{\text{с}}$, суммарный эквивалентный диаметр $D_i^{\text{эк}}$, который однозначно определяется при фиксированных давлениях на концах л. у. Величина $d_i^{\text{эк}}$ определяется как

$$(d_i^{\text{эк}})^{2.5} = (D_i^{\text{эк}})^{2.5} - (d_j^{\text{с}})^{2.5}. \quad (3)$$

В связи с дискретизацией состояния, вектору $p(i)$ будет соответствовать последовательность: $d_i^{\text{эк}} = [d_i^{\text{эк}(1)}(i), \dots, d_i^{\text{эк}(j)}(i), \dots, d_i^{\text{эк}(m)}(i)]$ и граф переходов $p(i-1) \rightarrow p(i)$. Выбрав политику построения варианта проектного решения л. у. [2], допустим, что с ростом $d_i^{\text{эк}(j)}(i)$ л. у. затраты на него монотонно возрастают. Введем обозначение:

$$\frac{d_i^{\text{эк}(j)}(i)}{d_k} = S_j(i) + r_j(i) \quad (j = 1, 2, \dots, m), \quad (4)$$

где d_k — величина максимального из набора диаметров $\{d_k\}$;

$S_j(i)$ — целая часть частного, представляющая собой число труб (ниток) диаметром d_k и длиной, равной длине л. у. l_i ;

$r_j(i)$ — оставшаяся (дробная) часть частного.

Введем непрерывную функцию $z = z(d_i^{\text{эк}})$, выражающую приведенные затраты на л. у. МГ единичной длины при прокладке на нем

газопровода с эквивалентным диаметром $0 \leq d^{*n} \leq d_k$. В соответствии с выбранной полигонкой, при значениях d^{*n} , разных $d_1, \dots, d_k$ из $\{d_i\}$ z будет принимать последовательно значения $c_1, \dots, c_k$ из $\{c_i\}$ (при строительстве нового л. у., т. е. $d_i^n = 0$, и при $S_f(i) = 0$, значения $c_1, \dots, c_k$ выбираются соответствующими первой нитке). Считая $d_1, \dots, d_k$ узлами интерполяции, функцию $z = z(d^{*n})$ аналитически представляем в виде интерполяционного полинома Лагранжа, т. е. на отрезке $[0, d_k]$ любому значению d^{*n} поставим в соответствие определенную величину приведенных затрат z^{*n} . Если $d^{*n} > d_k$, т. е. имеем вариант многониточного л. у., для i -го участка имеем:

а) в случае вновь строящегося участка

$$z_{ij} = [(S_f(i) - 1)c_k + c_k^1 + 3z_{ij}^{*n}] l_i, \quad (5)$$

б) в случае реконструкции участка

$$z_{ij} = (S_f(i)c_k + 3z_{ij}^{*n}) l_i, \quad (6)$$

где c_k^1 и c_k — затраты на газопровод диаметром d_k единичной длины, соответственно, для первой и последующих ниток.

Функции затрат в случае отводов (подводов) z^{*n} могут быть найдены аналогично (5) и (6). Выбор оптимальных планов строительства (реконструкции) КС осуществляется направленным последовательным перебором типов и параметров КС [2]. В последующих расчетах информация о КС задается в виде семейства технико-экономических характеристик:

$$z_i^{*n} = f_i(Q_i, p(i)),$$

где Q_i — производительность КС;

$p(i)$ — вектор состояний (давлений) на входе КС;

z_{ij}^{*n} — затраты на i -ую КС при давлении на входе, равном $p_j(i)$:

$$z_i^{*n} = (z_{i1}^{*n}, \dots, z_{ij}^{*n}, \dots, z_{im}^{*n}).$$

При заданном Q_i $z_i^{*n} = f_i(p(i))$.

С целью сочетания решений отдельных участков МГ введем функцию затрат $\Phi_i(u(i), p(i))$; в случае л. у. компонентами $u(i)$ являются величины $d_j^{*n}(i)$, т. е. в случае л. у. $\Phi_{ij}(u(i), p(i)) = z_{ij}$.

Поставим задачу минимизации

$$\Phi^{*n}(U, P) = \min_{|u(i)|} \sum_{i=1}^n \Phi_i(u(i), p(i)) \quad (7)$$

при ограничениях (2).

Отличием задачи (7), (2) от задачи (1), (2) является непрерывность компонент аргумента $u(i)$ функции Φ_i и в случае л. у., что сильно облегчает процесс вычисления этой функции. Минимизация (7) осу-

ществляется методом динамического программирования с помощью рекуррентного соотношения

$$\Phi_i^*(p(i)) = \min_{u(i)} [\Phi_i(u(i), p(i)) + \Phi_{i-1}^*(p(i-1))], \quad (8)$$

где $\Phi_i^*(p(i))$ — функция (Беллмана) минимальных суммарных затрат на i участков от начала МГ.

В результате минимизации (7), соответственно заданным ограничениям, выбирается траектория:

$$p^* = [p_1^*, \dots, p_i^*, \dots, p_k^*], \quad (9)$$

т. е. значения давлений газа в узловых точках МГ, по которым минимизируется $\Phi^*(U, P)$. Указанная траектория получена при допущении непрерывности значений диаметров труб на отрезке $[0, d_k]$. Чтобы уменьшить погрешность, допускаемую при определении оптимальной траектории, необходимо учесть дискретность значений диаметров сортамента труб. Для этого следует определить степень приближения $\tilde{z}$ полинома Лагранжа к кривой нормативных затрат на газопровод единичной длины с эквивалентным диаметром, равным d^{*kn} , причем $0 \leq d^{*kn} \leq d_k$. Развивая варианты, согласно политике [2], решение i -го л. у. можно рассматривать, в общем случае, как сложный многоинточный л. у. с дугингами или вставками. Если представить такой л. у. как совокупность отрезков с неизменными по длине каждого отрезка эквивалентными диаметрами, тогда весь л. у. разбивается на два отрезка различной длины: l_{i1} и $l_{i2} = l_i - l_{i1}$ (если нет дугингов или вставок $l_{i2} = 0$). Эквивалентный диаметр такого сложного л. у., реализованного из труб набора $[d_1]$, определится так:

$$d_j^{*kn}(i) = \left[l_i \left(\frac{l_{i1}}{\left(\sum_{j=1}^{S_1} d_j^{2,0} \right)^2} + \frac{l_{i2}}{\left(\sum_{j=1}^{S_2} d_j^{2,0} \right)^2} \right) \right]^{-0.5}, \quad (10)$$

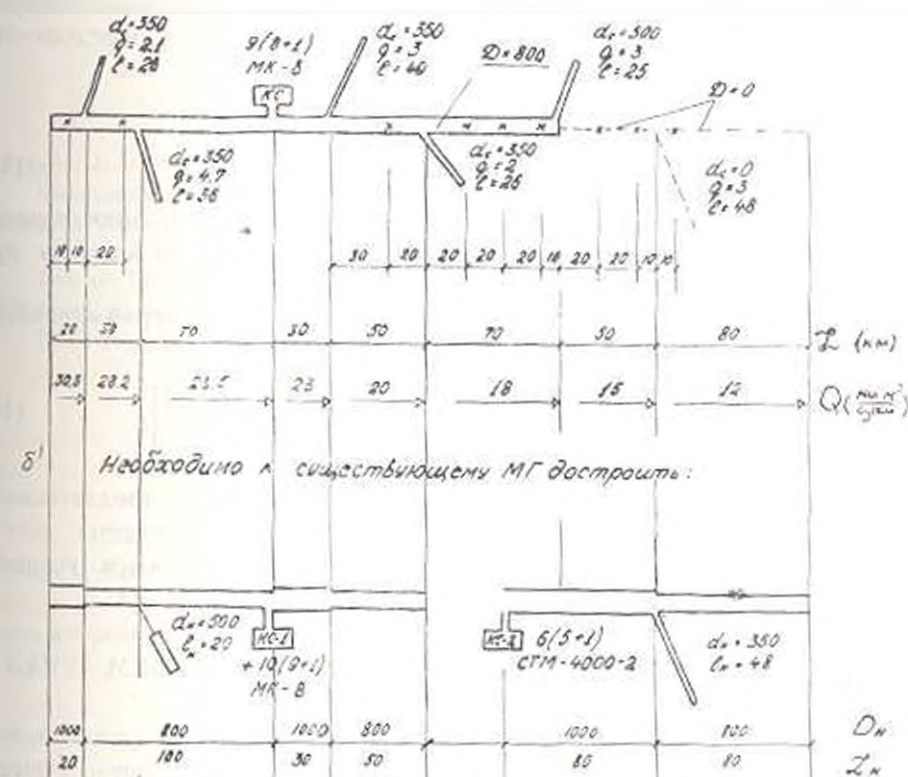
где S_1 и S_2 — число пиков, уложенных, соответственно, на первом и втором отрезках i -го л. у.

Затраты на такой участок определятся из выражения

$$Z_j(i) = l_{i1} \sum_{j=1}^{S_1} c_j + l_{i2} \sum_{j=1}^{S_2} c_j. \quad (11)$$

Машинный эксперимент, проведенный для большого числа возможных наборов $[d_1]$ из труб, используемых отечественной газовой промышленностью (РТМ 1035—72), показал высокую степень приближения кривой нормативных затрат, построенной на основе (10) и (11), к интерполированной функции $z = z(d^{*kn})$. Наибольшая погрешность $\tilde{z}$, которая имела место при максимальной «разреженности» $[d_1]$, не превышала $\tilde{z} \approx 7\%$. Погрешность траектории δp , связанная с погрешностью приближения $\tilde{z}$, определится как

а) Существующий МГ



Необходимо к существующему МГ достроить:

б) Диаграмма давлений в узловых точках МГ

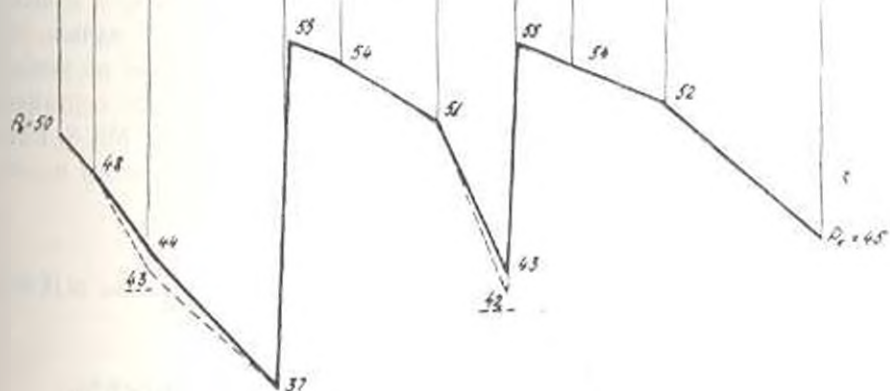


Рис. 1. К примеру расчета (ширины обозначения: Q и q — котки газа, соответственно, в МГ и отводах; L и l — длины отрезков МГ и отводов; D_n и d_n — диаметры существующих труб МГ и отводов, D_n и d_n — диаметры новых труб, которые необходимо проложить на отрезках, соответственно, МГ и отводов).

$$\Delta p = (p^{(n)} - p^{(n-1)}) \delta, \quad (12)$$

Таким образом, учтя допускемую погрешность, возможно из множества выделить подмножества $[p^*(i)]$, по значениям которых минимизируется $Z^m(U, P)$. Границы подмножеств $[p^*(i)]$ определяются исходя из траектории (9):

$$\begin{aligned} \sup p^*(i) &= p_i^* + \Delta p \\ \inf p^*(i) &= p_i^* - \Delta p \end{aligned} \quad (13)$$

Мощность подмножества $[p^*(i)]$ значительно меньше мощности множества P , что и определяет существенный выигрыш во времени при решении задачи.

