

— Журнал издается с 5.01. 1948 г.
Выходит 3 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ. Մարտիրոսյան (գլխավոր խմբագիր), Ռ. Աթոյան (գլխ. խմբ.
տեղակալ), Հ. Թերզյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Ս. Ղազարյան,
Ռ. Մարտիրոսյան, Ն. Մանուկյան, Ֆ. Սարգսյան,
Յու. Սարգսյան, Վ. Սարգսյան, Մ. Ստակյան (գլխ. խմբ. տեղա-
կալ), Զ. Ստեփանյան (պատասխանատու քարտուղար),
Վ. Խաչատրյան, Հ. Զոհինյան:

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. Мартиросян (главный редактор), Р.В. Атоян
(зам. глав. редактора), С.М. Казарян,
Г.А. Кочинян, Н.В. Манукян, В.З. Марухян,
В.С. Саркисян, Ф.Т. Саркисян, Ю.Л. Саркисян,
М.Г. Стакян (зам. глав. редактора), З.К. Степавян
(ответственный секретарь), А.А. Терзян (зам. глав.
редактора), В.С. Хачатрян.

EDITORIAL BOARD

R.M. Martirossyan (Editor-in-Chief), R.V. Atoyan (Vice-Editor-in-Chief),
S.M. Ghazaryan, V.S. Khachatryan,
H.J. Kochinyan, N.V. Manoukyan, V.Z. Maroukhyan,
F.T. Sarkissyan, V.S. Sarkissyan, Yu.L. Sarkissyan,
M.G. Stakyan (Vice-Editor-in-Chief), Z.K. Stepanyan (Secretary-in-Chief),
H.A. Terzyan (Vice-Editor-in-Chief).

**ՀԱՆՐԱՅԻՆ ՀՐԱՏԱՐԱԿԱՆ Է ԿԵՆՏՐՈՆԱԿԱՆ ՀԱՅ ԿՐԹԱԿԱՆ
ՀԻՄՆԱՐԿՈՒԹՅԱՆ ՆՎԻՐԱՏՎՈՒԹՅԱՄԲ ՀԻՄՆԱԴՐՎԱԾ
ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆՈՒՄ**

**THE JOURNAL IS PUBLISHED IN THE COMPUTER PUBLISHING
CENTER ESTABLISHED BY THE DONATION OF THE ARMENIAN
EDUCATIONAL FOUNDATION (USA)**

Հրատ. խմբագիր՝ ԺԱՆՆԱ ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ
Համակարգչային շարվածքը եւ ձեւավորումը՝
ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ



Издательство ГИУА

Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук). 1999

Պատվեր՝ 230

Տպարանակ՝ 200

Տպագրված է Հայաստանի Պետական Ճարտարագիտական
Համալսարանի տպարանում. Տեղյան 105

Н.В. МАНУКЯН, С.Г. АГБАЛЯН, А.С. АГБАЛЯН, А.Н. КАЗАРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АЛМАЗНЫХ СВЕРЛ МАЛОГО ДИАМЕТРА, ПОЛУЧЕННЫХ ЭКСТРУЗИЕЙ

Изучены технологические аспекты изготовления сверл из высокопрочных материалов с использованием алмазного порошка, полученного методом газотранспортных реакций. Показано, что с увеличением зернистости и относительной концентрации алмаза работоспособность сверл повышается. Экструдированные сверла, изготовленные из металлизированных алмазов не только технологичны в изготовлении, но и обладают высокими показателями работоспособности.

Исследована работоспособность экструдированных алмазных сверл, изготовленных из металлизированных титаном алмазных порошков при обработке различных неметаллических материалов высокой твердостью. Показано, что с увеличением зернистости и относительной концентрации алмаза работоспособность сверл повышается. Экструдированные сверла, изготовленные из металлизированных алмазов не только технологичны в изготовлении, но и обладают высокими показателями работоспособности.

Ил. 4, табл. 1. Библиогр. 7 назв.

While working out non-metallic materials with high solidity it has been studied the efficiency of diamond drills with extrusion which have been made by titanium - covered diamond powder. It is shown that by increasing diamond powder granular and relative concentration the drill efficiency also increases. Drills made of metallic covered diamond powder extrusion are not only technological from the point of view of their preparation, but also they have indices of efficiency.

1 - 4 Table 1 Ref. 7

Как известно, в процессе металлизации заживляются микротрещины и другие дефекты на поверхности алмазного сверла, повышается его прочность, а следовательно, работоспособность [1, 2].

В ГНУА совместно с Ереванским ПО "Алмаз" разработаны технология металлизации алмазных порошков методом газотранспортных реакций [3, 4] и также технология изготовления алмазных сверл малого диаметра экструзией [5].

Целью настоящей работы является исследование работоспособности алмазных сверл малого диаметра, полученных из металлизированных титаном алмазных порошков экструзией.

Исследования проводили на специальном вертикальном сверлильном станке повышенной точности модели 2М103П. Последний оснащен для измерения силы и крутящего момента, а также индикатором типа ИГМ для измерения линейного износа сверла. Алмазные сверла закрепляли в специальной оправке при помощи термодеформационного клея.

поликапроамида, что обеспечивало радиальное биение сверла в пределах 0,01...0,02 мм. Обрабатываемые образцы в виде плоских заготовок высотой 5 мм приклеивали винилитовой мастикой к специальной подложке. Последние при помощи механических прихватов закрепляли на столике, установленном в специальной ванночке. Винилитовую мастику изготавливали из поливинилацетатного лака марки С-8 (ТУ-6-10-1081-70). Температура плавления мастики 150°C. В свою очередь, ванночку жестко закрепляли на столике динамометра. Такая схема установки заготовок позволяет осуществить обработку непосредственно под слоем СОЖ, одновременно записывать величину осевой силы и крутящего момента и фиксировать время обработки.

Прижим сверла к образцу производился по упругой схеме при помощи гирь и в процессе работы контролировался динамометром. В качестве СОЖ использовали 8%-й водный раствор эмульсола (ЭМУС), хорошо зарекомендовавшего себя при сверлении неметаллических материалов и обеспечивающего работу сверла в режиме самозатачивания [6].

Процесс сверления исследован на примере получения сквозных отверстий в цельной заготовке.

Для исследований по технологии [5] были изготовлены алмазные сверла диаметром 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 и 3,0 мм различных концентраций.

Работоспособность алмазных сверл принято характеризовать комплексом определенных величин. Для ее оценки применительно к алмазным сверлам, изготовленным из металлизированных алмазов методом экструзии, выбраны следующие основные показатели: удельный расход алмаза q , мг/см; производительность (подача) сверления S , мм/мин; коэффициент режущей способности K мм/(мин · Н); относительный линейный износ сверла Δh (%), определяемый как при электроэрозионной обработке [6, 7]:

$$\Delta h = \frac{h_{\text{нач}} - h_{\text{кон}}}{l} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $h_{\text{нач}}$, $h_{\text{кон}}$ - соответственно высота алмазоносного слоя сверла до и после обработки, мм; l - суммарная высота обработанных отверстий, мм.

Расход алмаза при сверлении 10-ти отверстий определяли путем непосредственного измерения высоты сверла до и после обработки на испытательном стенде. Определив уменьшение высоты алмазоносного слоя сверла Δh , рассчитывали соответствующий этой величине расход алмаза по формуле

$$q = \Delta \omega \beta = \Delta h S \beta \text{ мг}, \quad (2)$$

где $\Delta \omega$ - объем изношенного рабочего слоя, мм³; Δh - высота изношенного рабочего слоя, мм; S - площадь рабочей поверхности сверла, мм²; β - коэффициент, зависящий от количества алмаза в 1 мм³ рабочего объема и определяемый по формуле

$$\beta = 200i / \omega \text{ мг/мм}^3. \quad (3)$$

Здесь i - количество алмаза в сверле, кар; ω - объем рабочего слоя инструмента, мм³; 200 - вес одного карата алмаза, мг.

В качестве варьируемых технологических параметров процесса обработки выбраны осевая сила прижима инструмента к обрабатываемой детали и скорость резания (частота вращения) сверла.

Осевая сила прижима определяет глубину микрорезания. С ее увеличением производительность сверления возрастает. Однако увеличение силы прижима инструмента ограничено прочностью сверла. В наших исследованиях усилие прижима варьировали в диапазоне 2...20 Н.

Рекомендуемые значения скоростей резания алмазным инструментом находятся в интервале от 1 до 35 м/с. С ростом скорости резания существенно повышается производительность процесса и уменьшается удельный объем материала, приходящегося на единичное зерно. Для алмазного сверления, исходя из специфики процесса, рекомендуются нижние значения скоростей указанного диапазона [6]. Кроме того, предельные значения скоростей резания ограничены из-за динамических характеристик оборудования. С увеличением скорости резания возрастают вибрации, падает стойкость сверла, увеличиваются сколы и т.д. Частота вращения сверл диаметром 1...3 мм в данных экспериментах не превышала 16000 об/мин.

Как показали экспериментальные результаты по изучению влияния зернистости алмазных сверл на удельный расход алмаза и коэффициент режущей способности при сверлении ($P_0=4$ Н, $n=16000$ об/мин) стекла и кварца алмазными сверлами диаметром 1,5 мм и 100%-й относительной концентрацией (рис.1), с увеличением зернистости алмаза удельный расход заметно уменьшается. Это объясняется тем, что зерна малых размеров менее прочно удерживаются связкой, особенно в условиях алмазного сверления.

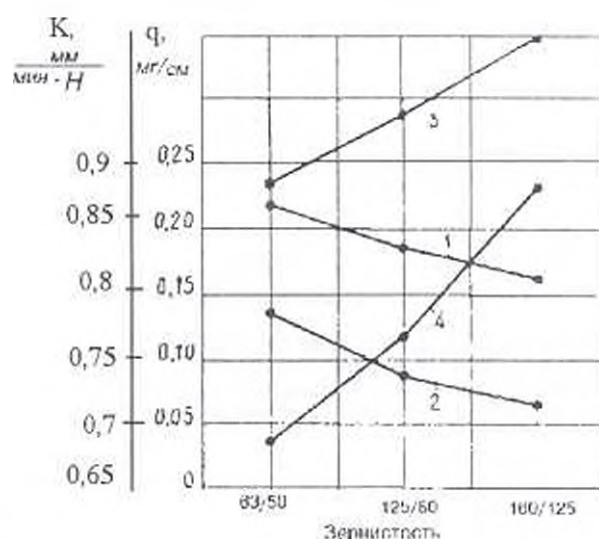


Рис.1. Влияние зернистости алмаза на удельный расход (кривые 1,2) и коэффициент режущей способности (кривые 3,4) при обработке различных материалов экструдированными сверлами: 1, 4- кварц; 2, 3- стекло

Величина вскрытия алмазных зерен малых размеров меньше, поэтому и связка изнашивается больше.

С увеличением зернистости наблюдается интенсивный рост коэффициента режущей способности, что связано с улучшением условий обработки. При этом возрастает вылет зерен из связки, что способствует также и лучшему подводу СОЖ для размещения и отвода продуктов обработки, уменьшению трения связки об обрабатываемый материал.

Экспериментальные результаты влияния концентрации алмазных сверл на удельный расход и коэффициент режущей способности (рис. 2) показали, что с увеличением концентрации удельный расход алмаза уменьшается более интенсивно, чем при изменении зернистости алмаза. Сверла 50%-й концентрации быстро засаливаются, особенно при увеличении осевой силы прижима, вплоть до развальцовки торца инструмента. С увеличением концентрации алмаза коэффициент режущей способности возрастает, что объясняется спецификой процесса сверления отверстий малых диаметров. Максимальными показателями работоспособности обладают сверла 150%-и относительной концентрации независимо от зернистости алмаза и обрабатываемого материала.

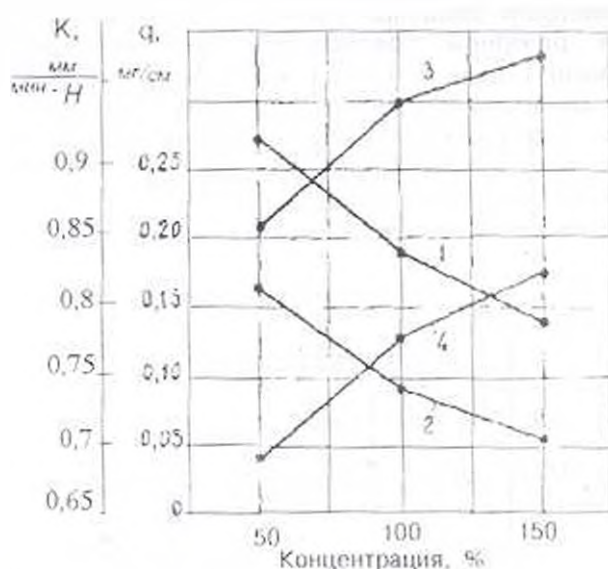


Рис. 2. Влияние относительной концентрации алмаза на удельный расход (кривые 1, 2) и коэффициент режущей способности (кривые 3, 4) при обработке различных материалов экстрадированными сверлами 1, 4 — кварц, 2, 3 — стекло

Различие в режущих свойствах у алмазных сверл наиболее полно проявляется при упругой схеме обработки, то есть когда инструмент прижимается к заготовке с постоянной нормальной силой. При жесткой, принудительной подаче различия почти не наблюдается. Испытательный стенд позволяет вести обработку только по упругой схеме. При этом режимами сверления являются усилие прижима инструмента и частота его вращения.

Приведены зависимости производительности (подачи) S сверления от осевой силы P_z прижима сверла при сверлении различных материалов ($n=16000$ об/мин) экструдированными сверлами, изготовленными из металлизированных (кривые 1 - 3) и неметаллизированных (кривая 4) алмазов зернистости 125/80 и 100%-й концентрации (рис. 3). Как видно, основным фактором, обеспечивающим сьем материала, является осевая сила P_z , и с ее увеличением возрастает производительность обработки. С повышением твердости обрабатываемого материала, при постоянной осевой силе, производительность обработки снижается. При этом производительность обработки сверла, изготовленного из неметаллизированных алмазов, ниже, что объясняется более совершенной структурой экструдированных сверл, изготовленных из металлизированных титаном алмазов.

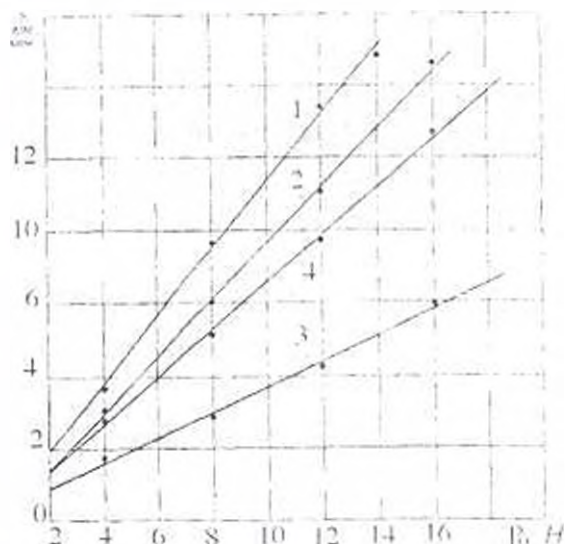


Рис. 3. Зависимость осевой силы P_z от производительности (подачи) S сверления при обработке различных материалов ($n=16000$ об/мин) экструдированными сверлами, изготовленными из металлизированных (1 - 3) и неметаллизированных алмазов. 1 - стекло, 2, 4 - кварц, 3 - лейкосапфир

Как видно из приведенных зависимостей влияния осевой силы и скорости резания V на относительный линейный износ алмазных сверл при обработке кварца (рис. 4), кривые построены для экструдированных сверл, изготовленных из металлизированного титаном (кривые 2, 4) и неметаллизированных (кривые 1, 3) алмазов зернистости 125/80 и 100%-й концентрации. Наблюдается тенденция увеличения износа с повышением осевой силы при алмазном сверлении объясняется условиями эксплуатации алмазных сверл.