Функциональное уравнение динамического программирования для решения задачи (1), (2):

$$Z_i^m(p(i)) = \min_{\substack{u(i) \\ p(i) \in P(i)}} [Z_i(u(i), p(i)) + Z_{i-1}^m(p(i-1))]. \quad (14)$$

Два этапа расчета являются особенностью предлагаемого алгоритма. На первом этапе для заданного $[d_i]$ определяется интерполяционный полином, минимизируется (7) и формируются границы $[p^*(i)]$, согласно (13). На втором этапе минимизируется (1).

Программа расчета по предложенной методике составлена на алгоритмическом языке ФОРТРАН-IV и реализована на ЭВМ «УРАЛ-11Д».

В качестве примера приводится случай развития МГ (всего восемь участков с КС). На рис. 1а сплошными линиями обозначено существующее оборудование, пунктирными — проектируемые газопроводы, крестиками — места возможного строительства новых КС. На рис. 1б показано то оборудование, которое должно быть построено к существующему, чтобы обеспечить заданные потоки. Давление в начале МГ принималось равным 50 атм, в конце МГ — 45 атм. Давление на концах отводов принималось 20 атм. Заданными также являлись сортамент труб — 350, 500, 700, 800 и 1000 мм, типы и параметры КС: МК-8, ГТК-10, СГМ-4000, СГМ-6000. Машинное время на решение этого примера составило 12 мин (вместо 35 мин по обычной методике).

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гравитационно-комплексный отдел

Получено 28.IX.1974.

В. П. КОРЕШОВИЧ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊԱՐՏԱՄԵՆՏԻ ՎԵՐԱԵՐԵՍԱԼ

И л и ф и н а н с

Առաջարկվում է զաղապար համակարգերի օգտին աշխատանքները որպես կատարելագործված մեխոզ, որը հիմնված է դինամիկ ծրագրավորման ապարատի օգտագործման վրա:

Արձանկյալ օդափմալ հաշտանիշ մաքնելլր բերում է մերենալաղան մա-
մանակի կտրուկ իջեցում: Բերված են տվյալներ առաջարկված ալգորիթին
իրագործող **FORTRAN** ծրայրի մասին:

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухарев М. Г., Сиварюцкий Г. Р. Расчеты систем транспорта газа с помощью на-
лических машин. Изд. «Недра», М., 1971.
2. Кудрина Л. Б., Бидулина Я. М. Определение оптимальных технических решений
систем линейных магистральных газопроводов при стационарном течении газа.
Реф. сб. ЭО ВНИИгазпрома, № 4, 1968.
3. Волоский Э. А., Константинова Н. М. Режим работы магистрального газопровода.
Изд. «Недра», Ленинград, 1970.

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

А. С. ВОЛЬМЕР, Е. А. ВОЛЬМЕР

УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПЛАСТИНОК И ПОЛОГОВ ОБОЛОЧЕК ПРИ ИМПУЛЬСНОМ НАГРУЖЕНИИ

Особенности поведения оболочек при динамических воздействиях были впервые отмечены М. А. Гаврентьевым и А. Ю. Никитским [8]. В работе Э. Н. Григolia [7] исследованы нелинейные колебания пологой круговой цилиндрической панели.

В применении к круговым цилиндрическим панелям, подвергающимся осевому сжатию, динамическая задача с позиций нелинейной теории рассмотрена в [2]. При аппроксимации начального и полного прогиба предполагалось, что панель выпучивается по каждому из направлений по одной полуовале. Принималось, что нагрузка возрастает пропорционально времени. Был исследован процесс бурного выпучивания и последующие нелинейные колебания и выявлено различие между поведением пластинки и искривленной панели. Для вычислений была применена аналоговая машина.

Более точное решение задачи о выпучивании пологой цилиндрической панели с помощью метода конечных разностей дано в работе [1], где конкретные вычисления выполнены для шарнирно опертой по краям квадратной пластинки с начальным прогибом, подвергающейся динамическому сжатию в одном направлении.

Выпучивание пластинок и круговых цилиндрических панелей под действием осевого динамического сжатия с учетом появления высших форм потери устойчивости рассмотрено в [1]. В работе [5] исследована зависимость между параметром приложенной нагрузки и импульсом нагрузки, при котором достигаются те или иные «опасные» значения прогибов.

Однако до сих пор устойчивость панелей при динамическом нагружении изучалась в предположении, что деформации материала лежат в пределах действия закона Гука. Между тем, экспериментальные данные [9] указывают на то, что во многих случаях динамическое нагружение ведет к возникновению упруго-пластических деформаций.

В настоящей статье рассматривается прямоугольная в плане полая круговая цилиндрическая панель в предположении, что она подвергается динамическому сжатию вдоль образующей. Считается, что пластические свойства материала проявляются лишь в направлении основного напряжения в срединной поверхности. Используется теория малых упруго-пластических деформаций. В исходных уравнениях учитывает-

ся лишь инерционный член, соответствующий нормальному прогибу панели.

Определяется зависимость между интенсивностью нагрузки и импульсом, при котором достигаются те или иные, наперед заданные, значения прогибов.

Основные уравнения выписываются в виде [3]:

$$\frac{D}{h} \varphi_c \left(\frac{1+3\nu_0}{4} \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4} \right) (\omega - \omega_0) = L(\omega, \Phi) +$$

$$+ \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} - \frac{\gamma}{g} \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2}; \quad (1)$$

$$\frac{1}{E} \left[\left(\frac{3}{4} + \frac{1}{4\nu_0} \right) \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^4} + \left(3 - \frac{1}{\nu_0} \right) \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{1}{\nu_0} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial y^4} \right] =$$

$$= -\varphi_c \left[\frac{1}{2} L(\omega, \omega) - \frac{1}{2} L(\omega_0, \omega_0) + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right], \quad (2)$$

где $\omega_0(x, y)$ и $\omega(x, y, t)$ — начальный и полный прогибы; h, R — толщина и радиус срединной поверхности панели; D — цилиндрическая жесткость, содержащая модуль упругости E ; γ — удельный вес материала; Φ — функция напряжений в срединной поверхности; $L(\omega, \Phi)$ — известный билинейный оператор. Координатные линии x и y направлены по образующей и по дуге поперечного сечения срединной поверхности. Параметры $\varphi_c = E_c/E$ и $\varphi_k = E_k/E$ характеризуют связь секущего E_c и касательного E_k модулей с модулем упругости E ; принято $\nu_0 = \varphi_k/\varphi_c$. Предполагается, что секущий и касательный модули являются функциями лишь средней интенсивности напряжений в срединной поверхности.

Сравнение результатов вычислений, проводившихся в [6] с помощью методов Бубнова—Галеркина и конечно-разностного для аналогичной задачи, но лишь в упругой области, показали, что зависимость прогиба центральной точки панели от времени с достаточной точностью описывается методом Бубнова—Галеркина. Поэтому здесь используется тот же приближенный путь решения, что и в [4, 5].

С учетом граничных условий шарнирного опирания в качестве аппроксимирующих функций для полного и начального прогибов выбираются выражения:

$$\omega = f \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}; \quad \omega_0 = f_0 \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}, \quad (3)$$

где m — число полуволн вдоль образующей a ; n — число полуволн по дуге b .

В предположении о том, что нагрузка может задаваться произвольной функцией

$$p = W(t), \quad (4)$$

с помощью процедуры Панковича задача сводится к решению обыкновенного дифференциального уравнения

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \zeta}{d\tau^2} = & \left(\frac{m}{i} \right)^2 \psi(\zeta) \zeta - (\zeta - \zeta_0) \left\{ \frac{1}{16} \varphi_c (1 + 3\lambda_0) \left(\frac{m}{i} \right)^4 + \frac{1}{2} \varphi_c \frac{m^2 n^2}{i^2} + \right. \\ & + \frac{1}{4} \varphi_c n^4 + \frac{3}{16} (1 - \mu^2) \varphi_k \left[\left(\frac{m}{i} \right)^4 + \frac{4n^4}{3\lambda_0 + 1} \right] \zeta (\zeta + \zeta_0) + \\ & \left. + 3(1 - \mu^2) \varphi_c \frac{1}{\pi^4} \frac{m^2 k^2}{m^2 \left(\frac{3}{4} + \frac{1}{4\lambda_0} \right) + i^2 n^2 \left(3 - \frac{1}{\lambda_0} \right) + \frac{i^4 n^4}{m^2 i_0}} \right\} + \\ & + \alpha \frac{1 - \mu^2}{\pi^4} (\zeta - \zeta_0) \left\{ 8 \varphi_k \frac{1}{3\lambda_0 + 1} \frac{nk}{m} (\zeta + \zeta_0) + \right. \\ & \left. + 32 \varphi_c \frac{k m n}{m^2 \left(\frac{3}{4} + \frac{1}{4\lambda_0} \right) + i^2 n^2 \left(3 - \frac{1}{\lambda_0} \right) + \frac{i^4 n^4}{m^2 i_0}} \right\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь $\zeta = f/h$ и $\zeta_0 = f_0/h$ характеризуют полный и начальный прогибы, $i = a/b$ — форму панели, $k = b^2/Rh$ — параметр кривизны. Коэффициент α равен 1, если m и n нечетные, и $\alpha = 0$, если хотя бы один из этих параметров четный. Введены безразмерные параметры времени

$$\tau = t / \sqrt{\frac{\pi^3 E g h^3}{3(1 - \mu^2) i b^4}} \quad (6)$$

и нагрузки

$$\psi(\zeta) = p \left(\frac{1}{i} \right)^2 \frac{3(1 - \mu^2)}{\pi^2 E}, \quad (7)$$

где $\psi = n/b$.

Начальные условия задаются в следующем виде:

$$\begin{aligned} \zeta &= \zeta_0 \\ \frac{d\zeta}{d\tau} &= 0 \quad \text{при } \tau = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Решение уравнения (5) проводится на ЭВМ БЭСМ-6 с помощью метода Рунге—Кутты. Расчетные параметры φ_c , φ_k и μ берутся из диаграммы сжатия для дюралюминия Д16Т.

Изучаются следующие законы приложения нагрузки (7): ступенчатый

$$\psi = \begin{cases} \psi_0 & \text{при } \tau \leq \tau_0 \\ 0 & \tau > \tau_0 \end{cases} \quad (9)$$

и экспоненциальный

$$\dot{\epsilon} = A e^{\lambda \psi} \quad (10)$$

Находятся зависимости стрелы прогиба от времени ψ , отвечающие разным числам полуволи по образующей m и вдоль дуги n . Считается, что в каждый момент времени в процессе выпучивания реализуется то число полуволи, которому соответствует кривая, лежащая ближе всего к оси ординат; таким образом, в некоторых случаях наблюдается перестройка волнообразования и уменьшение "критического" числа полуволи по образующей со временем. Вычисления показали, что во всех рассмотренных примерах по ширине образуется лишь одна полуволя.