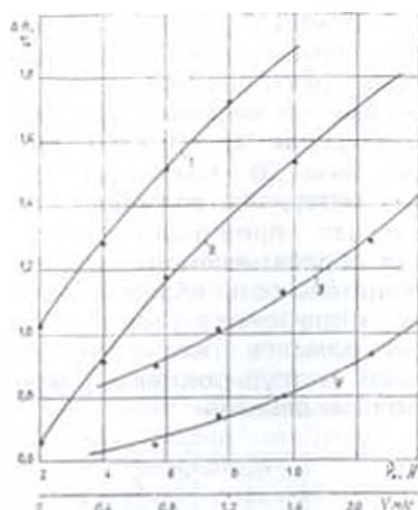


Рис.4. Влияние осевой силы P_0 (кривые 1, 2) и скорости резания (кривые 3,4) на относительный линейный износ алмазных сверл, %, при обработке кварца сверлами 1, 3 - экструдированные сверла, изготовленные из неметаллизированных алмазов; 2, 4 - экструдированные сверла, изготовленные из металлизированных алмазов

С увеличением скорости резания износостойкость инструмента падает менее интенсивно, чем при изменении осевой силы. После сверления всего нескольких отверстий происходит заметное закругление торца сверла, то есть адаптация рабочей поверхности сверла к условиям его работы.

В таблице обобщены средние показатели работоспособности алмазных сверл диаметра ($d=1,5$ мм. AC15, 125/80, 100%, M2-01) при сверлении различных материалов в аналогичных условиях ($n=16000$ об/мин, $P_0=3$ Н)

Таблица

Показатели работоспособности экструдированных алмазных сверл, изготовленных из металлизированных и неметаллизированных алмазов

Типы сверл	Обрабатываемые материалы			
	стекло		кварц	
	Показатели работоспособности			
	К, мм/мин Н	q, мг/см	К, мм/мин Н	q, мг/см
Из металлизиро- ванных алмазов	1,058	0,07	0,881	0,13
Из неметаллизи- рованных алмазов	0,854	0,10	0,665	0,21

Из приведенных данных видно, что экструдированные сверла, изготовленные из металлизированных титаном алмазов, имеют более высокие показатели работоспособности, чем аналогичные инструменты, изготовленные из неметаллизированных алмазов. Удельный расход алмаза уменьшается на 30...38%, а коэффициент режущей способности возрастает на 24...33 %.

Макро- и микроструктурные исследования поверхности сверл, изготовленных из металлизированных титаном и неметаллизированных алмазных порошков, показали, что в сверлах из неметаллизированных алмазных порошков зерно вырывается полностью, а в сверлах из металлизированных порошков зерно остается в виде осколков, т.е. до конца выполняет полезную работу.

Таким образом, в результате металлизации существенно возрастает прочность алмазных зерен, происходит диффузионное взаимодействие между покрытием и связкой, вследствие чего повышается зерноудержание в связке, т.е. увеличивается работоспособность инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Найдич Ю.В., Колесниченко Г.А., Лавриненко И.А. Пайка и металлизация сверхтвердых инструментальных материалов. - Киев: Наукова Думка, 1977. - 186 с.
2. Захаренко И.П. Алмазные инструменты и процессы обработки. - Киев: Наукова Думка, 1980. - 212 с.
3. Плакирование алмазных порошков термодиффузионным насыщением. I. Кинетика формирования металлических покрытий на поверхности алмаза / Н.В. Манукян, С.Г. Агбалян, А.П. Оганян и др. // Порошковая металлургия. - Киев. - 1989. - № 6. - С. 53-56.
4. Плакирование алмазных порошков термодиффузионным насыщением. II. Структура и свойства металлизированных алмазных порошков / Н.В. Манукян, С.Г. Агбалян, А.П. Оганян и др. // Порошковая металлургия. - Киев. - 1989. - № 7. - С. 31-34.
5. Технология изготовления алмазных сверл малого диаметра экструзией / Н.В. Манукян, А.С. Агбалян, А.Н. Казарян и др. // Изв. НАН РА и ГИУА. - Сер. ТН. - 1998. - Т. 51, № 1. - С. 24-29.
6. Балыков А.В., Цесарский А.А. Алмазное сверление деталей из труднообрабатываемых неметаллических материалов. - М.: Машиностроение, 1980. - 64 с.
7. Гурвич Р.А. Алмазно-электролитическое сверление отверстий в твердых сплавах. - Киев: Наукова думка, 1977. - 264 с.

ГИУА

15.04.1998

Изв. НАН и ГИУА Армении (сер. ТН), т. 51, № 1, 1999, с. 9-14

УДК 621.785.5:621.9.025.7

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Г.С. ОВСЕПЯН

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПАЙКИ НА КАЧЕСТВО ТВЕРДОСПЛАВНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Չափերով և $V_{\text{пл}} = I \cdot Q / T_{\text{п}}$ միջոց աշխատելով, որի արժեքով իրադրությանը երաշխավորում է, գողված որակյալ միացությունն անուղղակի: Կատարված հետազոտություն: Իմանալ վրա բացահայտված է, որ կարծր իստատոկվածքի գործիքները վատարժեքու գողվել: Վերջինիս մաշակայունությունը և աշխատունակությունը բարձրանում են 2.5...3.0 անգամ:

Сформулировано условие $V_{пк} = l_1 Q / T$, м/мин, практическая реализация которого гарантирует получение качественного паяного соединения. На основании проведенных исследований установлено, что при пайке твердосплавных инструментов в печах износостойкость и работоспособность возрастают в 2,5...3,0 раза.

Ил. 2, Табл. 1, Библиогр.: 3 назв.

The condition $V_{пк} = l_1 Q / T$, m/min is defined, and its practical realization guarantees high quality soldered joint creation. The realized investigations showed that in case of soldering hard alloy tools in furnaces the wear resistivity and serviceability increase for 2.5...3.0 times.

Fig. 2, Table 1, Ref. 3.

Как известно, широко применяемый в инструментальной промышленности метод пайки твердосплавного режущего инструмента индукционным нагревом имеет при эксплуатации низкую сопротивляемость ударной нагрузке [1]. Наиболее перспективными в этом плане являются технологические процессы пайки твердосплавных инструментов в атмосфере защитного газа с медленным нагревом и охлаждением, обеспечивающие повышение качества режущего инструмента. Помимо этого, названный процесс позволяет наладить массовый выпуск сборного твердосплавного инструмента путем механизации и автоматизации производства [2].

Целью настоящей работы является исследование влияния способов пайки на качество режущего инструмента. При пайке в газовой среде применяются твердые припои различных марок без флюса, которые осуществляются в конвейерной печи при $T=800...1200^\circ\text{C}$ для обеспечения соответствующей прочности спая. Печь состоит из трех частей: зоны нагрева, зоны пайки и термообработки и зоны охлаждения. Через всю печь проходит конвейер. Подготовленные для пайки резцы или похи торцевых фрез устанавливаются на стенку конвейера, где они нагреваются в зоне нагрева. В зоне пайки проходит процесс пайки, а в зоне охлаждения инструмент медленно охлаждается, обеспечивая качественный паяный шов. На основании многочисленных экспериментов установлено, что минимальные внутренние напряжения в твердом сплаве (с учетом фактора производительности) получаются вследствие нагрева со скоростью 90...100 град/мин и охлаждения со скоростью 30...33 град/мин [3]. Для каждой марки припоя, независимо от температуры его плавления, скорость нагрева и охлаждения в печи можно держать постоянной, изменяя при этом скорость перемещения конвейера.

Установлена связь между скоростью перемещения конвейера, температурой плавления припоя, скоростью нагрева и охлаждения, которую можно представить в виде

$$V_{пк} = l_1 Q / T_{пк} \text{ м/мин.} \quad (1)$$

где $V_{пк}$ - скорость перемещения конвейера; l_1 - длина зоны; Q - скорость нагрева; $T_{пк}$ - температура пайки, $T_{пк} = T(1 + T^{mn})$, T - температура плавления припоя; m - коэффициент поправки.

Зная V , T_1 и необходимую величину скорости охлаждения, из (1) можно определить длину зоны (1'), обеспечивающую оптимальную скорость охлаждения

$$l_{opt} = \frac{T_1 V}{Q'} = \frac{T_1 - T_2}{Q'} V \quad (2)$$

где Q' - величина скорости охлаждения (при необходимости зону охлаждения печи можно удлинить или уменьшить длину термической секции).

В температурном интервале пайки 800...1200 °C получены $m=0,52...0,54$. Чем выше температура плавления припоя, тем конвейер движется медленнее и наоборот чем ниже температуры плавления припоя, тем конвейер должен двигаться быстрее для обеспечения постоянной скорости нагрева и охлаждения.

Для многочисленных припоев, температур плавления которых находится в интервале (800...1200 °C), по (1) можно определить скорость перемещения конвейера, обеспечивающую скорости нагрева (90...100 град/мин) и скорости охлаждения (30...33 град/мин).

Поверхность твердых сплавов трудно смачивается расплавленными припоями, что является причиной их дальнейшего отрыва от стальной державки после кратковременной эксплуатации. На характер смачивания и капиллярного течения припоя влияют физико-механические свойства основного металла, способ и режим пайки, состав флюса и припоя, шероховатость поверхности и т.д.

В результате экспериментов выявлен характер смачивания и капиллярное течение припоев при соприкосновении стальной державки с твердым сплавом и нагреве в разных средах и режимах. Для оценки смачиваемости припоя в качестве образца выбрано кольцо из твердого сплава марки Т15К6 (рис. 1а), по внутреннему диаметру которого (15,5 мм) изготовлена стальная державка марки 40Х. Шероховатость обработанной поверхности стержня составила $Ra=2,5$ мкм. Диаметр стержня больше отверстия твердосплавного кольца на 0,5 мм. Стальной стержень был запрессован в твердосплавное кольцо, между которыми по окружности в качестве припоя была размещена медная проволока (медь электролитическая).



Рис. 1 Характер растекания припоя а - образцы для определения смачивания, б - нагрев печи с защитной газовой средой, в - нагрев на установке ТВЧ

Пайка осуществлялась при следующих режимах нагрева (табл.)

Таблица

Режимы пайки твердосплавных режущих инструментов в печи с газовой средой и на установке ТВЧ

Способ нагрева	Скорость нагрева, Q, град/мин	Скорость охлаждения, Q, град/мин	Температура пайки, °C
1. Нагрев в восстановительной газовой среде (H_2+CO+N_2) (в конвейерной печи типа СКЗ-4)	90...100	30...33	1120...1130
2. Нагрев на установке ТВЧ (установка марки ЛПЗ-2)	2280...2300	на воздухе	1120...1130

После пайки наружную часть образца (твердосплавные кольца) снимали путем разрезания на электроискровом станке мод. 4531.

Выявлено, что при пайке в конвейерной печи с восстановительной газовой средой (рис. 16) припой после расплавления смочил почти всю поверхность образца и под влиянием сил капиллярности проник через все соединение и выступил на другом конце стержня по всему диаметру, чего нельзя сказать об образцах рис. 1в, которые были паяны на установке ТВЧ. Одной из основных причин локальной несмачиваемости припоем при нагреве на установке ТВЧ является окисление припаяваемых поверхностей. При этом создаются неблагоприятные условия для равномерного нагрева и устранения образовавшихся газовых пор из шва.

Относительная смачиваемость выражается формулой

$$K = \rho' / \rho'' \quad (3)$$

где ρ' - коэффициент смачивания в среде защитного газа печи; ρ'' - коэффициент смачивания на установке ТВЧ.

По результатам измерений значения K находятся в интервале 1.8...5.0. Степень смачиваемости определяется также величиной краевого угла θ , образованного касательными от точки соприкосновения к поверхности жидкости и твердого тела. Если $\cos\theta > 0$ или $\theta < 90^\circ$, припой смачивает поверхность твердого тела, если $\cos\theta < 0$ или $\theta > 90^\circ$ - не смачивает. По данным эксперимента, полное смачивание твердого сплава происходит при пайке в печи, т.е. $\cos\theta \equiv 1$ или $\theta \equiv 0^\circ$. При индукционной пайке $\theta = 15...20^\circ$.

Экспериментальные исследования показали, что на установке ТВЧ длительность нахождения швов в жидком состоянии не превышает 40...60 с, при пайке в конвейерной печи с восстановительной газовой средой выдержка при температуре 800...1200°C длится от 8 до 13 мин, что способствует удалению газовых пор. То есть лучшая смачиваемость происходит при нагреве в восстановительной газовой среде в конвейерной печи, так как происходит интенсивное взаимодействие припоя с паяным

материалом. При этом уменьшаются внутренние напряжения в твердом сплаве, происходит равномерный нагрев и охлаждение, имеется возможность точно контролировать температуру и процесс пайки, повышается качество инструмента и производительность процесса. Наличие же защитной среды позволяет получить паяный шов высокого качества без особых окисных пленок.

Опыты по исследованию стойкости проводились в производственных условиях. Были выбраны торцевые фрезы диаметром 160 мм с пластинами марок T15K6 и T5K10 и обрабатываемые детали - из сталей 40X и XBG. По каждой марке пластин испытывалось 10 пар фрез. В каждой паре использовались фрезы с ножами, паянными в восстановительной газовой среде и на установке ТВЧ.

Для сравнения интенсивностей износа ножей в качестве основного критерия принималась величина фаски износа по задней грани, которая измерялась лупой Бринеля непосредственно на станке мод. 675. Режимы обработки следующие: скорость резания $V = 300$ м/мин, минутная подача $S_m = 500$ м/мин, подача на один зуб $S_z = 0,07$ мм/зуб.

Установлено (рис.2), что фрезы, паянные на установке ТВЧ, имели низкую сопротивляемость ударной нагрузке в процессе фрезерования. Обнаружены поломки и разрушения твердого сплава, что не имело места при обработке в аналогичных условиях фрезами, паянными в конвейерной печи с газовой средой.

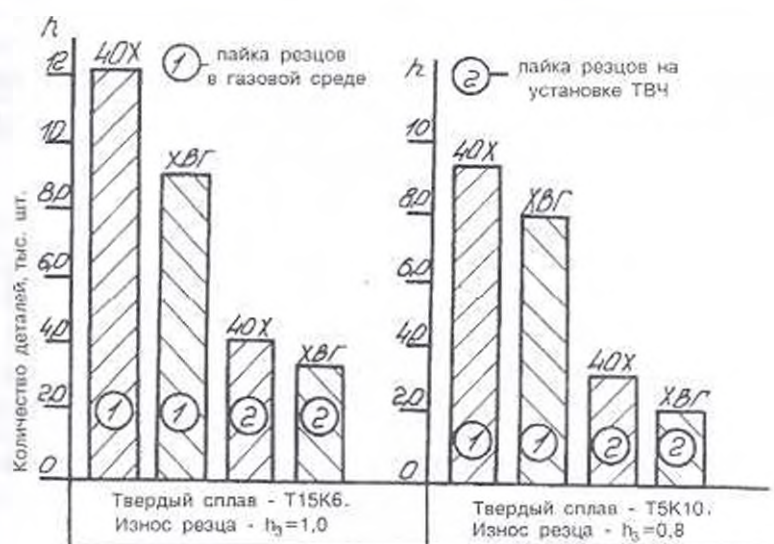


Рис. 2. Влияние способа пайки на количество обработанных деталей

Экспериментальные данные показали, что работоспособность торцевых фрез при пайке в газовой среде повышается в 2,5...3,0 раза при обработке стали 40X и в 2,2...2,8 раза при обработке стали XBG по сравнению с пайкой на установке ТВЧ.