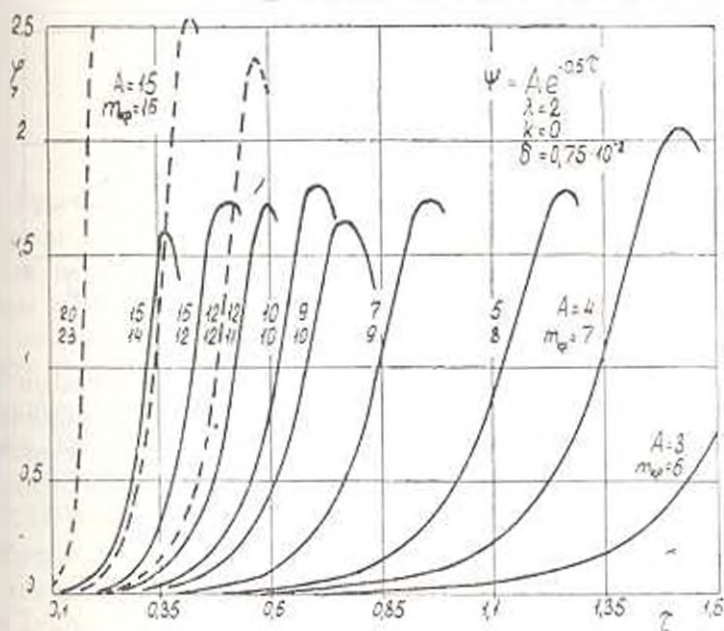


Рис. 1

На рис. 1 представлены результаты для плоской удлиненной ($\lambda=2$) пластинки с параметром $\delta=0,0075$, подвергающаяся действию экспоненциальной нагрузки $\dot{\epsilon} = A e^{\lambda \psi}$. Кривые соответствуют различным значениям параметра нагрузки A ; указаны соответствующие критические числа полуволи m вдоль образующей. С уменьшением параметра A процесс выпучивания затягивается. Сплошными линиями изображены кривые, полученные в предположении о применимости закона Гука, штриховыми — из решения уравнения (5). Для $A < 12$ и другие кривые совпадают — напряжения в материале не превосходят предела пропорциональности. Судя по полученным данным, выпучивание панелей в упруго-пластической стадии происходит значительно раньше, чем для идеально упругого материала. От-

метим, что в первом случае критическое число полуволн выше, чем во втором; это обстоятельство подтверждается экспериментальными данными [9].

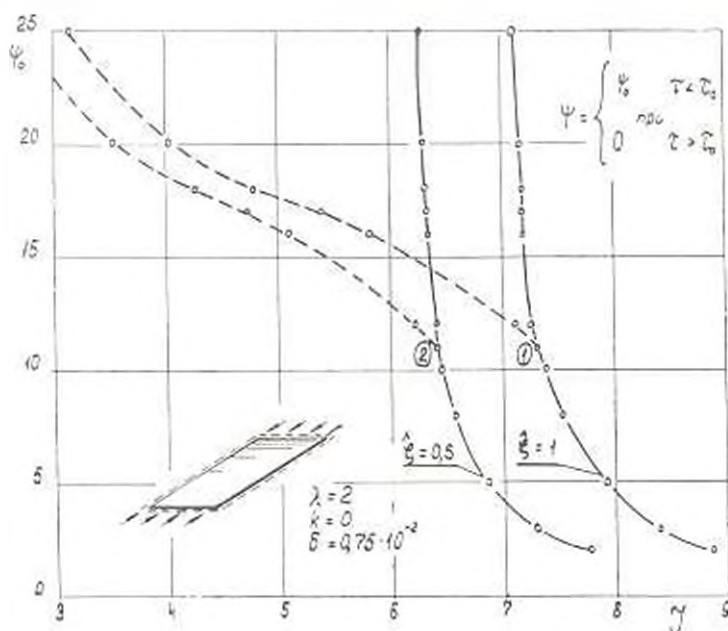


Рис. 2

Зависимость между параметром нагрузки ψ и импульсом $I = \int \psi dt$, при котором прогибы достигают некоторых, наперед заданных, значений, приведена на рис. 2. В данном случае нагрузка считалась изменяющейся по ступенчатому закону (9.) Вычисления проводились для удлиненной ($\lambda = 2$) пластинки с параметром $\delta = 0,0075$. Здесь, сплошные линии также отмечают идеально упругому материалу, а штриховые — упруго-пластическому. Для $\psi \leq 11$ оба решения совпадают. Кривые 1 отвечают предельному прогибу, равному толщине

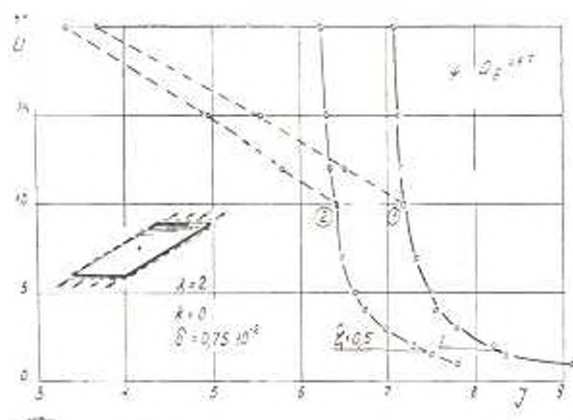


Рис. 3

пластинки $\psi = 1$, а кривые 2 — прогибу, равному половине толщины $\psi = 0,5$. Как видим, воспринимаемый пластической импульс для упруго-пластического материала резко снижается.

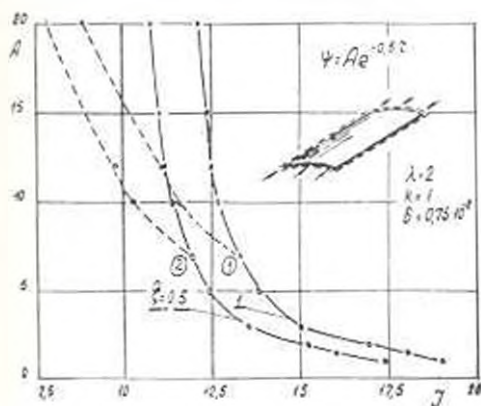


Рис. 4.

На рисунках 3 и 4 отражена зависимость между параметром ψ и импульсом J в случае экспоненциального приложения нагрузки [на рис. 3 для удлиненной ($\lambda = 2$) пластинки, а на рис. 4 для панели той же формы и плане с параметром кривизны $k = 1$]. Отношение толщины к меньшей стороне панели в обоих случаях принято равным $\delta = 0,0075$. Судя по полученным данным, при наличии даже незначительной кривизны воспринимаемый панелью импульс резко возрастает.

Таким образом, в данной работе выявлены особенности поведения плоских и искривленных панелей при действии импульсивной нагрузки с учетом упруго-пластических свойств материала.

Поступило 29.VII.1975.

А. И. АНДРИЕВ, Б. А. АНДРИЕВ

ԹԻՔԵՂԱՆՈՆԵՐԻ ԵՎ ՍԱԿԱՎԱԹԵՔ ԹԱՎԱՆԹՆԵՐԻ ԱՌԱՋԳԱՊԱՍՏԻԿԱԿԱՆ ԱՇԽԱՏԱԶԵՎՐ ԻՄՊՈՒՂՈՒՎ ԲԵՌՆԱՎՈՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում հետազոտված են հարթ և կորացված շրջանային դաշտաձև պանելների աշխատանքի առանձնահատկությունները դեֆորմացիաների առաձգա-պլաստիկական տիրույթում՝ երբ իմպուլսով բեռնվածքն ազդում է կազմիչի ուղղությամբ, ժողագործված է դեֆորմացիոն առաջնությունը, ընդգծված են իմպուլսի և բեռնվածքի պարամետրի միջև եղած կախումները՝ սեղմող ուժի բոլոր ժամանակի փոփոխման տարրերը օրենքների համար:

ЛИТЕРАТУРА

1. Биркган А. Ю., Вольмир А. С. Исследование динамической устойчивости пластинки с помощью электронных цифровых машин. ДАН СССР, 135, № 5, 1960.
2. Вольмир А. С. Об устойчивости цилиндрических оболочек при динамическом нагружении. ДАН СССР, 128, № 5, 1968.
3. Вольмир А. С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек. М., «Наука», 1972.
4. Вольмир Е. А. Вынуждение пластинок и цилиндрических панелей под действием осевого динамического сжатия. «Известия АН АрмССР (серия I. II.)», том XXIV, № 4, 1971.
5. Вольмир Е. А. Поведение круговой цилиндрической панели, подвергающейся действию осевого динамического сжатия. ДАН СССР, 201, № 6, 1971.
6. Вольмир Е. А. Поведение цилиндрических панелей при динамических воздействиях. Кандидатская диссертация. МАН, 1972.
7. Григорьев А. Н. О колебательных процессах круговой цилиндрической панели, работающей на конечные прогибы. «Прикл. мат. и мех.», 19, № 3, 1955.
8. Тюрингевел М. А., Ишлинский А. Ю. Динамические формы потери устойчивости упругих систем. ДАН СССР, 64, № 6, 1949.
9. Сидоритов Я. Л. Экспериментальное исследование поведения цилиндрических оболочек при динамических нагрузках. «Проблемы прочности», № 9, 1972.

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Э. А. ТОРОСЯН, С. Э. БОКШЕГГИН, С. С. ГИЗЬБЕРГ

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА ЭФФЕКТ
НАСЛЕДСТВЕННОСТИ В НИКЕЛЕ

Постановка вопроса. Реальным металлам и сплавам присущ эффект «наследственности», заключающийся в своеобразной памяти—зависимости структуры и свойств металла, прошедшего термическую обработку, не только от настоящего, но и от исходного состояния, от его истории. Этот эффект проявляется, в частности, в том, что в структуре металла после холодной деформации и рекристаллизационного отжига можно с помощью различных методов обнаружить границы старых зерен, существовавших до рекристаллизации [1—3].

Обнаружение наследственных границ связано с большими экспериментальными сложностями. Большинство ранее применявшихся методов: химическое, вакуумное и термическое травление, облучение ультрафиолетом,—требует подбора специфических условий выявления наследственных границ в каждом конкретном случае и не всегда приводит к ясным результатам. Наиболее перспективной в этой связи является методика, использующая диффузию радиоактивных атомов и последующее автордиографическое исследование.

Как и любые неравновесные дефекты, наследственные границы обладают повышенной диффузионной проницаемостью. Поэтому, на автордиограммах, полученных после диффузионного отжига рекристаллизованного металла с радиоактивным покрытием, могут быть обнаружены изображения границ как новых, так и старых зерен. Наличие последних и указывает на эффект наследственности. Эта методика была использована ранее для исследования наследственности в железе, никобии, олове и т. д.; высказывалось предположение, что, во всяком случае, одним из факторов, обуславливающих эффект, является влияние примесей или легирующих элементов, обогащающих границы зерен.

Цель настоящей работы—оценка влияния наиболее распространенных легирующих элементов на эффект наследственности и диффузионные характеристики. Исследовали никель технической чистоты и сплавы на его основе (см. табл. 1). Составы сплавов характеризуют различные случаи взаимодействия легирующего элемента с основой. Сплавы никеля с кобальтом, вольфрамом, 0,48% алюминия и молибденом—твердые растворы при всех температурах эксперимента. Содержание 5,19% алюминия в сплаве находится на пределе растворимости при температуре 550—600°C, так что при некоторых температурах эксперимента может происходить дисперсионное твердение или деформационное ста-

рение. Сплав с бором характеризуется переменной растворимостью бора и является двухфазным вплоть до высоких температур (по нашим данным—до 1100°C). В сплаве с церием, как показывает металлографический анализ, легирующий элемент находится на границах зерен, то-е-видимому, в виде окислов при всех температурах эксперимента.

Методика эксперимента. Из слитков никеля и его сплавов, выплавленных в вакуумной индукционной печи, горячей ковкой получали квадратные прутки 14×14 мм. После предварительного отжига прутков при 1050°C (8 часов) их деформировали при комнатной температуре осадкой на молоте со степенью деформации 40% и подвергали промежуточному отжигу различной продолжительности при температуре 300–1150°C.

Таблица 1

Химические составы никеля технической чистоты и бинарных никелевых сплавов (содержание элементов в % весовых)

Ni	C	Cu	Fe	Al	W	Co	Mo	B	S	Ce
Основа	0.027	0.015	0.037	0.15	—	—	—	—	0.011	—
„	0.047	0.015	≤0.01	0.18	—	9.92 (9.92)*	—	—	0.012	—
„	0.033	0.016	0.067	0.13	—	—	—	—	0.011	0.020 (0.0084)*
„	0.021	0.014	0.017	0.16	4.95 (1.7)	—	—	—	0.012	—
„	0.026	0.020	0.049	0.20	—	—	—	0.10 (0.55)*	0.012	—
„	0.030	0.017	0.040	0.48 (1.1)	—	—	—	—	0.009	—
„	0.015	0.016	≤0.01	5.9 (11.8)*	—	—	—	—	0.010	—
„	0.009	0.048	0.01	0.14	—	—	8.86 (6.0)*	—	0.008	—

(*) — содержание легирующих элементов в % атомных.

На различных стадиях обработки из прутков вырезали образцы для диффузионных экспериментов—после предварительного отжига (А), после осадки (Б), после промежуточного отжига (В). В двух последних случаях вырезали образцы 2 типов—«продольные» (с рабочей поверхностью ориентированной параллельно направлениюковки) и «поперечные» (перпендикулярная ориентация). На всех видах образцов измеряли твердость $H_{R_{0.05}}$ на приборе Роквелла.

Методика диффузионных экспериментов включала: подготовку рабочей поверхности (приготовление микрошлифа, электрополировку в 60% растворе H_2SO_4 при 50–60 в с танталовым катодом), нанесение радиоактивного никеля—63 (гальванически из ванны, содержащей в 1 л 220 мл HCl плотностью 1,19; 240 г $NiCl_2$ и 40 милликюри ^{63}Ni)*, диффузионный отжиг (в вакуумированных ампулах, температура 300–1150°C, продолжительность 1–70 часов), определение коэффи-

* Покрытие, нанесенное в течение 1–3 минут при плотности тока 0,5–1 а/см², имеет толщину менее 0,1 мкм и активность 30000 а.мк/см² мин. Анодом служила фольга из технически чистого никеля.

инента самодиффузии ^{63}Ni (абсорбционным методом — по убыли активности при отжиге)*, электрополировки (до удаления слоя объемной самодиффузии), травление и автораднографическое исследование.

Автораднографическое исследование проводили методом контактной и электронно-микроскопической автораднографии. Контактные автораднограммы получали путем экспонирования образцов на пленке типа «М» НИКФИ в течение 1—3 суток при пониженной температуре и влажности; пленку проявляли в проявителе А-108 и фиксировали в 40% растворе тиосульфата. Контактные автораднограммы исследовали в оптическом микроскопе и фотометрировали на приборе МФ1. Исследование методом электронно-микроскопической автораднографии включало: обезжиривание поверхности образцов, нанесение (и отщепление хромом) угольной реплики, полив ядерной эмульсии типа «М» (разведенной тремя объемами воды) при 36°C, экспозицию (при 0°C и условиях пониженной влажности), проявление (в А-108 или особо мелкозернистом проявителе), фиксирование (в 2—4% растворе тиосульфата), нанесение на автораднограмму-реплику расплавленной желатины (при температуре 40°C), сушка, отделение препарата от образца, растворение желатины (в 2N растворе щелочи), монтирование автораднограммы-реплики на сеточки или бленду, исследование в электронном микроскопе.

Таким образом, были получены усредненные (коэффициенты диффузии) и локальные (автораднографические) диффузионные характеристики образцов трех типов—А, Б, В. Первые из них характеризуют диффузию в никеле и его сплавах, находящихся в равновесном состоянии, вторые—различные диффузионные процессы, протекающие при позврате, полигонизации и рекристаллизации (включая и вклад явления наследственности), третьи—влияние собственно наследственных эффектов на интенсивность и топографию диффузионных потоков в рекристаллизованных сплавах на основе никеля.

Результаты исследования и их обсуждение. Температурный интервал, исследованный в работе (300—1150°C), включает области как выше, так и ниже температуры рекристаллизации сплавов. Из данных измерения твердости после промежуточного отжига при различных температурах следует, что уже при 700°C рекристаллизация в сплавах протекает или завершилась: различные сплавы находятся на различных стадиях процесса рекристаллизации. Поэтому, автораднограммы, полученные при одной и той же температуре диффузионного отжига, характеризуют влияние легирования не только на природу и расположение путей повышенной диффузионной проницаемости, но и на температурный уровень рекристаллизации.

В никеле технической частоты рекристаллизация протекает уже при 450°C. Здесь явление наследственности выражено наименее ярко—

* Влияние явления наследственности на диффузионные характеристики сплавов на основе никеля будет рассмотрено в одной из следующих публикаций.

после промежуточного отжига вплоть до 700°C плотность почернения наследственных границ невелика, а начиная с 700°C и выше автораддиографически обнаруживаются лишь границы новых зерен, т. е. наследственные границы «залечиваются» полностью.



Рис. 1. Самодиффузия ^{63}Al в сплав $\text{Ni}-10\%\text{Co}$ (холодная деформация 40%, предварительный отжиг при 700°C —7 часов; диффузионный отжиг 700°C —3 часа). Контактная автораддиограмма, $\times 50$.



Рис. 2. Самодиффузия ^{63}Ni в сплав $\text{Ni}-0,5\%\text{Al}$ (холодная деформация 10%)

а) предварительный отжиг 700°C —7 часов,

б) диффузионный отжиг 700°C —3 часа.

Контактные автораддиограмма, $\times 50$.

Легирование никеля кобальтом почти не меняет температуры рекристаллизации, однако усиливает эффект наследственности. Даже после промежуточного отжига 700°C —7 часов на автораддиограммах выявляется характерная разнотермность — в рекристаллизованном металле имеются области очень мелкого зерна на тех участках структуры, где до рекристаллизации были границы деформированных зерен (рис. 1). Этот вид разнотермности позволяет по структуре рекристал-

лизованного металла судить о положении исходных границ зерен, т. е. является специфическим проявлением эффекта граничной наследственности. По-видимому, он обусловлен облегчением зародышеобразования и их роста на участках наследственных границ, обладающих повышенной дефектностью*. Таким образом, легирование никеля даже ближайшим аналогом—кобальтом, образующим с ним непрерывный ряд твердых растворов, приводит к заметному усилению эффекта наследственности.

Легирование никеля 0,48% алюминия (твердый раствор, далекий от насыщения) также приводит к специфическому проявлению наследственности. Контактные автораднограммы, полученные после промежуточного 700—7 часов и последующего диффузионного отжига 700—3 часа, выявляют лишь границы рекристаллизованных зерен (рис. 2, б). Однако сопоставление их с автораднограммами, полученными с тех же образцов в процессе промежуточного отжига 700—7 часов (рис. 2, а), показывает, что часть границ рекристаллизованных зерен совпадает с границами исходных деформированных зерен, т. е. являются одновременно и наследственными. Плотность почернения автораднографических изображений таких границ (значит и дефектность) несколько выше.

В сплавах, легированных вольфрамом и молибденом (элементами, упрочняющими сплавы и повышающими их жаропрочность), после промежуточного отжига при различных температурах автораднографически обнаруживаются различные эффекты наследственности. При температурах, незначительно превышающих температуру рекристаллизации, выявляется наследственная разнотернистость, при более высоких температурах—совпадение новых границ рекристаллизованной структуры с наследственными, наконец, при температуре 1000 С и более—двойная сетка новых и старых границ. Последний вид наследственности в сплаве «никель-молибден» может быть обнаружен также металлографически (т. е. менее чувствительным методом) в виде цепочек ямок травления (рис. 3). Это обстоятельство, наряду с большой диффузионной шириной наследственных границ, выявляемой с помощью электронно-микроскопической автораднографии (рис. 4), свидетельствует о значительной химической и структурной неоднородности наследственных границ металла.

Чем можно объяснить более сильное влияние молибдена сравнительно с вольфрамом на явление наследственности в никеле? Эти действующие элементы—химические аналоги, характер их влияния на твер-

* В принципе такой характер разнотернистости мог бы наблюдаться при наличии на границах деформированных зерен дисперсных выделений, например, карбидов [4]. Однако, в настоящей работе использованы сплавы вакуумных плавов, что, по-видимому, исключает эту возможность. Кроме того, при одинаковой предистории образцов разнотернистость, обусловленная наследственными границами, наблюдается лишь на оптических сплавах.

дость, параметр решетки, температуру рекристаллизации и другие характеристики качественно сходны. Однако, как показана в работе [5], в условиях равновесия (после отжига) молибден в никеле локализован на границах зерна, т. е. является гетрофильным, а палладий — в объеме зерна, т. е. является гетрофобным. Поэтому можно ожидать, что в сплаве «никель-молибден» содержание легирующего элемента на границах исходных деформированных зерен выше; после рекристаллизации наличие химической неоднородности стабилизирует структурную неоднородность — наследственные границы.

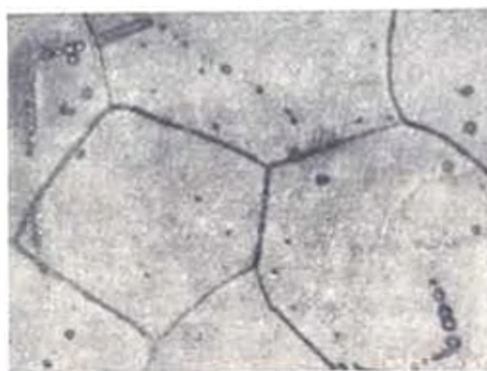


Рис. 3 Микроструктура сплава $Ni+9\%Mo$, $\times 2000$ (холодная деформация 40%, отжиг $1050^\circ C$ — 8 часов).



Рис. 4 Самодиффузия в сплаве $Ni+9\%Mo$ (холодная деформация 10%, диффузионный отжиг $700^\circ C$ — 3 часа). Электронно-микроскопическая автофлуоресценция, $\times 2000$.

Таким образом, легирование никеля в пределах твердого раствора приводит к усилению эффекта наследственности даже при минимальном

различии атомов легирующего элемента и матрицы. При прочих равных условиях легирование горофильным элементом оказывает большее влияние на эффект наследственности, чем легирование горофобным элементом.