Полученные результаты обусловлены комплексом факторов, положительно влияющих на качество твердого сплава и держанки, на

характер смачивания, а также на процесс определения оптимальной скорости перемещения конвейера в печи способствующей снижению внутренних напряжений в твердом сплаве и получению качественного паяного шва.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ключко Н.А. Процесс развития напряжений и деформаций в паяном соединении твердого сплава со сталью при охлаждении после пайки / Твердые сплавы. ВНИИТС. Металлургия. - 1970. - №10 - С. 36-44
- 2 Есенберлин Р.Е. Пайка металлов в печах с газовой средой - М. Машизм. 1972 - 180 с
- 3 А.с. 1044676 СССР С 23 С11/14. Способ газового азотирования твердосплавных пластин / Г.С. Овсепян (СССР) - №3372128/22-02; Заявл 23.12.81; Опубл. 30.09.83. Бюл. №36. - 6 с.

ГИУА

30.06.1997

Иш. НАН и ГИУ Армении (сер. III), т. III, №1, 1997, с. 14-19

УДК 678.067.5.539.4

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

А.М. СИМОНЯН, С.Ш. ВАЛЕСЯН

КОНСТРУКЦИИ ОПРАВОК ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМОГО САМОПРЕССОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ В ПРОЦЕССЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Պատկերված է կոնստրուկցիան նյութերից պրեսմիչության ուղեկցողությամբ արտադրվողի արտադրությանը հերթում են դեկավորվող ինքնամաշտոկ կառույցով կառույցի և համապատասխանող արդիւնքի կոնստրուկցիաները արդիւնքի կոնստրուկցիան նյութերից պրեսմիչության արտադրությանը արտադրվողի, որը կիրառվում է ունենալով կարող է սեփ ջերմային ընդարձակումը պահպանել և արտադրվողի ջերմային ընդարձակումը դադարեցնել:

Рассмотрена проблема изготовления изделий из композита по прогрессивной технологии с эффектом самопрессования. Приведены конструкции оправок и пресс-форм для изготовления тонкостенных изделий из композитов с регулируемым эффектом самопрессования, возникающим от нагрева элементов.

Ил. 3 Библиогр. 6 назв

The problem of manufacturing goods from the composite by progress technology with a self-pressure effect is considered. The construction of mold and press-forms manufacturing items from the composite with the self-pressure effect arising from the element heating is given.

Ил. 3. Рис. 6

В целях получения полимерных композитов с высокими прочностными характеристиками естественно стремление к достижению относительной прямолинейности волокон и высокой

плотности связующего [1-4]. В определенной мере это возможно при использовании метода намотки полуфабриката композита (препрега: стекловолокно, стеклолента, углеволокно, углелента, пропитанные эпоксидным связующим и прошедшие процесс предварительной сушки) на металлическую оправку, а затем намотки поверх препрега ленты или проволоки для его уплотнения и прессования. В [5, 6] было предложено изготовление оправки из алюминия, а для внешнего намоточного слоя использование проволоки или ленты из стали. При помещении полуфабриката вместе с оправкой в печь происходит процесс полимеризации, сопровождающийся прессованием, возникающим вследствие разницы коэффициентов температурного расширения материалов оправки и внешнего намоточного слоя. Этот эффект, названный самопрессованием, позволил получить стеклопластики и углепластики с высокими прочностными и жесткостными характеристиками. При использовании метода самопрессования возможно изменение давления прессования, осуществляемое лишь путем изменения толщины внешнего намоточного слоя. При этом его предельное значение определяется диаметром и толщиной наматываемого изделия (с увеличением диаметра и уменьшением толщины изделия давление прессования увеличивается).

В настоящей работе рассматриваются конструкции оправок, позволяющие регулировать давление самопрессования в значительных пределах, причем геометрические размеры конструкций практически не ограничены. Рассматриваемые конструкции позволяют достичь требуемого прессования полуфабриката именно в процессе полимеризации. При этом не требуется использование сложного прессового оборудования.

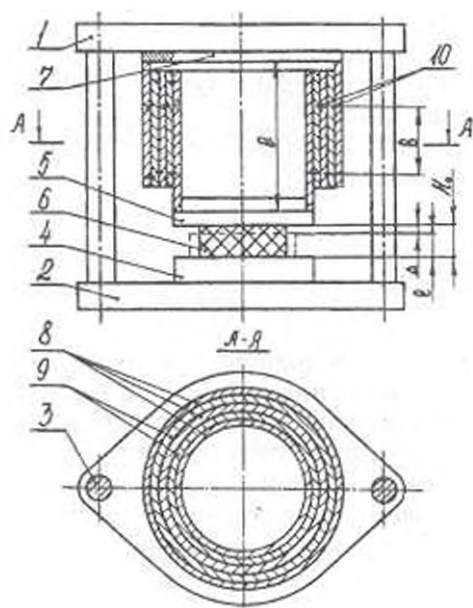


Рис. 1. Конструкция оправок для самопрессования плоских изделий

1. *Оправка для самопрессования плоских образцов.* Конструкция оправки для самопрессования плоских образцов (рис.1) состоит из верхней 1 и нижней 2 траверс, соединенных друг с другом посредством стоек 3. К верхней плите 7 траверсы 1 прикреплены центрически расположенных металлических цилиндров 8 и 9, часть которых изготовлена из материала с относительно большим значением коэффициента теплового расширения (КТР) (деталь 8), а другая часть - из материала с относительно малым значением КТР (деталь 9). Цилиндры соединены друг с другом посредством крепящих штифтов 10. К верхней плите 7 и верхней прессующей плите 5 прикреплены наружный и внутренний цилиндры из системы цилиндров 8. Нижняя прессующая плита 4 прикреплена к нижней траверсе. Образец помещается между прессующими плитами 4 и 5.

Собранная конструкция оправки вместе с образцом помещается в печь, где происходит полимеризация образца, сопровождаемая его прессованием, возникающим вследствие разницы КТР цилиндров.

Расчет взаимного сближения Δ прессующих плит 4 и 5 может быть осуществлен следующим способом. Предположим, что количество цилиндров равно $(2n+1)$, из коих $(n+1)$ цилиндров изготовлено из материала с относительно высоким значением КТР α_1 (например, из алюминия), а n цилиндров и остальные элементы 1, 5 и 7 - из материала с относительно низким значением КТР α_2 (например, из стали). Принимая условно неподвижную верхнюю грань траверсы 1 за начало отсчета перемещений, при увеличении температуры среды на значение ΔT нижняя поверхность верхней плиты 5 будет иметь вертикальное перемещение, выражающееся в виде

$$\Delta l_1 = \alpha_1 \Delta T h + n(\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T b + \alpha_2 \Delta T l, \quad (1)$$

где h - сумма толщин элементов 1, 5 и 7; l - расстояние между нижней 7 и верхней 5 поверхностями элемента; b - расстояние между крепящими штифтами 10.

Перемещение верхней поверхности нижней сжимающей плиты определяется по формуле

$$\Delta l_2 = (l + h) \alpha_2 \Delta T. \quad (2)$$

Взаимное сближение Δ прессующих плит 4 и 5 равно разнице перемещений Δl_1 и Δl_2 :

$$\Delta = (\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T (nb + l). \quad (3)$$

Величина Δ является определяющей уплотнение материала в процессе полимеризации. При предлагаемом способе самопрессования невозможно непосредственно определить давление прессования. Однако его практический расчет может быть осуществлен на основе измерения толщины уже спрессованного образца H и зазора между прессующими плитами H_0 до помещения оправки с образцом в печь. Если давление, сопровождающее процесс полимеризации, равно нулю, то должно соблюдаться условие

$$H_0 - \Delta \geq H. \quad (4)$$

Если же это условие не соблюдается, то возникает давление прессования, определяемое следующим способом. При допущении, что элементы 1...5 и 7 являются жесткими, для расчета прессующего напряжения получим

$$\sigma = \pi d (H - H_0 + \Delta) / [(1 + nb) / E_1 \delta_1 + nb / E_2 \delta_2] F, \quad (5)$$

где Δ определяется по (3); δ_1 и δ_2 - толщины цилиндров из материалов с α_1 и α_2 соответственно; E_1 и E_2 - значения модулей упругости; d - диаметр цилиндров, приближенно принимаемый для всех цилиндров одним и тем же.

Уплотнение или прессование композита может регулироваться изменением расстояний b между крепящими штифтами.

2. *Оправка для самопрессования профильных изделий.* Конструкция оправки для самопрессования профильных изделий методом намотки (рис.2) имеет следующий вид: внутренняя часть оправки состоит из элементов 1 прямоугольного сечения, на которые сначала в отдельности, а затем вместе наматываются и укладываются слои полуфабриката композита. Элементы 1 вместе с полуфабрикатом зажимаются между пластинами 4 с помощью шпилек 5 и гаек 6 посредством втулок 8. Вследствие того, что втулки 8, а также элементы 1 изготавливаются из материала с более высоким значением КТР, чем у материала шпилек, при нагревании оправки с полуфабрикатом происходит самопрессование композита.

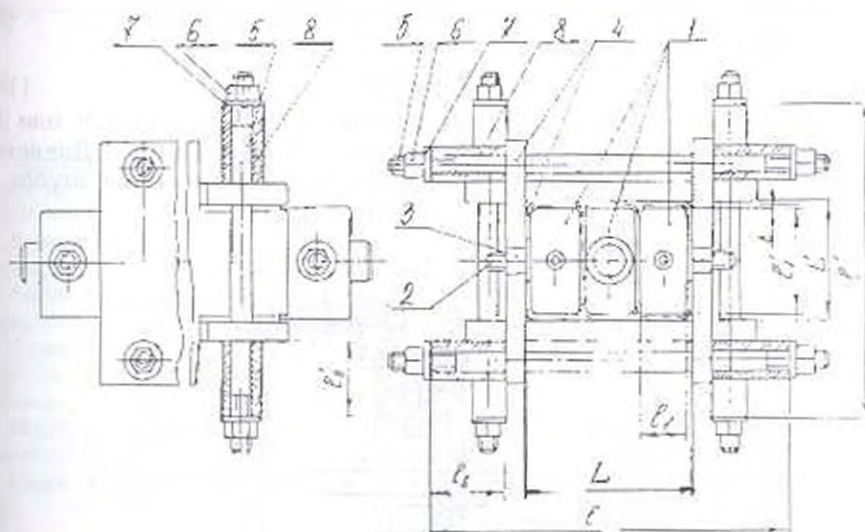


Рис. 2. Конструкция оправок для самопрессования профильных изделий

Взаимное сближение Δ_1 и Δ_2 прессующих пластин, обеспечивающих уплотнение композита при полимеризации, определяется по формулам

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= (2l'_n + n l'_1) (\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T = l'' (\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T, \\ \Delta_2 &= (2l'_n + l'_2) (\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T = l'' (\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T. \end{aligned} \quad (6)$$



где Δ - сближение пластин в направлении вдоль ℓ ; Δ_1 - в направлении ℓ' .

Для определения давления прессования наиболее эффективным является измерение расстояний L и L' между прессующими плитами в направлении ℓ и ℓ' после закрепления полуфабриката и размеров элементов 1, а также толщин образцов композита δ в процессе полимеризации. Суммарная толщина зазоров (в направлении ℓ), закрепленных полуфабрикатом, равна $L - n\ell_1$. При увеличении температуры на ΔT эта величина уменьшается до значения $(n+1)\delta$. При этом

$$\frac{P\ell}{E_1 F_{\text{ш}}} + \frac{2P\ell_1}{E_2 F_{\text{в}}} = (n+1)\delta - [L - n\ell_1 - (2\ell_n + n\ell_1)\Delta T(\alpha_1 - \alpha_2)], \quad (7)$$

где P - усилие прессования; $F_{\text{ш}}$ и $F_{\text{в}}$ - суммарные площади сечений шпильки и втулки, расположенных вдоль ℓ .

Давление же прессования σ в направлении ℓ имеет вид

$$\sigma = P / \ell_1' h, \quad (8)$$

где h - размер элементов 1 в направлении, перпендикулярном чертежу на рис.2.

В направлении ℓ' по (7) и (8) имеем

$$\frac{P_1 \ell'}{E_1 F_{\text{ш}}} + \frac{2P_1 \ell_1'}{E_2 F_{\text{в}}} = 2\delta - [L' - \ell' + (2\ell_n' + \ell_1')\Delta T(\alpha_1 - \alpha_2)] \quad (9)$$

$$\sigma' = P_1 / n_1' h. \quad (10)$$

Очевидно, что при отрицательности правых частей (7) или (9) уплотнение материала происходит без прессования. Давление самопрессования может регулироваться путем изменения втулок, а также их сечений, как и сечений шпилек.

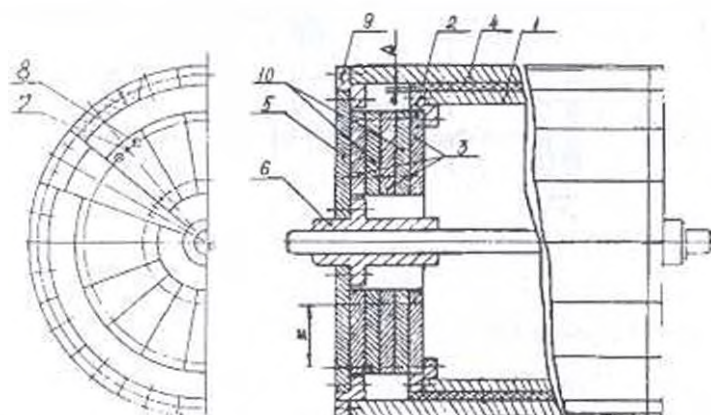


Рис. 3. Конструкция оправок для самопрессования цилиндрических оболочек

3. Оправка для самопрессования цилиндрических оболочек. Конструкция оправки для самопрессования цилиндрических оболочек (рис.3) состоит из внутренней 1 и наружной 4 обечаек, собранных из отдельных $(2n+1)$ сегментов, опирающихся на башмаки 2 и 9.

Причем башмак 2 также состоит из сегментов, которые закреплены на секторах 3 и 10, соединенных между собой и с диском 5 посредством штифтов 7 и винтов 8. Диск 5 закрепляется на ступице 6. Секторы 3 изготавливаются из материала с относительно высоким значением α_1 , а секторы 10 - из материала с относительно низким значением α_2 .

Технологический процесс заключается в следующем. На собранную внутреннюю обечайку производится намотка и укладка полуфабриката композита, затем собирается наружная обечайка и полуфабрикат таким образом оказывается заключенным между обечайками. Вследствие разницы значений КТР материалов секторов 3 и 10 происходит самопрессование полуфабриката в процессе полимеризации при нагреве. Из технологических соображений иногда целесообразно наружную обечайку заменять намоткой стальной проволокой или лентой поверх полуфабриката.

Взаимное сближение обечаек Δ , приводящее к уплотнению полуфабриката, может быть рассчитано по формуле

$$\Delta = \pi z (\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T. \quad (11)$$

При относительно больших значениях Δ возникает необходимость расчета прессующего давления, что может быть осуществлено в каждом конкретном случае. Значения Δ может регулироваться изменением z , осуществляемым предварительным перемещением штифтов в другие заранее подготовленные отверстия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болотин В.В. Влияние технологических факторов на механическую подвижность конструкций из композитов // Механика полимеров. - 1972 - № 3. - С.529- 540.
2. Ван Фо Фы Г.А. Конструкции из армированных пластмасс - Киев: Техника, 1971. - 220 с.
3. Тарнопольский Ю.М., Розе А.В. Особенности расчета деталей из армированных пластиков. - Рига: Зинатис, 1969. - 274 с.
4. Симонян А.М. Модель деформативности и прочности волокнистого композита с учетом непрямолинейности волокон // Изв. АН Арм. ССР. Механика. - 1991. № 2. - С.36-44.
5. Мартиросян М.М. Получение прессованных тонкостенных труб из стеклопластика // Промышленность Армении. - 1971. - №10. - С.55-57.
6. Мартиросян М.М., Симонян А.М. К вопросу об оправках тонких труб из ПКМ // Изв. АН Арм. ССР. Сер. ТН. - 1983. - № 4. - С.12-16.

А.Ш. АНТОНЯН

ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ВАЖНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛИ ОБОГАЩЕНИЯ КАПАНСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

Գնահատվում է Կապանի լեռնահանքահանքի կոմբինատի հարստացման գործընթացի էությունը պարամետրերի վրա ազդող մանրացման պարամետրերի ինֆորմացիոն արժեքները: Օգտագործվում է մասնակի ինֆորմացիայի մեթոդը, որը կանխում է ինքնա-ուսման, տեղեկե է մուտքային պարամետրերի խմբի գործընթացի ուսումնասիրվող փոփոխելի վերաբերյալ տեղեկատվություն գնահատման վրա: Կատարված վերլուծության արդյունքները թույլ են տալիս սխեմել տրամաբանական և վերլուծական մոդելներ, որոնք ազդեցություն են հարուցեցնում խսրթիկայի տեխնոլոգիական սխեմայի աշխատանքի օպտիմալացման ազդեցությունների կազմման համար:

Дается оценка информационной значимости параметров измельчения, влияющих на выходные параметры обогащения на КГОК. Использован метод частной информации, основанный на оценке информативности как отдельных входных параметров, так и их групп об исследуемых показателях процесса. Результаты проведенного анализа позволяют разработать логические и аналитические модели, которые могут быть использованы для составления алгоритма оптимизации технологической схемы обогатительной фабрики КГОК.

Իմ. 1, Табл. 3 Библиогр. 2 назв.

Information significance assessment of grinding parameters influencing the enrichment output parameters is stated. The method of private information based on informativeness assessment of both input parameters and their groups about process indices studied is used. The results of analyses permit to develop logical and analytical models to be used for optimization algorithm creation of technological scheme enrichment in Kapan mine enrichment plant.

1 - 1 Tables 3. Ref 2.

Отличительной особенностью процесса обогащения медных руд в настоящее время является все более расширяющееся глубокое обогащение бедных руд, значительно отличающихся по геологическим и технологическим типам. Это в значительной мере усложняет управление технологическим процессом из-за отсутствия оперативной информации о качестве перерабатываемой руды или экспресс-анализа типов руд.

Целью настоящей работы является оценка информационной важности параметров измельчения (рис.), влияющих на выходные параметры обогащения на Капанском горно-обогатительном комбинате (КГОК).

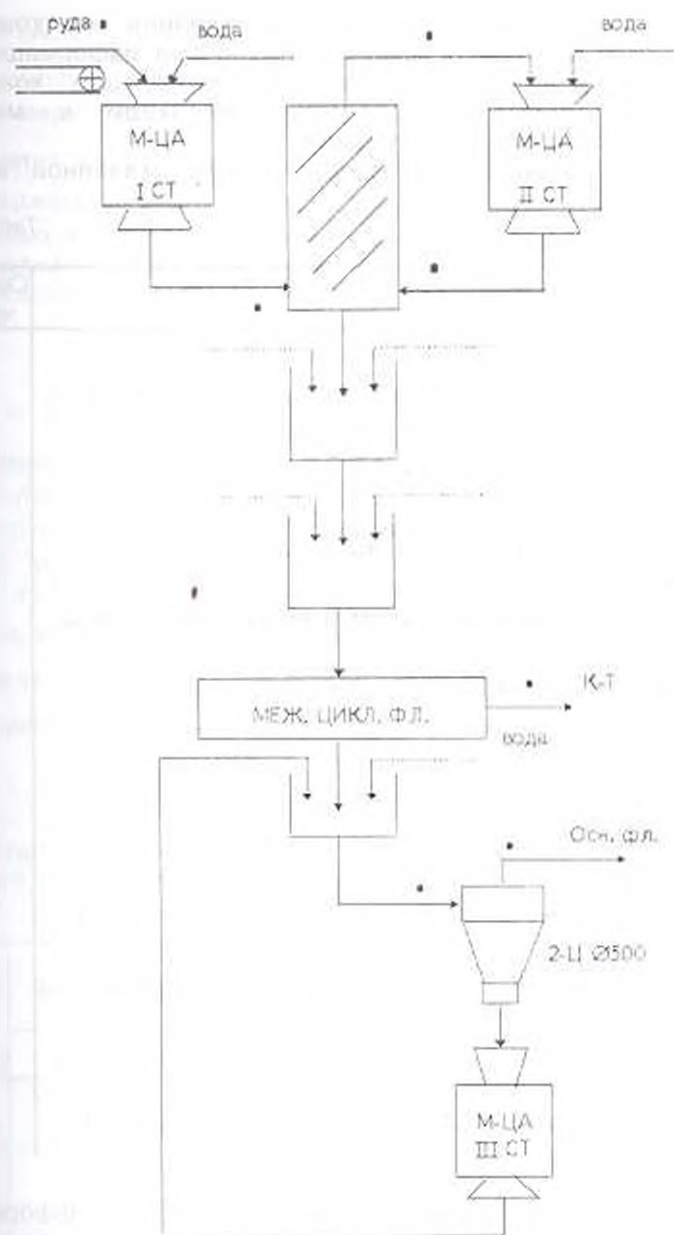


Рис. Упрощенная схема цепи аппаратов измельчительного отделения обогатительной фабрики КГОК

Экспериментальные исследования технологического процесса измельчительного отделения проводились на обогатительной фабрике (ОФ) КГОК в течение длительного периода времени. При этом учитывалась разнообразность руды КГОК по минералогическому составу - от существенно медных до полиметаллических. По данным статистической информации (табл 1), технологические параметры

измельчения неравноценны по степени влияния на конечные показатели. В этой связи возникает задача оценки информационной важности параметров измельчения, характеризующих конечные технологические показатели: содержание меди в медном концентрате и хвостах медной флотации.

Существуют различные методы решения указанной задачи [1,2].

Таблица 1

Наименование параметра	Обозначение
1. Производительность мельницы, <i>т/час</i>	X_1
2. Содержание класса +15 мм в исходной руде, %	X_2
3. Содержание меди в исходной руде, %	X_3
4. Содержание класса -0,074 мм в разгрузке стержневой мельницы, %	X_4
5. Содержание класса -0,074 мм в разгрузке второй стадии измельчения, %	X_5
6. Содержание класса -0,074 мм в песках классификатора, %	X_6
7. Содержание класса -0,074 мм в сливе классификатора, %	X_7
8. Плотность слива классификатора, <i>г/литр</i>	X_8
9. Расчетное значение циркулирующей нагрузки, %	X_9
10. Содержание класса -0,074 мм в питании гидроциклонов, Ø 500 мм	X_{10}
11. Содержание класса -0,074 мм в сливе гидроциклонов, Ø 500 мм	X_{11}
12. Содержание меди в промпродукте межцикловой флотации, %	X_{12}
13. Содержание меди в технологическом медном концентрате, %	$Y_{x-y_n}^{(n)}$
14. Содержание меди в хвостах медной флотации, %	$Y_{y_n}^{(n)}$

В настоящей работе используется метод частной информации [2], основанный на оценке информативности об исследуемых показателях процесса как отдельных групп входных параметров, так и их подгрупп. Информативность группы входных параметров X_i ($i = \overline{1, n}$) о выходном параметре Y определяется по величине так называемой "шеноновской" информации $J(Y/\bar{X})$ об Y , содержащейся в векторе $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ (в битах)

$$J(Y/\bar{X}) = -\frac{1}{2} \log_2 (1 - R^2(Y/\bar{X})), \quad (1)$$

где $\bar{X}=(X_1, X_2, \dots, X_n)$; $R(Y/\bar{X})$ - коэффициент множественной корреляции Y с факторами $\bar{X}$.

За меру индивидуального вклада параметра X_i в величину Y принимается частная информация $J(Y/X_i; \bar{X}_{-i})$, т.е. информация об Y , содержащаяся в X_i при условии устранения изменений, вызываемых влиянием остальных параметров.

Частная информация в соответствии с "шеновским" представлением (1) определяется по формуле

$$J(Y/X_i; \bar{X}_{-i}) = -\frac{1}{2} \log_2 [1 - r^2(Y, X_i, \bar{X}_{-i})], \quad (2)$$

где $\bar{X}_{-i}=(X_1, \dots, X_{i-1}, X_{i+1}, \dots, X_n)$; $r(Y, X_i, \bar{X}_{-i})$ - частный коэффициент корреляции Y с X_i при фиксированных значениях остальных входных параметров.

Частный коэффициент корреляции $r(y, x_i, \bar{x}_{-i})$ вычисляется по формуле, указанной в [2].

Приведены результаты оценки индивидуального информационного вклада факторов X_i ($i=1, 12$) в выходные показатели Y_{k-1}^{Cu} , Y_{k-1}^{Cu} (табл. 2). Как видно, к информативным параметрам по отношению к Y_{k-1}^{Cu} можно отнести параметры $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}$. Параметры ранжированы в порядке уменьшения количества информации в битах. К информативным параметрам относятся те, для которых количество информации больше 0.2.

Таблица 2

Параметры	Кол-во информации (бит)	
	Y_{k-1}^{Cu}	Y_{k-1}^{Cu}
X_1	0,26	0,08
X_2	0,33	0,11
X_3	0,49	0,03
X_4	0,17	0,06
X_5	0,28	0,12
X_6	0,29	0,1
X_7	0,30	0,24
X_8	0,23	0,14
X_9	0,41	0,11
X_{10}	0,17	0,09
X_{11}	0,42	0,26
X_{12}	0,52	0,28

Таблица 3

Параметры	Коэффициенты корреляции	
	Y_{k-1}^{Cu}	Y_{k-1}^{Cu}
X_1	0,26	0,08
X_2	0,30	0,14
X_3	0,48	0,06
X_4	0,22	0,07
X_5	0,32	0,16
X_6	0,38	0,09
X_7	0,39	0,26
X_8	0,19	0,15
X_9	0,36	0,31
X_{10}	0,16	0,09
X_{11}	0,44	0,21
X_{12}	0,54	0,34

Проведен также корреляционный анализ взаимосвязей технологических параметров измельчительного цикла с выходными параметрами флотации $Y_{\text{с-тн}}^{\text{св}}$, $Y_{\text{нн}}^{\text{св}}$ (табл. 3). Как видно, по доверительным интервалам значимыми являются коэффициенты корреляции, имеющие величину больше 0,28. Из анализа табл. 3 следует, что для $Y_{\text{с-тн}}^{\text{св}}$ значимыми являются параметры X_{12} , X_{11} , X_{11} , X_7 , X_6 , X_9 , X_5 , X_{11} , а для $Y_{\text{нн}}^{\text{св}}$ - X_{12} , X_9 .

Несмотря на различие оценок относительной важности параметров по методу частной информации и величин парных коэффициентов корреляции, можно говорить об эффективности применения метода частной информации.

Результаты проведенного анализа позволяют разработать определенные логические и аналитические модели, применение которых направлено на улучшение функционирования технологической схемы. Они могут быть использованы для составления алгоритма оптимизации технологической схемы флотационного обогащения и структуры управления параметрами как схемы в целом, так и отдельных подсистем (подсистем) ОФ КГОК.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Антонян А.Ш., Асатурян А.Р.** Статистический анализ взаимосвязи параметров в схеме флотационного обогащения // Промышленность Армении. - 1985. - № 12. - С. 34-36.
2. **Ковальский М.И.** Об одном алгоритме выбора информативных параметров при идентификации многомерных объектов управления // Автоматика и телемеханика. - 1973. - № 6. - С. 57-64.

Капанский уч. комплекс ГИУА

29.05.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LII, № 1, 1999, с. 24 - 28.

УДК 543.42

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

А.С. КУЗАНЯН, С.Р. АРУТЮНЯН, А.Л. ГЮЛАМИРЯН, К.Л. ОВАНЕСЯН

СИНТЕЗ W-СОДЕРЖАЩИХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК НА ПОДЛОЖКАХ CaNdAlO_4

Վիսմուրդի և W-ի բարձրջերմաստիճանային գերհաղորդչների որոնման նպատակով ստացվել են CaNdAlO_4 (001) տակդիրների քիմիական փափեցման և նրանց վրա Bi-Pb-Si-Ca-Cu-O համալցարգում W պարունակող բարձրջերմաստիճանային գերհաղորդչային թաղանթների ստացման պոտենսները:

Обоснована целесообразность поиска новых высокотемпературных сверхпроводников с использованием технологии напыления тонких пленок. Исследованы условия химической полировки подложек CaNdAlO_4 (001) и получения на них тонких пленок Bi-содержащих высокотемпературных сверхпроводников в системе Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O.

Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.

Search expediency of new high-temperature superconductors using thin-film evaporation technology is considered. Both chemical polishing conditions of CaNdAlO_4 (001) substrates and Bi-containing high-temperature superconducting thin-film evaporation on a Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O system are investigated.

Table 1. Ref. 7.

Со времени открытия высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) [1] задача поиска новых сверхпроводящих соединений продолжает оставаться актуальной. Одним из возможных путей поиска новых ВТСП материалов является синтез тонких пленок [2].

Преимущества пленочной технологии по сравнению с твердофазным синтезом заключаются в следующем. Во-первых, для получения объемных образцов некоторых соединений требуются высокие давления и температуры, продолжительное время термообработки, которые нет необходимости соблюдать при синтезе пленок этих соединений. Во-вторых, пленочная технология обеспечивает синтез соединений, получение объемных образцов которых кажется трудноразрешимой задачей даже для далекого будущего. Отметим метод послойного напыления атомных плоскостей, позволяющий чередованием выбранных атомарных монослоев собирать желаемую элементарную ячейку.

Для различия процессов кристаллизации при использовании метода твердофазного синтеза и пленочной технологии обратимся к процессам образования кристаллических зародышей. Согласно [3], работа образования зародыша на подложке меньше работы гомогенного зарождения в объеме среды, а если осаждающееся вещество полностью смачивает подложку, то кристаллизация на подложке начинается вообще при нулевом или даже отрицательном переохлаждении. Даже при умеренном смачивании высота потенциального барьера для зарождения на поверхности на порядок меньше, чем для зарождения в объеме, т.е. образование зародышей на посторонних поверхностях гораздо выгоднее гомогенного зарождения в объеме.

Целью настоящей работы является освоение методики лазерного напыления ВТСП пленок системы Bi-Sr-Ca-Cu-O, в которой возможно образование сверхпроводящих фаз с общей формулой $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_y$ [4]. Число слоев меди в элементарной ячейке (n) может изменяться от 1 до 11, причем увеличение n сначала приводит к увеличению температуры сверхпроводящего перехода (T_c), и при $n=3$ достигается максимальная $T_c=110$ К для фазы $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (в литературе принято обозначение 2223). Дальнейшее увеличение n приводит к уменьшению T_c . Отметим также, что в данной системе среди соединений с критической температурой выше кипения жидкого азота стабильной является

только фаза $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ (2212) с $T_c=80$ К. При $n \geq 3$ образующиеся фазы метастабильны. Исследования возможности повышения содержания сверхпроводящей фазы в образцах и улучшения сверхпроводящих параметров путем введения малых добавок выявили фазу стабилизации 2223 примесью свинца [5]. Методом твердофазного синтеза удалось синтезировать однофазные объемные образцы состава $\text{Bi}_2\text{Pb}_{n-2}\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_x$, однако для этого понадобилось проводить термообработку в течение 100 и более часов. При этом вообще не удалось синтезировать однофазные объемные образцы фаз с $n \geq 3$.

Пленки Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O получены напылением на подложке CaNdAlO_4 ориентации (001). Були CaNdAlO_4 были выращены в лаборатории активных материалов Института физических исследований НАН Армении. В качестве мишеней использовались керамические таблетки, синтезированные методом твердофазной реакции с использованием оксидов и карбонатов чистотой не хуже 99,9%. Синтез мишеней и установка лазерного напыления подробно описаны в [6]. Использовалось излучение лазера YAG:Nd^{3+} с модулированной добротностью (пассивный затвор LiF) с длиной волны 1,06 мкм, энергией импульса - 0,1 Дж и длительностью 20 нс. Пленки напылялись при температуре подложки 500...760°C, подвергались термообработке при более высоких температурах 760...860°C. Расстояние мишень-подложка составляло 24 мм. Рентгеноструктурные исследования как подложек, так и пленок проводились на дифрактометре ДРОН-4,0. Температурная зависимость сопротивления $R(T)$ измерялась четырехконтактным методом с использованием прижимных контактов при измерительном токе 100 мкА. Наблюдения протравленных поверхностей подложек проводились на интерференционно-поляризационном микроскопе "Biolam".