Оценим влияние второй фазы на эффект наследственности, рассматривая результаты автораднографического исследования никеля, легированного церием, бором и 5,1% алюминия. Микролегирование церием существенно усиливает эффект наследственности в никеле. Здесь мелкие рекристаллизованные зерна часто вытянуты в цепочки внутри исходного деформированного зерна так, что наследственные границы на значительной части длины совпадают с новыми границами. Плотность почернения наследственных границ существенно выше, причем особенно велика на отдельных участках (рис. 5). Последние, как показывает металлографический анализ, отвечают локализации фазы, вероятно, оксидов церия. Границы раздела ее с твердым раствором обладают повышенной диффузионной проницаемостью (это подтверждает большее значение коэффициента самодиффузии никеля 63 в данном сплаве, сравнительно со сплавами в виде твердых растворов). Таким образом, наличие даже очень малого количества второй фазы приводит к усилению эффекта наследственности.



Рис. 5. Самодиффузия ^{63}Ni в сплаве $\text{Ni}-0,02\% \text{Ce}$ (холодная деформация 40%, предварительный отжиг $700^\circ\text{C}-7$ часов, диффузионный отжиг $700^\circ\text{C}-3$ часа). Контактная автораднограмма, $\times 50$

Легирование бором приводит к появлению значительно большего количества второй фазы—боридов: вплоть до температуры 1000°C сплав является двухфазным. В данном сплаве эффекты наследственности выражены очень сильно. Вплоть до температуры промежуточного отжига 900°C наследственные границы на всей протяженности совпадают с границами рекристаллизованных зерен (рис. 6) как на участках выделения массивных боридов, так и на участках, свободных от выделений.

Плотность почернения автораднографического изображения наследственных границ больше, чем новых, образовавшихся после рекристаллизации, и максимальна на участках выделения боридов вследствие повышенной диффузионной проницаемости межфазной поверхности раздела. При более высокой температуре нагрева происходит растворение боридов и образование новой сети границ рекристаллизованных зерен, не связанной с границами наследственных зерен. Электронномикроскопическое исследование показывает, что при всех температурах промежуточного и диффузионного отжига ширина наследственных границ больше, чем новых, и особенно велика на участках выделения боридов*. Эти результаты подтверждают сделанный выше вывод о значительном влиянии наличия второй фазы на стабильность эффекта наследственности.



Рис. 6. Самодиффузия ^{63}Ni в сплаве $\text{Ni}-0,1\% \text{B}$ (холодная деформация 10%, предварительный отжиг 800° —4 часа, диффузионный отжиг 800° —1 часа, диффузионный отжиг 800° —3 часа). Фотография автораднограмм, $\times 50$

Сплав с 5,19% алюминия характеризует еще один случай влияния второй фазы—при нагреве этого сплава после холодной деформации возможно деформационное старение с выделением интерметаллида Ni_3Al . На автораднограммах, полученных после промежуточного отжига в 700°C , проявляется уже отмеченный эффект наследственной разнотекучности, выраженный сильнее, чем в однофазном сплаве «никель-кобальт». В областях мелкого зерна ширина автораднографического изображения границ больше, что, видимо, связано с диффузией по межфазной границе раздела «интерметаллид-матрица». На отдельных участках новые зерна вытянуты в направлении полос скольжения, существовавших в деформированном зерне; это показывает, что наследственность в рекристаллизованном металле может быть обусловлена не только гра-

* Специфика наследственности в сплаве «никель-бор» и факторы, ее определяющие, будут более подробно рассмотрены в одной из последующих публикаций.

видами зерна, но и другими дефектами деформированного металла.

Таким образом, с помощью автордиографических методов показано, что явление наследственности в рекристаллизованном металле присуще широкому кругу сплавов на основе никеля в значительном интервале температур. Легирование никеля приводит к усилению эффекта наследственности; особенно в случае наличия или выделения второго фазы. В зависимости от состава сплава и температуры отжига эффект наследственности может проявляться по-разному: как полизернистость на участках наследственных границ, как совпадение новых и наследственных границ, как наличие двойной сетки новых и наследственных границ.

47000-75-2

Получено 23.IV 1975

В. В. БОРИСОВ, В. З. БОЧЕНКО, И. И. БОДОРОВ

ИСТОРИЯ, ОБРАЗОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА

И н т р о д у к ц и я

Актуальность вопроса об истории развития металлургического научного центра в нашей стране и о роли металлургического научного центра в развитии металлургической науки и техники является предметом настоящего исследования. В работе приводятся данные о развитии металлургической науки и техники в нашей стране с древних времен до наших дней.

В работе приводятся данные о развитии металлургической науки и техники в нашей стране с древних времен до наших дней. В работе приводятся данные о развитии металлургической науки и техники в нашей стране с древних времен до наших дней.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Борисов В. З. Становление и развитие металлургической науки. М., Металлургия, 1971.
2. Чупаев В. С. Автореф. канд. диссерт. М., ВИАМ, 1971.
3. Хомин С. Г., Шининский Е. С. Изв. АН СССР, сер. «Металлы», № 2, 1968.
4. Горелов С. С. Рекристаллизация металлов и сплавов. М., Металлургия, 1967.
5. Боченко В. З., Кишкин С. Т., Мороз Т. М. Исследования строения металлов металлами. М., «Оборонгиз», 1959.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Р. А. МОВСЕСЯН, К. С. ГЮЛАСЯՆ,
А. В. ЗАКЛЯՆ, П. Л. БАБАԼՅԱՆ

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ
ПРИБОРА ДВСД-1200Б

В Ереванском политехническом институте ведутся разработки высокоточных светодальномеров для инженерной геодезии [1, 2, 3]. Потребности в подобных приборах, инструментальные ошибки которых оцениваются десятками долями миллиметра, с каждым годом растут в связи со строительством ускорителей заряженных частиц, радиотелескопов, высотных плотин и т. д. В настоящей статье приводятся данные характеризующие точность светодальномеров типа ВСД и ДВСД [1, 2, 3].

На рис. 1 приведена схема приемопередатчика дальномера и отражателя, установленных в точках А и В, находящихся на одной высоте.

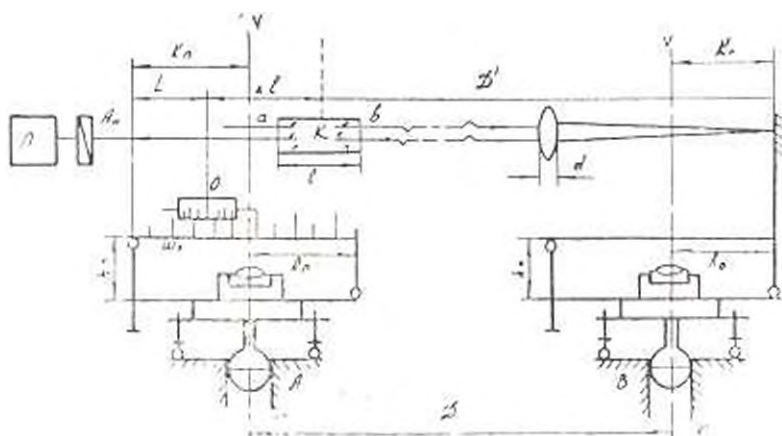


Рис. 1

Световой поток поступает в кристалл K модулятора через грань a и выходит из него через грань b . На длине кристалла L происходит модуляция света, которая прекращается после выхода света из кристалла. Такой же путь проходит и отраженный световой поток. Разности хода между обыкновенными и необыкновенными лучами F_1 и F_2 формируются лишь после выхода световых потоков из кристалла,

поэтому двойное значение пройденного светом расстояния от середины кристалла до поверхности зеркала отражателя будет соответствовать сумме расстояний от граней a и b до зеркала. В момент, когда отраженный световой поток, пройдя через анализатор A_n , будет иметь минимальное значение, регистрируемое приемником $П$, расстояние D' будет определяться по формуле [1, 2]

$$D' = \frac{c_m}{2} N + \frac{c_m}{4}, \quad (1)$$

где λ_m — длина волны, соответствующая частоте модуляции светового потока;

N — число длин полуволн ($c_m/2$), уложившихся в расстоянии D' если прямой и отраженный потоки проходят через один и тот же кристалл или через два кристалла, оси которых параллельны. Для определения расстояния D между осями втулок A и B (рис. 1), в которые входят центрирующие шаровые устройства приемо-передатчика и отражателя, служит формула:

$$D = D' + L + \Delta L - K_n - K_0 = \frac{c_m}{2} N - \frac{c_m}{4} + L + K', \quad (2)$$

где $K' = \Delta L - K_n - K_0$ — постоянная поправка прибора. Остальные значения показаны на рис. 1.

Ввиду того, что показатели преломления кристалла ($n_{кр}$) и стекла ($n_{ст}$) оптических элементов, находящихся на пути светового потока, не равны показателю преломления воздуха, найденному по формуле (2), значение D будет преувеличенным на величину [4]

$$\Delta K = \frac{(n_{ст} - n)l}{2n} + \frac{(n_{кр} - n)d}{2n}, \quad (3)$$

Значения l и d показаны на рис. 1.

Если включить ΔK в постоянную поправку прибора, считая Δn_1 и Δn_2 неизменными, тогда поправка (имеющая отрицательный знак) будет равна $K = K' + \Delta K$.

Поправка K может быть определена по схеме прибора с ошибкой в 2—3 дм. Точное значение ее находится в процессе измерений дальномером заранее известного расстояния на компараторе. Значение K может меняться при изменении углов наклона прибора и параметров окружающей среды. Обычно в значение K могут входить ошибки, обусловленные влиянием внешних факторов, и инструментальные ошибки. Первые относятся к ошибкам определения показателя преломления воздуха и, в конечном итоге, скорости света. Вторые относятся к ошибкам аппаратуры.

Такое же деление можно выполнить и для приборов типа ВСД и ДВСД. Однако, в рассмотренном случае внешние условия будут оказыва-

вать также влияние и на сам прибор, приводят к изменению его постоянной. Для анализа влияния этих факторов представим (2) в виде

$$D = \frac{1}{2} \left(N + \frac{1}{2} \right) \cdot \frac{c}{fn} + L + K', \quad (4)$$

Как видно из (4), точность измерения расстояния будет определяться средней квадратической ошибкой [при допущении, что $A = \frac{1}{2} \left(N + \frac{1}{2} \right)$ найдено безошибочно]:

$$m_{D'}^2 = A^2 \frac{1}{f^2 n^2} m_c^2 + A^2 \frac{c^2}{f^2 n^2} m_f^2 + \frac{A^2 c^2}{f^2 n^2} m_n^2 + m_L^2 + m_K^2, \quad (5)$$

или

$$\frac{m_{D'}^2}{D^2} = \frac{m_c^2}{c^2} + \frac{m_f^2}{f^2} + \frac{m_n^2}{n^2} + \frac{m_L^2}{D^2} + \frac{m_K^2}{D^2}, \quad (6)$$

где $\frac{m_c}{c}$, $\frac{m_f}{f}$, $\frac{m_n}{n}$ — относительные ошибки определения скорости света в вакууме, частоты модуляции, коэффициента преломления воздуха; m_K , m_L — абсолютные среднеквадратические ошибки определения дробной части фазового цикла и постоянной поправки прибора.