Было проведено более 100 процессов напыления. По некоторым из них приведены данные (табл.) В графе "фазовый состав" представлены соотношения фаз 2212 и 2223 по данным зависимости $R(T)$. Характеристики, приведенные в первых трех строках таблицы, свидетельствуют о том, что даже при широком варьировании условий синтеза не удалось получить пленки, содержащие сверхпроводящие фазы, из стехиометрической мишени $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$. При использовании мишеней со свинцом получены пленки, содержащие в основном 2212 и 2223, а также их смесь. Следует отметить, что по данным рентгенофазового анализа пленки, имеющие на зависимости $R(T)$ сверхпроводящий переход только при 110 К (фаза 2223), содержат также фазу 2212. Такие пленки обладают критическими параметрами. Высокая критическая температура определяется фазой 2223, высокий критический ток - фазой 2212.

Таблица

Условия напыления и характеристики Bi-содержащих ВТСП пленок

Состав мишени Bi:Pb:Sr:Ca:Cu:O	T _{нап} , °C	1 отжиг		2 отжиг		Содержание фаз		T _c (R=0), К
		T _c	мин	T _c	мин	2212	2223	
2:0:2:1:2	600	780	45	820	30	-	-	
2:0:2:1:2	500	860	60	870	60	-	-	
2:0:2:1:2	760	930	30	930	30	-	-	
2:2:1.4:1.4:3.6	500	850	120			+	+	
2:2:1.4:1.4:3.6	500	865	120			++	+	
2:2:1.4:1.4:3.6	500	870	180			++	++	78
2:2:1.4:1.4:3.6	500	870	90			++++		78
2:2:1.4:1.4:3.6	500	872	180			-	+-	82
2:2:1.4:1.4:3.6	500	870	180	870	60	+	+++	90
2:0.5:1.4:2:3.6	500	868	210				++++	95

Знак (+) соответствует ~ 25% сверхпроводящего перехода.

Исследования показали на примере системы Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O, что оксидные соединения меди выдерживают более высокие режимы термообработки в контакте с подложками CaNdAlO₄ по сравнению с широко используемыми подложками MgO и YSZ. Данный факт также может быть полезен при поиске новых ВТСП соединений.

При проведении поисковых исследований немаловажное значение имеет возможность многократного использования подложек. Общеизвестна зависимость качества тонких пленок от совершенства поверхности подложки. С целью решения этих проблем и удаления нарушенного при механической обработке поверхностного слоя разработана методика химической полировки подложек CaNdAlO₄. Полировка осуществлялась в две стадии с использованием ортофосфорной кислоты H₃PO₄ стандартной концентрации (85%) и водного раствора H₂O₂-NH₄OH. В [7] было показано, что при травлении в H₃PO₄ при 35°C в течение 30 мин на плоскости (001) выявляются четкие фигуры травления. С увеличением температуры плотность их уменьшается, и при температурах выше 75°C раствор становится полирующим. Причем время, необходимое для полировки кристалла, уменьшается с увеличением температуры. Ухудшение качества поверхности при длительной полировке из-за возможного появления бугорков, образованных продуктами реакций вокруг центров зарождения и выходов дислокаций, делает необходимым установление оптимального соотношения времени и температуры обработки подложек CaNdAlO₄. В зависимости от толщины удаляемого слоя при температуре 145°C продолжительность обработки подложек составляет 30...50 с. Последующее использование водного раствора H₂O₂-NH₄OH ускоряет процесс удаления адсорбированных продуктов реакции с поверхности подложки из-за образования комплексов типа [M(NH₄)_n]^mOH₂, легко переходящих в раствор благодаря лучшей растворимости.

Полученные в рамках проведенных исследований Bi-содержащие ВТСП пленки были использованы при проведении

физических экспериментов. В частности, совместно с исследователями из Мэрилендского университета впервые на Bi-содержащих пленках обнаружен быстрый (с релаксацией 200 пс) резистивный отклик при оптическом возбуждении в сверхпроводящем состоянии.

Работа выполнена в рамках утвержденной Министерством образования и науки РА темы № 98-837.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bednorz J.G and Muller K.A. Possible High T_c Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System // Z. Phys. B. - 1986. - V.64, №2. - P. 189-193.
2. Yamamoto H., Naito M. and Sato H.A. New Superconducting Cuprate in a Ba-Cu-O System // Jpn. J. Appl. Phys. - 1997. - V. 36, № 2. - P. 341-344.
3. Чернов А.А. Современная кристаллография / Под ред. Б.К. Вайнштейна - М.: Наука, 1980. - Т. 3. - С. 53-57.
4. Chu C.W. A Decade of High Temperature Superconducting Materials // Preprint № 97; 159. Texas Center for Superconductivity at the University of Houston. - 1997. - P. 1-7.
5. Grivel J.-C., Grindatto D.P., Grasso G. and Flukiger R. Studies of the Formation Mechanism of the $(\text{Bi}, \text{Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10-\delta}$ Phase // Supercond. Sci. Technol. - 1988. - V.11, № 2. - P. 110-115.
6. Бадалянц Г.Р., Кузанын А.С., Пилосян С.Х., Терзян С.С. Получение Bi-сверхпроводящих пленок на кремниевых подложках // Сверхпроводимость: физика, химия, техника - 1993 - Т. 6, №2. - С. 355-360.
7. Ованесян К.Л., Петросян А.Г., Ширинян Г.О. Фигуры травления на поверхности многокристаллол CaKdAlO_4 // Неорган. материалы. - 1995 - Т. 31, № 1. - С. 251-254.

ИФИ НАН РА

05.06.1998

Изв. НАН и ИГУ Армении (сер. ТН), т. LII, № 1, 1999, с. 28 - 33.

ՋՏՊ 621.661

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ

Լ.Տ. ՂՈՒՆՈՅԱՆ, Գ.Պ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ

ԿԱՐԾՐ ՎԱՐԵԼԻՔՆԵՐԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ԱՐԷՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ, ԶԱՓԱՆԻՇՆԵՐԸ ԵՎ ՆԱԶՎԱՐԿԱՅԻՆ ՏՐԱՄԱԲԱՆԱԿԱՆ ՍԽԵՄԱՆԵՐԸ

Առաջարկվում է կիրառել վառիչքների արդյունավետ օգտագործման չափանիշների հաշվարկի մեթոդները, որն օգտվել է ամենից նաև որպես նյութաբան կորուստները, իսկ որպես արդյունավետության չափանիշ՝ վառարանի փոփոխական բաղադրամասի գները:

Приведен метод эффективности использования твердых топлив с учетом материальных потерь. В качестве экономического критерия принята стоимость топливной составляющей используемой теплоты.

Իմ. 1. Библиогр. 1 назв.

A method of solid fuel usage efficiency including material losses is proposed. The fuel component cost of the consumed heat is accepted as an economical criterion [in 1. Ref. 1].

Տեղական կարծիք վառելիքների (ՏԿՎ) արդյունավետ օգտագործման կարելի է խնդրին նվիրված հետազոտություններ (կատարելու լուրջ դժվարություններ առաջանում են հիմնականում երկու պատճառներով.

ա) ճշտված ու հաստատված չեն այդ վառելիքների պաշարները (չնայն բացառությամբ): Անհրաժեշտ չափով ճշտված չեն նաեւ ինժեներական հանձնարարների կարելի է երկրաբանական բնութագրերը (հատկապես հասարակ կազմակերպման իմաստով).

բ) խիստ անբավարար է վառելիքների զների, դրանց կազմավորման ու սպասվող դինամիկայի մասին եղած տեղեկատվությունը.

դա չի նշանակում, թե ՏԿՎ-ի օգտագործման ուղիների որոնումը պետք է հետաձգել մինչեւ ԲԲ վառելիքատեղեկական համալիրի (ՎԷԲ) լիակայունացումը: Չպետք է մոռանալ, որ այդ կայունացման համար անհրաժեշտ է որոշել տեղական կարծիք վառելիքների արդյունավետ օգտագործման սպասվող ծավալներն ու տարբերակները.

Նախապես պետք է մշակել էներգախնայող այնպիսի մեթոդ, որը հնարավորություն կտա որոնել եւ ճշտել պահանջվող նվազագույն տեղեկատվությունը եւ ապա, որքան հնարավոր է արագ, այն օգտագործել տեխնիկատնտեսական հաշվարկներ կատարելիս: Ելակետային տվյալների ամորոշության պայմաններում անհրաժեշտ կլինի դիտարկել հանրապետության էներգետիկական իրադրության անվտանգության աստիճանը եւ զարգացման հեռանկարների մի քանի տարբերակներ.

Այսպես, ըստ ՏԿՎ-ի պաշարների, կարելի է դիտարկել ելուք տարբերակներ.

ա) այդ վառելիքների միջին պաշարները ինժեներական համարվող հանձնարարում (ըստ ԲԲ վառելիքային կադաստրի), բ) հնարավոր առավել պաշարներն ըստ վառելիքային կադաստրի եւ առանձին հետախուզական տվյալների, գ) նախորդ տարբերակներում հաշվի առած հանձնարարների միջին կանխատեսումային պաշարները:

Եթե տեխնիկատնտեսագիտական վերլուծությունը կատարվում է որեւէ հանձնարարի կամ մույն տեսակի վառելիքի համույթ ունեցող տարբեր հանձնարարների համար, վառելիքի որակական ցուցանիշները պետք է բերել միջին կշռային մեծության, կամ, այդ ցուցանիշների ճշտված զգալի տարբերությունների դեպքում, դիտարկել ընդամենը երկու տարբերակ՝ ըստ միջին նվազագույնի եւ միջին առավելագույնի: Հնարավոր է նաեւ միեւնույն կամ քավակային մոտ գտնվող վառելիքների համար հաշվարկները կատարել դրանք բերելով պայմանական վառելիքի (վերահաշվելով նաեւ պաշարները եթե տեխնիկական կազմերի միջեւ տարբերությունը խիստ մեծ չէ):

Այդ կարգի վերլուծության համար ընդունվում է նաեւ, որ վառելիքը կարող է օգտագործվել եւ առանց նախնական վերամշակման, եւ մեխանիկական (բրիկետավորում) կամ քերմաքիմիական վերամշակման ենթարկվելուց հետո: Առանձին դեպքերում միաժամանակ նախատեսում են վերամշակման այդ երկու եղանակները:

Հաշվի առնելով հանրապետության տնտեսության զարգացման անցումային շրջանի լուրջ դժվարությունները, անհրաժեշտ կլինի նաեւ նման կարգի վերլուծությունները կատարել ՀՀ առնվազն երեք հեռանկարային իրադրությունների համար:

ա) այժմյան եւ շատ մոտ ապագայի իրավիճակների,

բ) նորմալ եւ կայուն զարգացման իրավիճակի (պատերազմական դրությունը եւ շրջափակումները վերացված են, անցումային սուր շրջանն ավարտված է),

գ) ծայրահեղ իրավիճակի (ընդհանուր, այդ թվում էներգետիկական ճգնաժամի հետեւանքով):

Խիստ կարեւոր է նաեւ ՏԿՎ-ի օգտագործման արդյունավետության չափանիշների ճիշտ ընտրությունը: Հեղուկ եւ գազային վառելիքների արդյունավետության չափանիշները որոշելիս հաճախ սահմանափակվում են միայն վառելիքի այրումից մինչեւ վերջնական էներգիայի օգտագործումը գոյություն ունեցող կորուստների զմախատումով: Կարծր վառելիքների օգտագործման արդյունավետությունը կարող է զգալի չափով կախված լինել նաեւ նյութական կորուստներից, որոնք անտեսել անհնար է, ուստի: վերջինիս զմախատման համար անհրաժեշտ է կիրառել ամփոփիչ ինտեգրալ չափանիշ: Դրը հաշվի է առնում եւ նյութական, եւ էներգետիկ կորուստները ու կոչվում է պարզապես վառելիքի օգտագործման գործակից $k_{\text{այ}}$ (կամ ՎՕԳ):

Ամենապարզ դեպքում, երբ վառելիքն օգտագործվում է քերմության միատիպ սպառողներին սպասարկող քերմամատակարարման հսկակարգում (օրինակ, կոմունալ-կենցաղային կարիքների համար),

$$k_{\text{այ}} = \prod_i \mu_i \prod_j \eta_j, \quad (1)$$

որտեղ $\prod_i \mu_i$ -ն մինչ այրումը վառելիքի նյութական կորուստներն արտացոլող

1, ..., n մասնակի գործակիցների արտադրյալն է (մրա տեղափոխման պահպանման, բաշխման փուլերում):

Ասանակի գործակիցներից յուրաքանչյուրը

$$\mu_i = 1 - M_i, \quad (2)$$

որտեղ M_i -ն նյութական կորուստներն են i փուլում, արտահայտված 1 կգ

վառելիքի կշռային մասով, $\prod_j \eta_j$ -ն այրման պրոցեսից մինչեւ էներգիայի

վերջնական օգտագործումը գոյություն ունեցող $(1, \dots, m)$ փուլերում) էներգետիկ կորուստներն արտացոլող մասնակի գործակիցների արտադրյալ:

Այստեղ եւս յուրաքանչյուր փուլի համար

$$\eta_i = 1 - E_i, \quad (3)$$

որտեղ E_i -ն էներգետիկ կորուստներն են i փուլում արտահայտված 1 կգ վառելիքի այրման ջերմության Q^* մասով:

Ջերմության արտադրության էներգետիկ մասնակի η_{∞} գործակցի եւ նյութական բոլոր կորուստներն արտացոլող ամփոփիչ $\prod_i \mu_i$ գործակցի

արտադրյալը $\eta_{\infty} \prod_i \mu_i$ -ը, կախված է վառելիքի տեսակից: Էներգետիկ նյութ

մասնակի գործակիցները կախված են ջերմության տեղափոխման, վերափոխման եւ վերջնական էներգիայի բաշխման ու օգտագործման գործընթացների կատարելությունից: K_{∞}^d -ն կարելի է որոշել եւ ամբողջ տնտեսական շրջանի համար, երբ դիտարկվող վառելիքն այրում են տարբեր տեղակայանքների խմբերում (շոգեկաթսաներ, արդյունաբերական վառարաններ եւ այլն), իսկ արտադրված ջերմությունն օգտագործում տարբեր նպատակների համար:

$$K_{\infty}^d = \prod_i \mu_i \sum_j p_j \left(\prod_n \mu_n \prod_l \eta_l \right) j, \quad (4)$$

որտեղ $\prod_i \mu_i$ -ն տվյալ շրջանի համար ընդհանուր նյութական կորուստներն

արտահայտող $1, \dots, n'$ մասնակի գործակիցների արտադրյալն է:

$\prod_n \mu_n$ -ը եւ $\prod_l \eta_l$ -ն n' -ից մինչեւ n նյութական եւ l -ից մինչեւ m

էներգետիկ կորուստներին համապատասխանող մասնակի գործակիցների արտադրյալներն են 1-ից մինչեւ j էներգետիկական տեղակայանքների խմբաքանակի համար: Այդ մեծությունները տվյալ վառելիքն օգտագործող 1-ից j սպառողների մոտ չեն կարող հավասար լինել, ուստի բերվում են միջին կշռային նշանակության, եթե հայտնի է միատիպ սպառողներից յուրաքանչյուրի մասնաբաժինը օգտագործվող վառելիքում:

Վառելիքի գինը միշտ չէ, որ կարող է նրա կարելուր տնտեսագիտական չափանիշը լինել: Այդ դերն ավելի լավ է կատարում օգտագործվող ջերմության վառելիքային բաղադրամասի գինը (ինչպես էլեկտրաէներգիայի համար): Այդ վառելիքային բաղադրամասի արժեքը կարելի է որոշել հետևյալ կերպ.

1 ԿՋ ջերմության համար անհրաժեշտ է b կգ վառելիքի քանակությունը

$$I = b K_{\infty}^d Q_{\infty}^*, \quad (5)$$

որտեղից 1 ԿՋ ջերմության վառելիքային բաղադրամասի գինը

$$q_{\text{в}}^{\text{пр}} = h_{\text{в}} q_{\text{в}} = \frac{q_{\text{в}}}{K_{\text{в}} Q_{\text{в}}} \quad (6)$$

որտեղ $q_{\text{в}}$ -ն վառելիքի գինն է, $h_{\text{в}}/q_{\text{в}}$:

Բնապահպանման պահանջները հաշվի առնելու դեպքում

$$q_{\text{в}} = \frac{q_{\text{в}} + q_{\text{в-в}}}{K_{\text{в}} Q_{\text{в}}} \quad (7)$$

որտեղ $q_{\text{в-в}}$ -ն բնապահպանման ծախսերն են վերաբերած 1 ԿՋ ջերմության օգտագործմանը:

Շարադրվածի հիման վրա, որպես օրինակ բերվում է կարծր վառելիքների օգտագործման արդյունավետության հաշվարկային տրանսբանդակային պարզագույն սխեմա, ըստ վառելիքի պաշարների միջին տարբերակի, հանրապետության իրադրության բ) տարբերակի համար:

Աշխատանքը կատարվում է պետական ֆինանսավորում ունեցող 94-193 ծածկագրով թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Кулюян Л.Т. Тепло- и холодопотребление в условиях теплого климата, Ереван: Луйс, 1974. 190 с.

ГИУА 29.12.1997

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ГН), т. LI, № 1, 1999, с. 33-37.

УДК 621.371.1.001.24 ЭНЕРГЕТИКА

Э.В. КАЗАРЯН, В.К. АМБАРЯН, Г.А. КАЗАРЯН,
К.Г. ВРТАНЕСЯН, Д.Э. КАЗАРЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЛЕКТОРА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Բերված է SOLAR-1 ծրագրի կառուցվածքը, որի շնորհիվ մոդելավորվում է օդանոսաքայրային և չորացման սարքերի աշխատանքը: Մրակները նիսնված է լուսո մասնել պրեզակելային ուղիսցիայի գումարային խտություն, ջերմաստիճանի և քսոնո տրվություն ուղիսցիայի վրա:

Приведена структура программы SOLAR-1, моделирующая режимы работы водонагревательной и сушильной установок. Программа базируется на

почасовых значениях плотности суммарного потока радиации, температуры, скорости ветра.

Ил.2. Библиогр.: 5 назв.

Solar-1 program structure simulating the operation conditions of water-heaters and dryers is provided. The program is based on per-hour density data of radiation, temperature, wind velocity total flow.

Ил. 2. Ref. 5.

Как известно, коллекторы солнечной энергии являются основными компонентами, собирающими солнечную энергию и преобразующими ее в полезную тепловую энергию. Создание такого высокоэффективного коллектора требует оптимизации его работы при меняющихся плотностях солнечной радиации (как прямой, так и диффузионной), угла падения солнечных лучей на плоскость коллектора, солнечного азимутального угла, скорости ветра и др [1, 2].

Целью настоящей работы является исследование и предпроектное моделирование теплоэнергетической эффективности активных жидкостных и воздушных систем. Разработана программа, моделирующая режимы работы вышеуказанных систем, которая базируется на почасовых значениях плотности суммарного потока радиации, поглощенного теплоприемником коллектора, а также значениях температуры и скорости ветра.

При моделировании бак-аккумулятор солнечного водонагревателя (рис.1) разбит условно на четыре объема, в каждом из которых температурное поле распределено равномерно. В установках для сушки сельскохозяйственных продуктов рассматривается только один общий объем воздушного коллектора. В тепловой модели системы выделены следующие области: плоский коллектор 1, поверхность коллектора 2, змеевик водонагревателя 3 (или абсорбционная поверхность для установки сушки), секции объемов бака-аккумулятора 4.

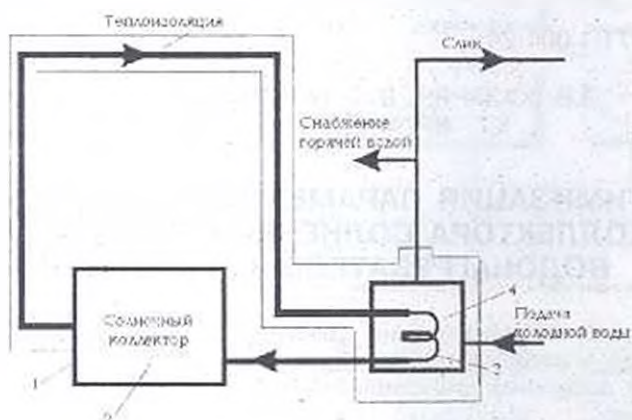


Рис. 1. Солнечный водонагреватель

На основе уравнения теплопроизводительности солнечных коллекторов [3], коэффициента эффективности коллектора [4,5] и тепловой модели системы составлена система уравнений, которая учитывает энтальпию приемников, тепловые потоки, теплоотдачу в окружающую среду. Полный коэффициент тепловых потерь, учитывающий потери через верхнюю и нижнюю поверхности коллектора, определяется выражением [1]

$$U_L = \left[\frac{NT_{\text{вх.к.}}(N+f)^{0.11}}{344(T_{\text{вх.к.}} - T_0)} + \frac{1}{h_{\text{в}}} \right]^{-1} + \quad (1)$$

$$+ \frac{(T_{\text{вх.к.}} + T_0)(T_{\text{вх.к.}}^2 + T_0^2)\sigma}{[\epsilon_p + 0,0425N(1-\epsilon_p)]^{-1} + [(2N+f-1)/\epsilon_g] - N} + \frac{K}{L},$$

где N - число стеклянных покрытий коллектора; T_0 - температура окружающей среды, °C; f - коэффициент конвективной теплопередачи в окружающую среду; $h_{\text{в}} = 5,7 + 3,8V$ (V - скорость ветра, м/с); $T_{\text{вх.к.}}$ - температура жидкости на входе коллектора, °C; ϵ_p - степень черноты пластины коллектора, ϵ_g - степень чистоты поверхности стекла; K - коэффициент тепловой изоляции; L - толщина изоляции, м; σ - постоянная Стефана-Больцмана.

Теплопроизводительность коллектора в зависимости от конструктивных факторов и условий эксплуатации для любого момента времени имеет вид

$$Q = - \frac{AFU_L(T_{\text{вх.к.к.}} - T_{\text{вх.л.}})}{\ln \frac{I(\alpha\tau) - U_L(T_{\text{вх.к.}} - T_0)}{I(\alpha\tau) - U_L(T_{\text{вх.к.}} - T_0)}} \quad (2)$$

где A - поверхность коллектора, м²; I - плотность потока солнечной радиации, Вт/м²; α, τ - соответственно пропускательная и поглощательная способность прозрачного покрытия и поглощающей панели солнечного коллектора по отношению к солнечному излучению:

$$F' = \left\{ W \left[\frac{1}{D + (W-D) \frac{\lg Z}{Z}} + 0,1224 U_L \right] \right\}^{-1} \quad (3)$$

$$Z = \frac{W-D}{2} \sqrt{\frac{U_L}{\sigma \lambda}}, \quad (4)$$

W - межцентровое расстояние труб солнечного коллектора, м; D - наружный диаметр труб, м; δ - толщина листа поглощающей панели, м; λ - коэффициент теплопроводности.

В качестве выходного параметра, определяющего работоспособность моделируемой системы, выбирается средняя температура жидкости в баке-аккумуляторе (или температура воздуха в установке для сушки).

Процесс моделирования реализуется по программе, задающей режимы работы системы (рис. 2).

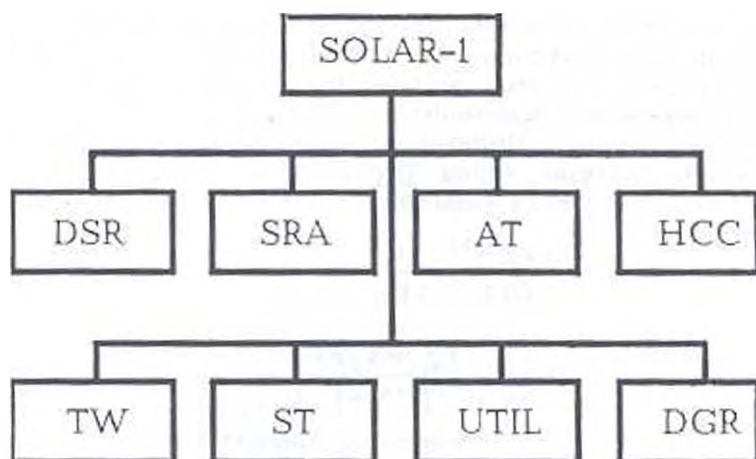


Рис. 2. Укрупненная блок-схема программы SOLAR-1

Программа базируется на почасовых значениях плотности суммарного потока солнечной радиации, поглощенного теплоприемником коллектора, и значениях температуры, интенсивности тепловых потерь коллектора, а также бака-аккумулятора. Центральной частью программы является блок моделирования теплового поля системы, теплопроизводительности и стратификации в аккумуляторном баке.

Программа состоит из восьми подпрограмм, объединенных в четыре основных блока:

- блока пакета программ, моделирующего тепловое состояние коллектора;
- блока, генерирующего и задающего климатические воздействия;
- блоков, определяющих теплоэнергетическую эффективность коллектора и потребность теплоснабжения;
- блоков, определяющих теплопроизводительность и геометрические параметры коллектора в зависимости от целевой функции.

Все подпрограммы могут использоваться вне зависимости друг от друга. Программа SOLAR-1 вводит исходные данные, задает начальные значения, организует схемы обращения к подпрограммам и осуществляет вывод результатов расчета:

- DSR обрабатывает исходные данные интенсивности солнечной радиации по часам суток, положению солнца в зависимости от географических координат объекта, потерям тепла в коллекторе;
- SRA определяет поглощенную теплоприемником солнечную радиацию и пересчитывает интенсивность солнечной радиации на поверхность заданной ориентации;
- AT рассчитывает среднюю температуру теплоприемника коллектора и температуру на выходе коллектора;
- HCC определяет и задает расход теплоносителя в коллекторном контуре, необходимое дополнительное тепло на

горячее водоснабжение, а также суммарный расход в контуре (жидкости или воздуха);

- TW определяет температуру в баке подогревателя, в линии горячего водоснабжения и температуру при возвращении в систему горячего водоснабжения;

- ST рассчитывает и определяет стратификацию температуры в баке-аккумуляторе;

- UTTL определяет полезное тепло и потери тепла от аккумулятора и гелиосистемы;

- DGR рассчитывает оптимальные геометрические размеры коллектора, исходя из потребляемой жидкости (или горячего воздуха для сушильной установки) и минимальных тепловых потерь.

Программа SOLAR-1 позволяет по исходным данным рассчитать параметры гелиосистемы с учетом целевой функции (табл.).

Таблица

Результаты расчета на июнь 1996г. г. Ереван
(средние значения)

Мес. ч.	AT	HCC	TW	ST	UTTL	DGR
VI 6 ³⁰			65°C	$n_1 = 65$	$U_L =$ 5...6,5	$V = 1340 \times 840$ $\times 150 \text{ мм}^3$
9 ³⁰	80...85 °C	0.015... ... 0.02 л/м ² с	50°C	$n_2 = 65$	Вт/м ² с	G=30 кг
12 ³⁰			45°C	$n_3 = 65$		$A_x = 1 \text{ м}^2$
18 ³⁰						

n_1, n_2, n_3 - слои в баке по его вертикали.

Работа выполнена по программе Фонда Макаруров, Гранд
N 98-52238.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Зоколей С. Солнечная энергия и строительство - М.: Стройиздат 1979 - 208 с.
- 2 Кенсингарин М.М. Способ определения теплопроизводительности плоских коллекторов солнечной энергии // Гелиотехника - 1990 - № 3 - С. 25-27.
- 3 Фрид С.Е. Методы тепловых испытаний солнечных коллекторов - М. Препринт ИВТ АН СССР, 1987 - № 3. - 56 с.
- 4 Левинский Б.М., Смирнов С.И., Смирнов С.В., Сукиасян Х.К. Оптимизация геометрии абсорберного плоского солнечного коллектора // Гелиотехника.- 1990.- № 3. - С. 3-7
- 5 Валов М.И., Казанджан Б.И. Использование солнечной энергии в системах теплоснабжения. Монография. - М.: Изд-во МЭИ. - 1991 - 35 с.

К.В. ХАЧАТРЯН

К РЕШЕНИЮ СИСТЕМЫ НЕЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ НЬЮТОНА-РАФСОНА

Վիստարվում է էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացման ռեժիմի ալգեբրաիկական հավասարումների համակարգը: Վերաբերյալ «Համասեռ-Վաֆայանի սերտորդ» անվանի կայունացման տեղափոխմանը:

Рассматривается метод построения системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС относительно независимых станционных узлов, решаемой методом Ньютона-Рафсона.

Табл. 2. Библиогр. 3 назв.

A method of nonlinear algebraic equation system construction in steady-state conditions for electric power systems relative to independent station units is considered. The system is solved by the Newton-Rafson method.

Tables 2. Ref. 3.

Как известно [1-3], уравнение состояния ЭЭС в Z матричной форме представляется в виде

$$\begin{bmatrix} U \\ I \end{bmatrix} = U_0 + Z_0 I_0 \quad (1)$$

где U , I - столбцовые матрицы комплексных напряжений и токов независимых узлов; U_0 - комплексное напряжение базисного узла, $U_0 = U_0$; Z_0 - собственные и взаимные комплексные сопротивления независимых узлов.

С целью дальнейшего изложения материала принимается следующая индексация - для независимых станционных узлов - $i=1, 2, 3, \dots, \Gamma$; для нагрузочных узлов - $k(i)=\Gamma+1, \Gamma+2, \Gamma+3, \dots, \Gamma+N$.

При учете выбранных систем индексов матричное уравнение (1) можно представить в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} U_N \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_0 \\ I_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{nn} & 1 & Z_{nn} \\ - & 1 & - \\ Z_{nn} & 1 & Z_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_n \\ - \\ I_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

Если предположить, что множество N нагрузочных узлов представляется в виде одного эквивалентного нагрузочного узла, то матричное уравнение (2) можно представить в виде

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_m \\ \vdots \\ \dot{U}_{\Sigma H} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_B \\ \vdots \\ U_B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m\Sigma H} & | & Z_{m\Sigma H} \\ - & | & - \\ Z_{\Sigma H, n} & | & Z_{\Sigma H, \Sigma H} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_n \\ \vdots \\ \dot{I}_{\Sigma H} \end{bmatrix} \quad (3)$$

где $\dot{I}_{\Sigma H}$ - комплексный ток эквивалентного нагрузочного узла; $\dot{U}_{\Sigma H}$ - комплексное напряжение эквивалентного нагрузочного узла; $Z_{m\Sigma H}$ - столбцевая матрица комплексных сопротивлений между независимыми станционными и эквивалентными нагрузочными узлами; $Z_{\Sigma H, n}$ - строчная матрица комплексных сопротивлений между эквивалентным и независимыми станционными узлами, $Z_{\Sigma H, \Sigma H}$ - собственное комплексное сопротивление эквивалентного нагрузочного узла.