Рассмотрим влияние отдельных факторов. Значение скорости света в вакууме по данным [5] определено в настоящее время с ошибкой, близкой к $4 \cdot 10^{-8}$ и равно $c = 299792,458$ км/сек.

Влияние температуры, влажности и давления на скорость света в воздухе может быть оценено значением, близким $0,5 \cdot 10^{-6} D$ для коротких линий (до 1 км).

Основной ошибкой, определяющей инструментальную точность приборов с СВЧ модуляторами, является ошибка, возникающая из-за нестабильности частоты f модуляции. В приборах типа ДВСД используются фиксированные частоты, задаваемые кварцевым термостатируемым генератором, обеспечивающим высокую стабилизацию частоты. В переносных приборах с фиксированными частотами она оценивается значением $1 \cdot 10^{-6}$ в течение длительного времени (месяцев). Кратковременная нестабильность в течение суток достижима в $1 \cdot 10^{-7}$. Если учесть, что приборы типа ДВСД, в основном, имеют специальное назначение, и полагать, что контроль частоты может осуществляться сравнительно часто (один раз в неделю), то с достаточной уверенностью можно принять ошибку за нестабильность частоты равной $(1 \div 2) \cdot 10^{-7}$.

Ошибка определения дробной части фазового цикла L складывается из нескольких составляющих. Основной из них является ошибка фиксации минимума светового потока при экстремальном методе наблюдений. Ее значение в макетах ДВСД оценивается величиной, не

превышающей (5 ÷ 6) 10^{-6} м при одном приеме наблюдений, состоящем из десяти двойных наведений на минимум.

Ошибки, вносимые постоянной поправкой прибора K обусловлены: с одной стороны, точностью определения поправки, с другой — факторами, которые могут изменить значение постоянной со временем. Наиболее надежным является определение K путем измерения коротких линий на оптической скамье или компараторе. Расширенная программа измерения коротких линий, длины которых найдены с точностью близкой к $5 \cdot 10^{-6}$, позволяет определять постоянную поправку с абсолютной ошибкой, близкой к $\pm 0,05 \text{ м.м.}$ Однако, в условиях измерений на местности значение постоянной может меняться: из-за изменения угла наклона оптической оси прибора, из-за отклонения от вертикального направления оси вращения прибора, из-за температурных изменений размеров основания приемо-передатчика и отражателя и др.

Исследования показали, что постоянная поправка остается практически неизменной при соблюдении следующих условий:

а) $R_0 = R_0$ и $h_0 = h_0$ (см рис. 1.);

б) ось вращения прибора должна устанавливаться в вертикальном положении с помощью цилиндрического уровня с ценой деления $20''$;

в) шкала измерительного устройства должна изготавливаться из инвар.

К рассмотренным выше ошибкам необходимо добавить еще ошибки центрирования приемо-передатчика и отражателя, которые при использовании шаровых центрирующих устройств оцениваются величиной $\pm 20 \text{ м.к.м.}$

Проведенный анализ и многократные экспериментальные исследования позволили вывести формулу для оценки точности измерений приборами типа ДВСД-1200:

$$M_D = (0,25 + 10^{-6} D) \text{ м.м.} \quad (7)$$

Результаты испытаний в производственных условиях [6] показали, что ошибки измерений не выходят за пределы, определяемые формулой (7).

ЕрПП им. К. Маркса

Получено 1 IX 1974

Ս. Հ. ՄԱՆՈՒՅԱՆ, Կ. Ս. ԳՅՈՒՆՈՇՅԱՆ, Ա. Վ. ԶԱՎԵՐՅԱՆ, Պ. Լ. ԲԱՐՍԵՍՅԱՆ

ԴՎՍԴ—1200Բ ՄԱՆԻԻՇԻ ՍԱՐԴԻ ԶԱՓՄԱՆ ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ԱՋԴՈՂ
ԳՈՐԾՈՆԵՐՐ

Ա. Վ. Մ. Մ. Մ. Մ.

Հոդվածում դիտված են ԴՎՍԴ—1200Բ մակերչի լուսահեռաչափի աշխատանքային հատատուների բանաձևերը. խնդրես նաև ույն սխալների աղբյուրները, որոնք ազդում են լուսահեռաչափի չափման ճշտության վրա:

Քերված է սարրի հաստատունի չփոփոխման պայմանը, երբ սարրի լինելից-հաղորդիչը և տեղադրարձիչը գտնվում են տարրեր բարձրությունների վրա: Ստացված է բանաձևեր և շղթա՝ սարրի շարժման ճշտության գնահատման համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мовсесян Р. А., Нарыгин В. Н., Гюнашян К. С., Папян В. А. Электрооптический дальномер ДВСД-1200. «Геодезия и картография», № 9, 1973.
2. Бабалян Н. Л., Гюнашян К. С., Закарян А. В., Мовсесян Р. А. Электрооптический дальномер ДВСД-1200Б. Информационный листок АрмНИИПТИ и ТЭИ, № 5, 1974.
3. Мовсесян Р. А., Маргариосян А. А., Амбирцумян Ф. Б. Электрооптический дальномер ВСД-600 «Пш. вузов, серия геодезия и аэрофотосъемка», № 5, 1973.
4. Котляшкова А. В. Электрооптические и радио-геодезические измерения. Изд. «Недра», М., 1972.
5. Экспресс информации ОПТИ ЦНИИГАиК. Выпуск 5(155) 1-го марта, 1975.
6. Тер-Мергелян К. А., Гюнашян К. С., Ильясов В. В. Полевые испытания дифференциального видеоконтинного светодальномера ДВСД-1200. Межкузовский сборник научных трудов, серия XII, вып. 1, «Строительство и архитектура», Ереван 1974.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Э. В. ТАТЕВОСЯН

МОДЕЛЬ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ ПРИ ВРАЩЕНИИ

Структура рассмотренной в [1] системы автоматического уравновешивания при вращении (САУВ) приведена на рис. 1, а, где ИзУ—измерительное устройство, которое превращает сигнал дисбаланса в электрические колебания и фильтрует помехи. УУ—управляющее устройство, определяющее фазы дискрет исправления. ИСУ—исполнительное устройство, которое наносит (или удаляет) дискреты исправления с фазой, заданным управляющим устройством, на уравновешиваемый двигатель—объект регулирования ОР с коэффициентом передачи a_s . В [1] дана аналитическая модель системы при действии внешней широкополосной (некоррелированной) помехи, а также кратко описана ее цифровая модель (рис. 1, б).

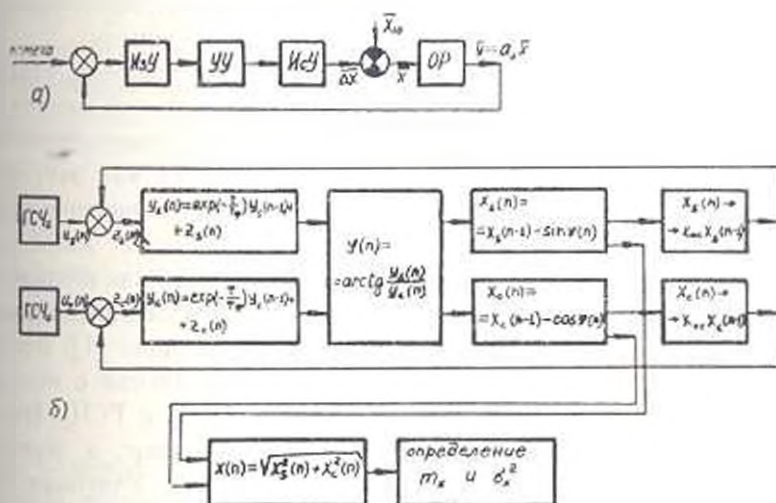


Рис. 1.

Необходимость цифрового моделирования обусловлена следующим:

1. При аналитическом исследовании САУВ рассматривается как непрерывная система, в то время как в конце уравновешивания существенным становится влияние отдельных дискрет исправления;

2. САУВ является системой с управлением по фазе, т. е. существует как нелинейной системой с обратной связью, для которой неприменима

статистическая линеаризация. Потому при аналитическом исследовании [1] процесс уравнивания в условиях внешней помехи был приближенно разделен на 2 стадии: *нестационарный процесс*, где методом «динамики средних» [2] был найден закон уменьшения матожидания дисбаланса

$$x = x_{\text{н.з.}} \exp\left(-\frac{t}{\tau_n}\right), \quad (1)$$

где x — матожидание дисбаланса;

$\tau_n \approx 1,6 \frac{\sigma_n}{V_n}$ — постоянная времени уравнивания; σ_n — среднеквадратическое значение помехи; $V_n = \Delta f_n$ — скорость исправления; Δ и f_n — дискрета и частота исправления;

и *стационарный процесс* с матожиданием дисбаланса, отличным от нуля, который был исследован методами теории марковских процессов. В конце первой стадии, когда величина дисбаланса становится соизмеримой с дискретой, метод «динамики средних» не применим, поэтому не представляется возможным аналитически определить длительности перехода от нестационарного процесса к стационарному, т. е. точно определить время выхода в стационарную область;

3. Представление случайного остаточного дисбаланса в стационарном процессе (на второй стадии) как компоненты марковского процесса с релеевским распределением при аналитическом исследовании возможно только при большом уровне помехи и требует экспериментального подтверждения в случае небольшой по величине помехи.

Возможность цифрового моделирования обусловлена статистической устойчивостью системы. Нетривиальность цифровой модели САУВ, которая потребовала ее подробного рассмотрения, определяется особенностями рассматриваемой системы, а именно: так как регулируемая величина в САУВ является векторной, она при моделировании представляется как сумма двух ортогональных составляющих. Такой переход от полярных координат к декартовым возможен, так как вектор узкополосной помехи на выходе фильтра также может быть представлен как сумма двух ортогональных независимых составляющих [1]. Вследствие этого цифровая модель САУВ является двухканальной с отдельными независимыми генераторами случайных чисел ГСЧ_х и ГСЧ_с (рис. 1,б).

Условия адекватности модели системе включают, в первую очередь, неискажение спектра при дискретизации [3]. Учитывая, что период дискретизации при цифровом моделировании задан ($T=1$), необходимо найти из условия неискажения спектра при дискретизации допустимые пределы изменения параметров модели — в данном случае добротности Q фильтра ИзУ. Так как аналогом цифрового фильтра с разностным уравнением

$$y(n) = e^{-T T_{\Phi}} y(n-1) + u(n) \quad (2)$$

(где $u(n)$ и $y(n)$ — входная и выходная последовательности соответственно; T_{Φ} — постоянная времени фильтра ИзУ) является инерцион-

ное звено с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{1}{\frac{1}{T_\Phi} + p} \quad (3)$$

то, считая, что спектр сигнала на выходе инерционного звена при действии на входе „белого шума“ ограничен частотой $\omega_0 = 2\pi f_0 \approx 5/T_\Phi$, из условия $2f_0 < 1/T$ найдем область допустимого изменения T_Φ : $T_\Phi > 1,67$. В целях простоты модели целесообразно принять частоту вращения уравниваемого ротора равной периоду дискретизации, т. е. $f_0 = T = 1$. (Одновременно определяются две ортогональные составляющие вектора дисбаланса, поэтому это условие не приведет к потере информации о полезном сигнале.) Так как $T_\Phi = \frac{2Q}{\omega_0} = \frac{Q}{\pi f_0}$, то условием неискажения спектра будет $Q \geq 5$.