Новые комплексные сопротивления $Z_{m\Sigma H}$, $Z_{\Sigma H, n}$, $Z_{\Sigma H, \Sigma H}$, подлежащие определению, называются эквивалентными комплексными сопротивлениями. Комплексное сопротивление $Z_{m\Sigma H}$ определяется из условия инвариантности генерирующих мощностей независимых станционных узлов до и после преобразования электрической схемы.

В результате устанавливается следующее выражение для $Z_{m\Sigma H}$:

$$Z_{m\Sigma H} = \sum_{j=\Gamma+1}^{\Gamma+H} Z_{mj} \dot{I}_j / \sum_{i=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \dot{I}_i \quad (4)$$

Если знаменатель и числитель (4) умножить на $\sum_{i=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \dot{I}_i$, то получим

$$Z_{m\Sigma H} = \sum_{i=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \sum_{j=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \dot{I}_i Z_{mj} \dot{I}_j / \sum_{i=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \sum_{j=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \dot{I}_i \dot{I}_j \quad (5)$$

Представим выражение (5) в виде

$$Z_{m\Sigma H} = \frac{1}{\Delta} \sum_{i=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \sum_{j=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \dot{I}_i Z_{mj} \dot{I}_j \quad (6)$$

где

$$\Delta = \sum_{i=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \sum_{j=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \dot{I}_i \dot{I}_j \quad (7)$$

Искомые комплексные сопротивления $Z_{\Sigma H, n}$ и $Z_{\Sigma H, \Sigma H}$ определяются из условия инвариантности комплексных мощностей нагрузочных узлов до и после преобразования электрической схемы ЭЭС:

$$Z_{\Sigma H, n} = \frac{1}{\Delta} \sum_{i=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \sum_{j=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \dot{I}_i Z_{nj} \dot{I}_j \quad (8)$$

$$Z_{\Sigma H, \Sigma H} = \frac{1}{\Delta} \sum_{i=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \sum_{j=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \dot{I}_i Z_{ij} \dot{I}_j \quad (9)$$

Из полученных выражений (6), (8), (9) можно заметить, что сопротивления $Z_{m, \Sigma H}$, $Z_{\Sigma H, m}$ и $Z_{\Sigma H, \Sigma H}$ зависят от комплексных токов $\hat{I}_i$ и $\hat{I}_r$.

На основе аналитических выражений сопротивлений $Z_{m, \Sigma H}$, $Z_{\Sigma H, m}$ и $Z_{\Sigma H, \Sigma H}$ при соответствующем преобразовании матричного уравнения можно установить уравнение состояния эквивалентированной ЭЭС:

$$\hat{U}_m = \hat{U}_{\Sigma H, G} + \sum_{n=1}^r Z_{m, n} \hat{I}_n, \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} \hat{U}_{\Sigma H, G} &= \hat{U}_{\Sigma H} + (Z_{\Sigma H, \Sigma H} - Z_{m, \Sigma H}) \hat{I}_0, \\ Z_{m, n} &= Z_{mn} - Z_{m, \Sigma H} - Z_{\Sigma H, n} + Z_{\Sigma H, \Sigma H}. \end{aligned} \quad (11)$$

В (11) ток $\hat{I}_0$ является током балансирующего узла, который определяется в виде

$$\hat{I}_0 = - \left(\sum_{n=1}^r \hat{I}_n + \hat{I}_{\Sigma H} \right). \quad (12)$$

Уравнение (10) написано относительно независимых узлов.

Рассматривается случай расчета установившегося режима, когда стационарные узлы являются узлами типа P-Q. В связи с этим уравнение (10) необходимо из узловых комплексных напряжений перевести в узловые комплексные мощности. Умножая (10) на комплексно-сопряженный ток независимого стационарного узла, получим

$$P_m + jQ_m = \hat{U}_{\Sigma H, G} \hat{I}_m^* + \sum_{n=1}^r Z_{m, n} \hat{I}_n \hat{I}_m^*.$$

Разлагая предыдущее выражение на действительные и мнимые составляющие, установим аналитические выражения активных и реактивных мощностей:

$$\begin{aligned} P_m &= U'_{\Sigma H, G} I'_m + U''_{\Sigma H, G} I''_m + \sum_{n=1}^r [(I'_m I'_n + I''_m I''_n) R_{m, n} - \\ &\quad - (I'_m I''_n - I''_m I'_n) X_{m, n}], \\ Q_m &= -U'_{\Sigma H, G} I''_m + U''_{\Sigma H, G} I'_m + \sum_{n=1}^r [(I'_m I'_n + I''_m I''_n) X_{m, n} + \\ &\quad + (I'_m I''_n - I''_m I'_n) R_{m, n}]. \end{aligned} \quad (14)$$

Системы уравнений (14), (15) являются нелинейными алгебраическими уравнениями, в которых искомыми переменными являются составляющие комплексных токов независимых стационарных узлов.

Полученную систему уравнений предлагается решить методом Ньютона-Рафсона. При этом

$$\Phi_m(I', I'') = \begin{cases} \Phi_{pm} = P_m - [P_{bm} + \varphi_{pm}(I'_m, I''_m)] = 0, \\ \Phi_{qm} = Q_m - [Q_{bm} + \varphi_{qm}(I'_m, I''_m)] = 0. \end{cases} \quad (16)$$

где

$$P_{bm} = U_{\Sigma H, b}^* I'_m + U_{\Sigma H, b}'' I''_m, \quad Q_{bm} = -U_{\Sigma H, b}^* I''_m + U_{\Sigma H, b}'' I'_m, \quad (17)$$

$$\varphi_{pm}(I'_m, I''_m) = \sum_{n=1}^r [(I'_m I'_n + I''_m I''_n) R_{m,n} - (I'_m I''_n - I''_m I'_n) x_{m,n}], \quad (18)$$

$$\varphi_{qm}(I'_m, I''_m) = \sum_{n=1}^r [(I'_m I'_n + I''_m I''_n) x_{m,n} + (I'_m I''_n - I''_m I'_n) R_{m,n}].$$

Относительно системы (16) рекуррентное выражение Ньютона-Рафсона принимает следующий вид:

$$\begin{bmatrix} I'_{m+1} \\ I''_{m+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I'_m \\ I''_m \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial I'_m} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial I''_m} \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial I'_m} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial I''_m} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \Phi_{pm} \\ \Phi_{qm} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Частные производные, входящие в матрицу Якоби (19), определяются в виде

- при одинаковых индексах, т.е. когда $n = m$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial I'_m} &= - \left[U_{\Sigma H, b}^* + 2R_{m,m} I'_m + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^r (R_{m,n} I'_n - x_{m,n} I''_n) \right], \\ \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial I''_m} &= - \left[U_{\Sigma H, b}'' + 2R_{m,m} I''_m + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^r (R_{m,n} I''_n + x_{m,n} I'_n) \right], \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial I'_m} &= - \left[U_{\Sigma H, b}'' + 2x_{m,m} I'_m + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^r (x_{m,n} I'_n + R_{m,n} I''_n) \right], \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial I''_m} &= - \left[-U_{\Sigma H, b}^* + 2x_{m,m} I''_m + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^r (x_{m,n} I''_n - R_{m,n} I'_n) \right], \end{aligned} \quad (20)$$

- при разных индексах, т.е. когда $n \neq m$:

$$\begin{aligned} \partial \Phi_{pm} / \partial I'_n &= -(R_{n,n} I'_m + x_{m,n} I''_m), \quad \partial \Phi_{pm} / \partial I''_n = -(R_{m,n} I''_m - x_{m,n} I'_m), \\ \partial \Phi_{qm} / \partial I'_n &= -(x_{m,n} I'_m - R_{m,n} I''_m), \quad \partial \Phi_{qm} / \partial I''_n = -(x_{m,n} I''_m + R_{m,n} I'_m). \end{aligned} \quad (21)$$

Устанавливая аналитические выражения частных производных входящих в матрицу Якоби, можно перейти к организации итерационного процесса по решению численных примеров. Итерационный процесс считается завершенным, если обеспечивается условие

$$\left| \begin{bmatrix} I'_m \\ \vdots \\ I'_m \end{bmatrix}^{N+1} - \begin{bmatrix} I'_m \\ \vdots \\ I'_m \end{bmatrix}^N \right| \leq \begin{bmatrix} \Delta I'_m \\ \vdots \\ \Delta I'_m \end{bmatrix}, \quad (22)$$

где $\Delta I'_m, \Delta I''_m$ - заданные положительные величины, характеризующие точность определения I'_m и I''_m .

Для иллюстрации предложенного метода рассмотрим численный пример.

В качестве примера рассматривается схема замещения одной ЭЭС, состоящей из девяти независимых узлов [3]. Для данной ЭЭС 2 матрица является квадратной матрицей девятого порядка. Пользуясь предложенным методом, ее можно представить матрицей четвертого порядка. При этом на каждой итерации вместо обращения матрицы 18-го порядка обращается матрица 8-го порядка, в результате объем вычислительных работ сокращается на 20...25%.

Таблица 1

Численное сравнение методов расчета первого установившегося режима

Эл. станции	Точный метод		Новый метод	
	I'_m	I''_m	I'_m	I''_m
0	0,74520	-0,16979	0,67999	-0,15298
2	0,53265	-0,51756	0,53301	-0,51499
5	0,27616	-0,05508	0,27548	-0,05472
7	0,16116	-0,47726	0,16301	-0,47477
9	0,47982	0,03002	0,47784	0,03118

Таблица 2

Численное сравнение методов расчета второго установившегося режима

Эл. станции	Точный метод		Новый метод	
	I_m	I_m	I_m	I_m
0	0,68028	0,01544	0,66110	0,01873
2	0,61152	-0,62466	0,61193	-0,62384
5	0,23494	0,16318	0,23983	0,16334
7	0,32465	-0,64802	0,32499	0,64684
9	0,27109	-0,05777	0,27094	-0,05800

Как видно (табл. 1 и 2), результаты расчета по новому методу почти не отличаются от результатов расчета по точному методу. Это говорит о перспективности применения нового метода для регулярного расчета установившегося режима ЭЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А. Развитие гибридного метода расчета установившегося режима электрической системы // Электричество. - 1991. - № 1. - С. 6-13.
2. Аракелян В.П., Хачатрян К.В., Аль-Дарвиш М.Б. Об одном методе расчета установившегося режима электроэнергетической системы // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1996. - Т.49. № 1. - С. 17-22.
3. Бадалян Г.А. Об одном методе определения Z-матрицы обобщенных параметров электрических систем // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1996. - Т. 49. № 1. - С. 11-16.

ГИУА 17.09.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН). т. 49, № 1, 1996, с. 43-50.

УДК 621.311.1.001.24

ЭНЕРГЕТИКА

А.С. КАРИМЯН

РАСЧЕТ ДОПУСТИМОГО УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ Y-ФОРМЕ ЗАДАНИЯ СОСТОЯНИЯ СЕТИ

Решаются задачи определения допустимого установившегося режима электроэнергетической системы при задании Y-форме задания состояния сети. Вводится понятие допустимого установившегося режима электроэнергетической системы. Приводятся алгоритмы определения допустимого установившегося режима электроэнергетической системы. Приводятся примеры расчета допустимого установившегося режима электроэнергетической системы.

Предлагается модель допустимого установившегося режима с учетом ограничений типа неравенств, налагаемых на реактивные мощности и модули напряжений независимых станционных узлов. Для решения соответствующей системы нелинейных алгебраических уравнений применяется метод Ньютона-Рафсона.

Библиогр. 5 назв.

A mathematical model of admissible steady-state conditions with inequality-type constraints imposed on reactive powers and voltage modules of independent station units is proposed. To solve corresponding nonlinear simultaneous algebraic equations, the Newton-Rafson method is used.

Ref. 5.

Одной из основных задач из области ЭЭС является расчет их допустимого установившегося режима [1-5]. В основе математической модели допустимого режима лежит модель установившегося режима ЭЭС с учетом соответствующих ограничений, налагаемых на режимные параметры.

Для построения и реализации соответствующей математической модели принимается нижеприведенная система индексов:

- для станционных узлов: $m(n)=0, 1, 2, \dots, \Gamma$, где Γ - число независимых узлов, узел с индексом "0" выбирается в качестве базисного;

- для нагрузочных узлов: $K(l)=\Gamma+1, \Gamma+2, \dots, \Gamma+N$, где N - число нагрузочных узлов;

- для произвольных узлов, включающих как станционные, так и нагрузочные узлы: $k(j)=0, 1, 2, \dots, \Gamma; \Gamma+1, \Gamma+2, \dots, \Gamma+N=M$.

Как видно, рассматриваемая ЭЭС состоит из $M+1$ узлов и, следовательно, из M независимых узлов. При этом математическая модель допустимого установившегося режима ЭЭС при Y-форме задания состояния сети принимает вид

$$\Phi_{pi}(u_i, \Psi_{pi}) = \begin{cases} \Phi_{pi}(u_n, \Psi_{un}, u_r, \Psi_{ur}) = 0, \\ \Phi_{pk}(u_n, \Psi_{un}; u_r, \Psi_{ur}) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

$$\Phi_{qk}(u_i, \Psi_{qk}) = \begin{cases} \Phi_{qk}(u_n, \Psi_{un}, u_r, \Psi_{ur}) = 0, \\ \Phi_{qk}(u_n, \Psi_{un}; u_r, \Psi_{ur}) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

$$U_{n, \min} \leq U_n \leq U_{n, \max} \quad (3)$$

$$Q_{n, \min} \leq Q_n \leq Q_{n, \max} \quad (4)$$

Из (1)-(4) следует, что ограничение накладывается на модули напряжений и реактивные мощности станционных узлов, с помощью которых осуществляется регулирование режимов ЭЭС.

В явно выраженной форме системы уравнений (1), (2) имеют следующий вид [4]:

$$\begin{aligned} \Phi_{pi}(u, \Psi_{pi}) &= P_i - p_{pi}(u, \Psi_{pi}) = 0, \\ \Phi_{qk}(u, \Psi_{qk}) &= Q_i - q_{qk}(u, \Psi_{qk}) = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned}\varphi_m(u, \Psi_u) &= U_i \sum_{j=0}^M [g_{ij} \cos(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}) + b_{ij} \sin(\Psi_{ui} - \Psi_{uj})] U_j, \\ \varphi_{ij}(u, \Psi_u) &= U_i \sum_{j=0}^M [g_{ij} \sin(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}) - b_{ij} \cos(\Psi_{ui} - \Psi_{uj})] U_j.\end{aligned}\quad (6)$$

Предположим, что как независимые станционные, так и нагрузочные узлы являются узлами типа P-Q, т.е. для всех независимых узлов заданы активные и реактивные мощности, и необходимо определить модули и аргументы комплексных напряжений тех же узлов. При этом рекуррентное выражение Ньютона-Рафсона относительно искомым переменных принимает вид

$$\begin{bmatrix} \Psi_{um} \\ \vdots \\ \Psi_{uk} \\ \vdots \\ U_m \\ \vdots \\ U_k \end{bmatrix}^{I+1} = \begin{bmatrix} \Psi_{um} \\ \vdots \\ \Psi_{uk} \\ \vdots \\ U_m \\ \vdots \\ U_k \end{bmatrix}^I - \begin{bmatrix} \Delta \Psi_{um} \\ \vdots \\ \Delta \Psi_{uk} \\ \vdots \\ \Delta U_m \\ \vdots \\ \Delta U_k \end{bmatrix}^I, \quad (7)$$

где I - номер итерации.