При действии на входе цифрового фильтра (2) последовательности $u(n)$ независимых чисел, распределенных по нормальному закону с нулевым матожиданием и дисперсией σ_u^2 , дисперсия выходной последовательности $y(n)$ равна [4]

$$\sigma_y^2 = \frac{\sigma_u^2}{1 - \exp(-2T/T_\Phi)} \quad (4)$$

Вследствие достаточно медленного изменения дисбаланса (из-за суммирования дискрет исправления), коэффициент передачи цифрового фильтра по полезному сигналу можно принять равным коэффициенту передачи для постоянной входной последовательности [4]:

$$K_c = \frac{1}{1 - \exp(-T/T_\Phi)} \quad (5)$$

С учетом (4) и (5) постоянная времени уравнивания при цифровом моделировании равна:

$$\tau_y = \frac{\tau_u}{0,63K_{oc}} V \sqrt{\frac{1 - \exp(-\pi/Q)}{1 + \exp(-\pi/Q)}} \quad (6)$$

где K_{oc} — коэффициент обратной связи модели ($K_{oc} = a_1$, где a_1 — коэффициент передачи уравниваемого ротора).

Величина дисбаланса, с которой начинается влияние помех, т. е. начало снижения дисбаланса по экспоненте, определяется из соотношения $m_{cos\varphi} \approx 0,8$ [1], где матожидание косинуса фазовой ошибки $m_{cos\varphi}$ определяется на выходе фильтра и равна:

$$x_{cos\varphi} \approx 1,27 \frac{\tau_u}{K_{oc}} V \sqrt{\frac{1 - \exp(-\pi/Q)}{1 + \exp(-\pi/Q)}} \quad (7)$$

Матожидание величины остаточного дисбаланса в стационарном процессе (в соответствии с (9) из [1]) при цифровом моделировании равно:

$$m_x \approx 0.396 \sqrt{\frac{Q\sigma_x}{K_{oc}}} \sqrt{\frac{1 - \exp(-\pi/Q)}{1 + \exp(-\pi/Q)}}. \quad (8)$$

Проверка адекватности модели системе производится для случая, допускающего аналитическое решение, т. е. для первой стадии процесса уравнивания и условиях помехи. На рис. 2 приведены кривые снижения дисбаланса при добротности фильтра $Q=5$ и внешней помехе

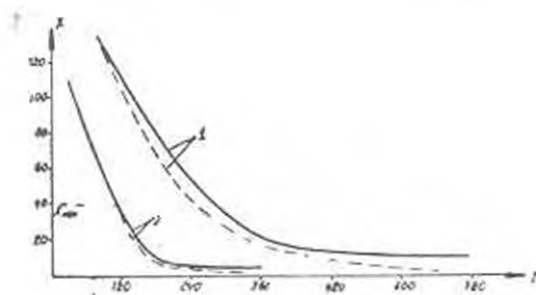


Рис. 2.

$\sigma_x^2=1$, для двух значений K_{oc} (кривая 1 — $K_{oc}=0.006$; кривая 2 — $K_{oc}=0.02$). Пунктиром приведены расчетные по (1) кривые, где $\sigma_{x_{н.р.}}$ — по (6) и (7) соответственно. Как видно из рис. 2, при $m_{max} > 0.8$ снижение дисбаланса происходит практически по прямой. Отклонение от экспоненты (1) начинается со значений дисбаланса, превышающих матожидание в 1.5–2 раза. Время уменьшения дисбаланса от $x_{н.р.}$ до выхода в стационарную область незначительно меньше времени затухания экспоненты: $\Delta t \approx 3.5\tau$.

Исследование стационарного процесса требует, в первую очередь, определения необходимого объема выборки последовательности случайных чисел (объема прогонки модели САУВ) для получения достоверных значений матожидания m_x и дисперсии σ_x^2 . Для этого необходимо знание корреляционной функции случайного остаточного дисбаланса [5], вычисление которой занимает значительный объем памяти. При ограниченности объема памяти матожидание и дисперсия остаточного дисбаланса могут определяться путем последовательного увеличения объема прогонки модели. Последовательное увеличение объема прогонки продолжается до тех пор, пока значения m_x и σ_x^2 не стабилизируются (отличаются не более чем на 10–15% в последних 2–3-х выборках).

На рис. 3 приведены зависимости матожидания остаточного дисбаланса от добротности фильтра для двух значений коэффициента обратной связи: кривая 1 — $K_{oc}=0.002$, что при $\sigma_x^2=1$ соответствует помехе на входе САУВ величиной 500 дискрет; кривая 2 — $K_{oc}=0.02$ (помеха

равна 50 дискретам) В первом случае, так как помеха на выходе фильтра больше полезного сигнала, экспериментальные кривые хорошо совпадают с расчетными по (8), для второго случая формула (8) дает заниженное (на ~ 30%) значение величины (статочного дисбаланса

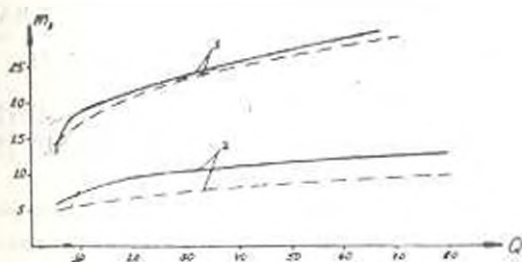


Рис. 3

Отношение матожидания к дисперсии случайного остаточного дисбаланса составляет $2,1 \div 2,2$, что близко к тому же отношению для релеевского распределения. Таким образом, хотя при низком уровне помехи формула (8) дает несколько заниженное значение матожидания остаточного дисбаланса, вследствие невыполнения условия, принятого при аналитическом исследовании, однако можно считать, что экспериментальное исследование подтвердило гипотезу о случайном остаточном дисбалансе как компоненте марковского процесса с релеевским распределением.

Է. Վ. ԽԱՆԻՍՅԱՆ

ՊՏՏՄԻՆ ԸՆԹԱՅՔՈՒՄ ԱՎՏՈՄԱՆ ՆԱԳԱՈՒՐԱԿՇԻՐՈՂ ՈՒՍՏԱՆԻ
ՓԻՃԱՊԱՐԱԿԱՆ ՓՈՐՁԱՐՈՐՈՒՄՆԵՐԻ ՄՈՒԵԼԸ

Ա. Մ. Բ Ո Ւ Ք Ո Ւ Մ

Դիտվում է պոտան ընթացքում ազտման հաճախակիության սխառմի քվանտի փոխադրական մոդելը Գարգոթյան նպատակով կատարված է անցում կոորդինատների բնույթի սխառմից Դեկարտի սխառմի: Բերված են մոդելացման արդյունքները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Татаросян Э. В. Оптимальная система управления уровнем напряжения при протекании «Известия АН АрмССР (серия Т. III», т. XXVIII, № 4, 1975.
2. Винцель Е. С. Введение в исследование операций. Изд. «Сов. радио», М., 1961.
3. Голд Б., Кудер Ч. Цифровая обработка сигналов. М., Изд. «Сов. радио» 1973.
4. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Выпуск 1, «Мир», 1974.
5. Видекин С. Я. Статистические методы исследования систем автоматического регулирования. Изд. «Сов. радио», М., 1967.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Т. А. НАЛЧАДЖЯՆ, Н. А. ПЕРЕЛЬМАН

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ
ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ ГЕНЕРИРОВАНИЯ

Построение модели внешней среды необходимо как для анализа существующих объектов (систем), так и для синтеза и сравнения вновь проектируемых. При исследовании многомерных систем с целью выбора их оптимальных параметров применяемый математический аппарат сложен, чем объясняется все большее применение для этих целей ЦВМ. В случаях применения цифровых машин внешнюю среду целесообразно моделировать как многомерный вектор с дальнейшим генерированием его компонентов на базе известных вероятностных характеристик каждого компонента. Предлагается метод генерирования вектора среды, сущность которого в следующем.

Пусть многомерная плотность распределения вероятностей параметров окружающей среды задана в виде функции

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k) = f(\bar{X}). \quad (1)$$

Кроме того, задана область G существования вектора $\bar{X}$, являющегося вектором контролируемых внешних воздействий. Задание области G эквивалентно наличию $2k$ неравенств, накладываемых на компоненты вектора

$$x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max}, \quad (2)$$

где $x_{i\min}$ и $x_{i\max}$ — минимальные и максимальные значения случайных параметров $x_i (i=1, 2, \dots, k)$. Будем считать, что реализация вектора среды известна, если известны числовые значения всех его компонентов, т. е.

$$x_1 = a_1, x_2 = a_2, \dots, x_k = a_k. \quad (3)$$

Вектор $\bar{A} = \bar{A}(a_1, a_2, \dots, a_k)$ будет реализацией вектора $\bar{X}$, если

$$x_{i\min} \leq a_i \leq x_{i\max}. \quad (4)$$

Отсюда вытекает, что если генерировать числовые значения отдельных компонентов из области допустимых значений, то множество полученных реализаций даст реализацию случайного вектора. Необходимо, чтобы числовые значения компонентов, получаемые в результате генерирования, соответствовали законам распределения отдельных компонен-

юя $f(x_i)$. Последние функции можно определять из выражений для функции плотности вероятностей вектора среды $f(\vec{X})[1]$:

$$\begin{aligned} f(x_1) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} f(x_1, x_2, \dots, x_k) dx_2 dx_3 \dots dx_k; \\ f(x_1) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} f(x_1, x_2, \dots, x_k) dx_1 dx_2 \dots dx_k; \\ &\vdots \\ f(x_k) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} f(x_1, x_2, \dots, x_k) dx_1 dx_2 \dots dx_{k-1}. \end{aligned} \quad (5)$$

Однако, при решении конкретных задач бывает трудно, а иногда и невозможно получить выражения для плотности многомерного распределения вероятностей вектора среды $f(\vec{X})$. Гораздо проще получить одномерные функции распределения плотности вероятностей $f_i(x_i)$ на основе экспериментальных данных, и при помощи их и условных плотностей вероятностей определить

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k) = f(x_1)f(x_2/x_1)f(x_3/x_1, x_2) \dots f(x_k/x_1, x_2, \dots, x_{k-1}). \quad (6)$$

Отсюда вытекает следующая методика построения математической модели окружающей среды. Генерированием получаем реализации всех компонентов случайного вектора среды, подчиненных одномерным законам распределения вероятностей, множество этих реализаций будет подчиняться некому многомерному закону распределения [6].

Для генерирования необходимо иметь базовую случайную величину T , плотность распределения вероятностей которой $f(t)$ известна. Подставляя эту случайную величину на вход статического преобразователя, связываемого оператором

$$x_i = x_i(t), \quad (7)$$

на его выходе получим случайную величину x_i , закон распределения которой однозначно определяется функцией $f(t)$ и оператором (7). Блок-схема генерации i -го компонента $\vec{X}$ представлена на рис. 1.



Рис. 1

где ГБСВ — генератор базовой случайной величины T . Таким образом вся задача сводится к определению оператора преобразования (7) для получения случайной величины x_i . Функция преобразователя $x_i(t)$ определится из условия линейного преобразования [1]

$$f(x_i) = f[\psi(x_i)]\psi'(x_i) \quad (8)$$

при заданных $f(t)$ и $f(x_i)$, где функция $\psi(x_i) = t$ и находится из уравнения (7).

Принцип и последовательность генерирования случайной величины показаны на рис. 2.

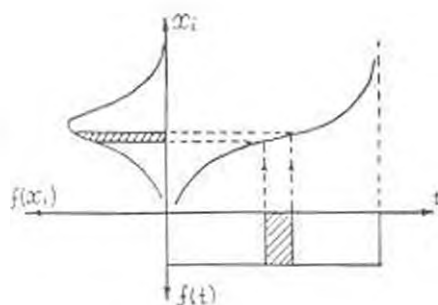


Рис. 2

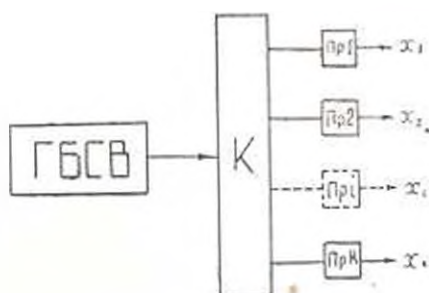


Рис. 3

На практике в качестве плотности распределения вероятностей базовой случайной величины целесообразно выбирать равномерный закон, как наиболее просто реализуемый на ЦВМ. При реализации модели на машине для облегчения согласования с ней удобнее заменить непрерывную плотность распределения вероятностей соответствующей гистограммой. При этом опускается трудоемкая работа по аппроксимации функции преобразователя к желаемой плотности вероятностей.

Общая блок-схема математической модели окружающей среды при некоррелированных компонентах приведена на рис. 3.

Здесь, как и прежде, ГБСВ — генератор базовой случайной величины; К — коммутатор; Пр1, Пр2, ..., ПрК — преобразователи, характеристики которых должны быть определены вышеизложенным способом.

Пример. Рассмотрим построение модели окружающей внешней среды на примере дорожных условий г. Еревана.

Не вдаваясь в подробности и методику выбора параметров, характеризующих рассматриваемую внешнюю среду, укажем, что в качестве основных параметров, характеризующих дорожно-транспортную сеть современных городов, были выбраны следующие: уклон дороги на длине 100 метров; рядность улиц; состояние покрытия и зависимости от климатических условий; наличие или отсутствие светофора на 100 метровом участке дороги и его фаза (красная, желтая, зеленая); интенсивность движения.

После обработки статистического материала были построены гистограммы и определены функции преобразователей при равномерном распределении базовой случайной величины T . Затем из таблицы случайных чисел с указанным распределением были выбраны 15 чисел (по 3 чисел на каждые 100 м дороги):

0, 3393;	0, 9108;	0, 7892;	0, 9085;	0, 2638;
0, 1313;	0, 3897;	0, 4380;	0, 1618;	0, 4858;
0, 5354;	0, 0905;	0, 1420;	0, 3280;	0, 9697.

В соответствии с этими числами, функциями преобразования и известными гистограммами были получены следующие характеристики трех 100-метровых участков:

I участок—уклон 1,5%; двухрядная улица; снег; светофор отсутствует; 1 машина на 100 м.

II участок—уклон 7,8%; двухрядная улица; снег; светофор отсутствует; 2 машины на 100 м.

III участок—уклон 0,5%; одnorядная улица; сухо; светофор отсутствует; 4 машины на 100 м.

Указанная методика принципиально не ограничивает количество параметров, т. е. пригодна для моделирования систем большой мерности.

В заключение отметим, что данный метод построения модели внешней среды с успехом можно использовать при исследовании большого класса производственных, технических и других объектов, при проектировании которых необходимо учитывать влияние внешних воздействий.

ЕрIII нм. К. Маркса

Поступило 18 III 1973.

ЛИТЕРАТУРА

1. Венцель Е. С. Теория вероятностей. Изд. «Наука», М., 1964.

Синтез дифференциально-циклического механизма с постоянными поворотом и частотой звена. Эдлия М. Б., Агаронян Г. Т. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXVIII, № 5, 1975, 7—11.

В статье представлена методика кинематического анализа и синтеза нового типа комбинированного механизма с прерывистым поворотом ведомого звена, разработанного авторами.

Приведен численный пример.

Илл. 3. Библ. 2 назв.

УДК 621.311.001.24—50

Расчет установившегося режима двух энергосистем, связанных передачей постоянного тока с промежуточным отбором мощности параллельного присоединения. Адош Г. Т., Арутюнян С. Г. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXVIII, № 5, 1975, 12—20.

Предлагается алгоритм расчета установившегося режима двух энергосистем, связанных линиями электропередачи постоянного тока с промежуточным отбором мощности параллельного присоединения. Предложенный алгоритм позволяет учесть как сложную структуру примыкающих энергосистем, так и конфигурацию и режим работы регулируемых преобразовательных подстанций ППТ.

Выполненные практические расчеты по разработанной программе указывают на эффективность использования предлагаемого алгоритма.

Илл. 2. Табл. 2. Библ. 7 назв.

УДК 622.691.1—681.3

А методике расчета оптимальных параметров газотранспортных систем. Хурцудон Н. С. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXVIII, № 5, 1975, 21—27.

Предлагается усовершенствованный метод определения оптимальных параметров газотранспортных систем, основанный на применении аппарата математического программирования. Введением промежуточного критерия оптимальности достигается резкое снижение затрат машинного времени. Приводятся данные о ФОРТРАН-программе, реализующей алгоритм, и пример расчета, иллюстрирующий применение предлагаемого алгоритма.

Илл. 1. Библ. 3 назв.

УДК 62-211.001.2+621.012] 539.47

Упруго-пластические поведение пластин и оболочек в плоскости при симметричной нагрузке. Вольмир А. С., Вольмир Е. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXVIII, № 5, 1975, 28—34.

Исследуются особенности поведения плоских и некривых круглых цилиндрических панелей при действии импульсной нагрузки в направлении образующей при деформациях в упруго-пластической области. Используются деформационная теория. Определены зависимости между импульсом и параметром нагрузки для различных законов изменения сжимающего усилия во времени.

Илл. 4. Библ. 9 назв.

УДК 669.018 539.4

Влияние легирования на эффект наследственности в никеле. Торосян Э. А., Божинский С. З., Гинзбург С. С. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXVIII, № 5, 1975, 35—43.

Методом автордиографии исследовано влияние пластичности в технически чистом никеле и бинарных сплавах на его окисление. Показано, что после рекристаллизационного нагрева деформированного металла границы «старых» зерен сохраняют повышенную диффузионную проницаемость в широком интервале температур. Рассмотрены некоторые виды дефектов исследуемости и факторы, ее обуславливающие, а также влияние на исследуемость химического и фазового состава.

Илл. 6. Табл. 1. Библ. 5 назв.

УДК 528.517

Факторы, влияющие на точность измерений прибора ДВСД-1200Б. Мовсисян Р. А., Гюнянц К. С., Захарян А. В., Бабаянц Н. Л. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXVIII, № 5, 1975, 44—48.

На точность измерений светодальномера ДВСД-1200Б существенное влияние оказывают как инструментальные ошибки прибора, так и ошибки, обусловленные климатическими условиями.

В статье рассматриваются рабочие формулы прибора, формула определения постоянной поправки прибора и источники ошибок, влияющих на точность измерения светодальномера. Приведено условие выполнения поправки прибора, когда приемопередатчик и отражатель находится на разных высотах. Получена формула для оценки точности измерений прибора типа ДВСД-1200.

Илл. 1. Библ. 6 назв.

УДК 62—233.001.57

Модель статистических испытаний системы автоматического уравнивания при ориентации. Тлтевосян Э. В. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXVIII, № 5, 1975, 49—53.

Рассматривается цифровая непротивостная модель системы автоматического уравнивания при ориентации (САУВ). Показано, что САУВ является системой с фазовым управлением, для упрощения модели осуществлен переход от полярной системы координат к декартовой. Приведены результаты моделирования.

Илл. 3. Библ. 5 назв.

УДК 656.11.05 + 656.13.08

Стохастическое моделирование внешней среды объектов управления методом генерирования. Палчаджян Г. А., Перельман Н. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXVIII, № 5, 1975, 54—57.

Рассматривается задача моделирования внешней среды объектов управления. Показано, что если окружающая среда рассматривается как случайный многомерный вектор, то математическое описание последнего приводится к задаче генерации многомерного случайного процесса как для зависимых, так и для независимых параметров окружающей среды.

В качестве примера приведена модель дорожно-транспортной сети г. Еревана.

Илл. 3. Библ. 1 назв.

0 0 0 11 1 4 0 4 0 0 0 0 3 0 0 0

Մ. Վ. Խառյան (Ճեղհյանի ձեռագրագիր)։

ULFLEW, HENRIETTA

[illegible]

ፌዴራል ምክር ቤቱ ነው

4. Տ Այսինչ, Ո՛ր Հարությունյան, Զուգահեռ միացմամբ հարաբերյալ միջանկյալ առումով հասանալիս հասանելի զգալի էությունը հիմա է հարգանքանկարողի հա-

1. II. Խոսքի ուղղակի փոփոխությունը կատարվում է հետևյալ կերպ՝

ፎካል ፍላጎት ለሰው ጤና አደጋ ምክንያት ይሆናል።

[illegible]

15. 1. 2004

[illegible][illegible][illegible]

ኢ . ዲ . ካ . ላ . ፖ . ጣ . ማ . ሳ . ኤ . ት . ሪ . ቶ . ነ . ሠ

Է. Ուսանողները պարտավորված են լինել հետևելու համապատասխան համակարգի կանոններին, որոնք սահմանվում են համապատասխան համակարգի կողմից:

*t p m m l y m k n p l r

18. 11. Դրանցում 11-ին, 19-ին ՊԼԻԻ-ի մեջ 4 հոգի, ովքեր արձակուրդի վրա էին, և 1 հոգի, ով 12-ին արձակուրդի վրա էր, ընդամենը 5 հոգի էին աշխատում:

СОДЕРЖАНИЕ

Мартин Виссарионович Касьян (к 70-летию с дня рождения)	3
---	---

Машиностроение

М. Б. Эдильян, Г. Т. Агаронян. Синтез дифференциально-винтового механизма с периодическим поворотом ведомого звена	7
--	---

Энергетика

Г. Т. Аюняц, С. Г. Арутюнян. Расчет установившегося режима двух энергосистем, связанных передачей постоянного тока с промежуточным отбором мощности параллельного присоединения	12
П. С. Хуришудоя. К методике расчета оптимальных параметров галактико-транспортных систем	21

Строительная техника

А. С. Вольмир, Е. А. Вольмир. Упруго-пластическое поведение пластинок в оболочках при импульсном нагружении	28
---	----

Металловедение

Э. А. Торосян, С. Э. Бокштейн, С. С. Гинзбург. Влияние легирования на эффект наследственности в никеле	35
--	----

Измерительная техника

Р. А. Мовсесян, К. С. Гюнишян, А. И. Закирян, П. Т. Бабаларян. Факторы влияющие на точность измерений прибора ДВСД-1200Б	41
--	----

Электротехника

Э. В. Татевосян. Модель статистических испытаний системы автоматического уравнивания при возникновении	49
--	----

Научные заметки

Г. Г. Налчаджян, Н. А. Перельман. Стохастическое моделирование внешней среды объектов управления методом генерирования	54
--	----