Элементы $\Delta \Psi_{um}$, $\Delta \Psi_{uk}$ и ΔU_m , ΔU_k , входящие в столбцовую матрицу рекуррентного выражения (7), определяются в виде

$$\begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \vdots \\ \Delta P_i \\ \vdots \\ \Delta Q_m \\ \vdots \\ \Delta Q_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{um}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{uj}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_m} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial \Psi_{um}} & \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial \Psi_{uj}} & \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial U_m} & \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial U_j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{um}} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{uj}} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_m} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial \Psi_{um}} & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial \Psi_{uj}} & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial U_m} & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial U_j} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta \Psi_{um} \\ \vdots \\ \Delta \Psi_{uk} \\ \vdots \\ \Delta U_m \\ \vdots \\ \Delta U_k \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned}\Phi_{pm} &= P_m - \Phi_{pm}(U_n, \Psi_{un}; U_r, \Psi_{ur}) = \Delta P_m, \\ \Phi_{pk} &= P_k - \Phi_{pk}(U_n, \Psi_{un}; U_r, \Psi_{ur}) = \Delta P_k, \\ \Phi_{qm} &= Q_m - \Phi_{qm}(U_n, \Psi_{un}; U_r, \Psi_{ur}) = \Delta Q_m, \\ \Phi_{qk} &= Q_k - \Phi_{qk}(U_n, \Psi_{un}; U_r, \Psi_{ur}) = \Delta Q_k.\end{aligned}\quad (9)$$

Запись (8) изображает нормальную форму представления матрицы Якоби для рекуррентного выражения (7). Частные производные, входящие в матрицу Якоби уравнения (8), определяются в виде:

— при одинаковых индексах:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{un}} &= Q_n + b_n U_n^2, & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{un}} &= -P_n + g_n U_n^2, \\ \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_r} &= -\frac{P_r}{U_r} - g_r U_r, & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_r} &= -\frac{Q_r}{U_r} + b_r U_r;\end{aligned}\quad (10)$$

— при разных индексах:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{ur}} &= [g_{ur} \sin(\Psi_{un} - \Psi_{ur}) - b_{ur} \cos(\Psi_{un} - \Psi_{ur})] U_n U_r, \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{ur}} &= [g_{ur} \cos(\Psi_{un} - \Psi_{ur}) - b_{ur} \sin(\Psi_{un} - \Psi_{ur})] U_n U_r, \\ \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n} &= [g_{nn} \cos(\Psi_{un} - \Psi_{un}) - b_{nn} \sin(\Psi_{un} - \Psi_{un})] U_n, \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n} &= [g_{nn} \sin(\Psi_{un} - \Psi_{un}) - b_{nn} \cos(\Psi_{un} - \Psi_{un})] U_n.\end{aligned}\quad (11)$$

При замене местами строк ΔQ_m и ΔQ_k матричное уравнение (8) принимает вид

$$\begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \\ \Delta Q_k \\ \Delta Q_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{ur}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_r} \\ \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{ur}} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_r} \\ \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{ur}} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_r} \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{ur}} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_r} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta \Psi_{un} \\ \Delta \Psi_{ur} \\ \Delta U_n \\ \Delta U_r \end{bmatrix} \quad (12)$$

После обращения матрицы Якоби уравнения (12) получим

$$\begin{bmatrix} \Delta\Psi_{mn} \\ \text{---} \\ \Delta\Psi_{uk} \\ \text{---} \\ \Delta U_k \\ \text{---} \\ \Delta U_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & | & \alpha_{m'} & | & \beta_{mn} & | & \beta_{mn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ \alpha_{kn} & | & \alpha_{k'} & | & \beta_{k'} & | & \beta_{kn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ \gamma_{kn} & | & \gamma_{k'} & | & \delta_{k'} & | & \delta_{kn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ \gamma_{mn} & | & \gamma_{m'} & | & \delta_{m'} & | & \delta_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \text{---} \\ \Delta P_k \\ \text{---} \\ \Delta Q_k \\ \text{---} \\ \Delta Q_m \end{bmatrix} \quad (13)$$

где α_n , β_k , γ_n , δ_k - блоки или подматрицы обращенной матрицы Якоби.

Предположим, что стационарные узлы являются узлами типа P-U, т.е. заданы активные мощности и модули напряжений. Необходимо при этом установить, удовлетворяют ли условию (4) полученные значения реактивных мощностей.

Поскольку $U_m = \text{const.}$ то $\Delta U_m = 0$. При этом матричное выражение (13) принимает вид

$$\begin{bmatrix} \Delta\Psi_{mn} \\ \text{---} \\ \Delta\Psi_{uk} \\ \text{---} \\ \Delta U_k \\ \text{---} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & | & \alpha_{m'} & | & \beta_{mn} & | & \beta_{mn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ \alpha_{kn} & | & \alpha_{k'} & | & \beta_{k'} & | & \beta_{kn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ \gamma_{kn} & | & \gamma_{k'} & | & \delta_{k'} & | & \delta_{kn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ \gamma_{mn} & | & \gamma_{m'} & | & \delta_{m'} & | & \delta_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \text{---} \\ \Delta P_k \\ \text{---} \\ \Delta Q_k \\ \text{---} \\ \Delta Q_m \end{bmatrix} \quad (14)$$

Из (14) можем написать

$$\begin{bmatrix} \Delta\Psi_{mn} \\ \text{---} \\ \Delta\Psi_{uk} \\ \text{---} \\ \Delta U_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & | & \alpha_{m'} & | & \beta_{mn} & | & \beta_{mn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ \alpha_{kn} & | & \alpha_{k'} & | & \beta_{k'} & | & \beta_{kn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ \gamma_{kn} & | & \gamma_{k'} & | & \delta_{k'} & | & \delta_{kn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \text{---} \\ \Delta P_k \\ \text{---} \\ \Delta Q_k \\ \text{---} \\ \Delta Q_m \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$[0] = [\gamma_{mn} \quad \gamma_{mk} \quad \delta_{mn} \quad \delta_{mk}] \times \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \\ \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \end{bmatrix} \quad (16)$$

Из матричного уравнения (16) можно установить выражение вектора приращения реактивных мощностей станционных узлов:

$$\Delta Q_m = -\delta_{mn}^{-1} (\gamma_{mn} \Delta P_m + \gamma_{mk} \Delta P_k + \delta_{mk} \Delta Q_k). \quad (17)$$

Поскольку на каждой итерации устанавливаются численные значения всех величин, находящихся в правой части матричного выражения (17), то можно определить также численные значения вектора приращений реактивных мощностей станционных узлов ΔQ_m .

Определяя численные значения вектора ΔQ_m , с помощью третьего уравнения системы (9) можно определить значение вектора Q_m :

$$Q_m = \Delta Q_m - \Phi_{mn} (U_m \Psi_{mn} U_m \Psi_{nk}). \quad (18)$$

Далее проверяем условие (4).

1. Условие (4) полностью удовлетворяется. При этом на основании матричного выражения (15) устанавливаем численные значения векторов $\Delta \Psi_{mn}$, $\Delta \Psi_{nk}$ и ΔU_k .

Затем, пользуясь рекуррентным выражением (7), определяем искомые значения.

$$\begin{bmatrix} \Psi_{mn} \\ \Psi_{nk} \\ U_k \end{bmatrix}^{i+1} = \begin{bmatrix} \Psi_{mn} \\ \Psi_{nk} \\ U_k \end{bmatrix}^i - \begin{bmatrix} \Delta \Psi_{mn} \\ \Delta \Psi_{nk} \\ \Delta U_k \end{bmatrix}^i \quad (19)$$

В результате для станционных узлов типа P-U получаем численные значения векторов Ψ_{mn} и Q_m , а для нагрузочных узлов - значения Ψ_{nk} и U_k . Этим завершается первая итерация. Вторая итерация осуществляется аналогичным образом. Если в последующих итерациях величина Q_m удовлетворяет условию (4), то итерационный процесс считается завершенным при обеспечении условий

$$\begin{aligned}\Phi_{pm} &= P_m - \varphi_{pm}(U, \Psi_m) = \Delta P, \\ \Phi_{pk} &= P_k - \varphi_{pk}(U, \Psi_k) = \Delta P, \\ \Phi_{qk} &= Q_k - \varphi_{qk}(U, \Psi_k) = \Delta Q.\end{aligned}\quad (20)$$

где ΔP , ΔQ - заданные положительные величины, характеризующие точность установления численных значений искомых режимных параметров.

2. Условие (4) не удовлетворяется, т.е. реактивные мощности станционных узлов либо больше допустимых максимальных значений, либо меньше допустимых минимальных значений. В первом случае Q_m заменяется на $Q_{m, \max}$, а во втором случае - на $Q_{m, \min}$. При этом станционный узел типа P-U заменяется на узел типа P-Q и задача решается при помощи рекуррентного выражения (7) без изменений.

Для установления численных значений $\Delta \Psi_m$, $\Delta \Psi_k$, ΔU_k , ΔU_m воспользуемся матричным выражением (13). В результате проведения первой итерации вычисляются численные значения Ψ_m , Ψ_k , U_k и U_m . Затем проверяется условие (3). Если оно удовлетворяется, то осуществляется переход ко второй итерации. Если в последующих итерациях полученные модули напряжений станционных узлов удовлетворяют условию (3), то итерационный процесс продолжается. Он считается завершенным, если, кроме условий (20), удовлетворяется также условие

$$\Phi_{qm} = Q_m - \varphi_{qm}(U, \Psi_m) = \Delta Q. \quad (21)$$

В случае, если полученное численное значение модулей напряжений больше допустимого максимального значения или меньше допустимого минимального значения, то в первом случае U_m заменяем на $U_{m, \max}$, а во втором случае - на $U_{m, \min}$. При этом от узлов типа P-Q переходим к узлам типа P-U и т.д. Отметим, что не исключается случай, когда некоторые станционные узлы типа P-Q переходят к узлам типа P-U, и наоборот. При том в каждом случае требуется построение соответствующей математической модели.

Таким образом, при построении итерационного процесса решения систем нелинейных алгебраических уравнений путем замены станционных узлов типа P-Q на узлы типа P-U и наоборот можно достичь получения допустимого установившегося режима.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В.С. Определение установившихся режимов больших электроэнергетических систем с применением метода Ньютона-Рафсона // Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт. - 1973. - № 4. - С. 35-43.
2. Хачатрян В.С., Хачатрян С.Ц., Сафарян В.С. Расчет установившихся режимов электрических систем с применением матрицы Гессе при 2-форме задания состояния сети // Изв. вузов СССР, Энергетика. - 1990. - № 1. - С. 20-23.

3. Хачатрян В.С., Этемкчан Э.А. Развитие гибридного метода расчета установившихся режимов электрических систем // Электричество.- 1991.- № 1.- С. 6-13.

4. Хачатрян В.С., Бадалян Н.П. Решение Y-Z-уравнений установившегося режима электроэнергетической системы методом декомпозиции // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1997. - Т. 50, № 2. - С. 96-103.

5. Хачатрян В.С., Аль-Дарвиш М.Б. Решение Y-Z-формы уравнения установившегося режима электроэнергетической системы с помощью матрицы Гессе // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1997. - Т. 50, № 3. - С. 194-203.

ГИУА

15.06.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН). т. LI, № 1, 1999, с. 50-55.

ՀՏԴ 6297113.002

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ

Ռ.Ս. ԱՅՎԱԶՅԱՆ

ԿԱՏԱԼԻԶԱՅԻՆ ԴԵՂ-ԲԱԹՈՐՄԱՆ ԹԵԹԵՎ ԳԱԶԱՅՈՒՂ (ԳԱԶՕՅԼ) (ԿԿԹ-Գ) ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՂ ՓՈՐՁԱՐԿԱՆ ԴԻԶԵԼԱՅԻՆ ՎԱՌԵԼԱՆՅՈՒԹԻ ՍՏԵՆԴԱՅԻՆ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԸ

Ընդգրկված են ապրանքային Л-62 փորձական կատալիզային ճեղքաթորման (կրեկինգ) թթվա գազային (գազոլ) պարունակող դիզելային վառելանյութերի ստենդային համեմատական փորձարկումները: Փորձարկումները կատարվել են երկու Д-240 դիզելային շարժիչների վրա՝ համապատասխան վառելանյութերի եւ նույն խմբացանակի յուղերի օգտագործմամբ: Փորձարկումների արդյունքները լայն են տվել, որ վառելանյութի պատճառով շարժիչներում անսարքություններ չեն արձանագրվել, շարժիչների հզորությունը եւ տնտեսելիությունը գտնվում է թույլատրելի տիրույթում: Առաջարկվում են ապրանքային եւ փորձական վառելանյութերով համեմատական փորձարկումներ շահագործողական սլայմաններով:

Изложены результаты стендовых сравнительных испытаний товарного Л-62 и опытного топлива, содержащего легкий газойль каталитического крекинга. Испытания проводились на двух дизельных двигателях Д-240 с применением моторного масла одной партии. Результаты испытаний показали, что мощностные и экономические показатели дизелей не выходили за пределы допустимых. Предлагаются сравнительные испытания опытного и товарного дизельных топлив в обычных условиях эксплуатации.

Табл. 1. Библиогр.: 2 назв

Results of bed comparison tests for trade Л-62 and pilot fuels containing light gas oil of catalytic cracking are stated. The tests were conducted on two diesel engines Д-240 using motor oil from one lot. The test results showed that power and economic diesel indices were not beyond the admissible. Comparative tests for trade and pilot diesel fuels were proposed in regular service conditions.

Table 1. Ref. 2.

Հանրապետության ավտոտրակտորային հավաքակայանները վառելանյութով ապահովելը ներկայումս ժողովրդական տնտեսության կարեւոր խնդիրներից է:

Ավտոմոբիլային տրանսպորտի դիզելացումը պահանջում է դիզելային վառելանյութի պաշարների մեծացում: Ղրան կարելի է հասնել տարբեր քաղաղորդություն ունեցող վառելանյութերի օգտագործմամբ, որոնք հիմնված են դիզելային վառելանյութերում (այդ թվում՝ գազայուղային) քաղաղորամասերի ավելացման վրա [1]:

Սոսկվայի վառելանյութի եւ յուղերի գիտահետազոտական ինստիտուտի (ВНИИ НП) հետ փոխադարձ համաձայնության եւ պայմանագրի համաձայն, նախկին համամիութենական տրակտորային գիտահետազոտական ինստիտուտի հարավային մասնաճյուղում (ЮФ ХАТИ) կատարվել են դիզելային փորձնական վառելանյութերի ստեղծային փորձարկումներ: Այդ վառելանյութերը պարունակում են հակաօքսիդիչային կայունացնող հավելանյութով կատալիզային ճեղքաթորման թեթեւ գազայուղ [2]:

Փորձարկումների նպատակն էր փորձնական վառելանյութով դիզելային շարժիչների հուսալի եւ տնտեսելի աշխատանքի հնարավոր սահմանումը:

Փորձնական եւ Պ-62 ապրանքային վառելանյութի փորձարկումները կատարվեցին ВНИИ НП-ի հետ համաձայնեցված ծրագիր-մեթոդիկայով, երկու Պ-240 դիզելային շարժիչների վրա: Յուրաքանչյուր փորձարկման տեւողությունը կազմում էր 800 ժամ: Հանվել են արագության եւ բեռնվածության բնութագրերը յուրապակասորդ 10-ժամյա ցիկլով: Փորձարկումներից հետո շարժիչները քանդվել են, ենթարկվել մանրաչափման եւ տեխնիկական փորձաքննության:

Փորձարկումները կատարվել են М-10Г₂ շարժիչային նույն խմբաքանակի յուղով (ГОСТ 8581-78), 480-ժամյա հերթափոխումով: Վառելանյութերի մոլեկուլները պահվել են տարբեր տարողությունների մեջ: Փորձարկումներից առաջ կատարվել է շարժիչների 30-ժամյա տեւողությամբ զեւում այնուհետեւ հետեւյալ աշխատանքները, աշխատած յուղի հեռացում (թափում), կենտրոնախուսակի ռոտորի մաքրում, վառելանյութի նուրբ գտման նոր քամիչի տեղադրում, հիմնական մեքենամասերի մանրաչափման համար շարժիչի մասնակի քանդում, մխոցաօղերի կշռում, բոցամուղի փոշիացուցիչների ընտրություն (թողունակության տարբերությունը յուրաքանչյուր խմբաքանակում չի գերազանցել 5%-ը), բոցամուղի փոշիացուցիչների հիդրոկիպությունը, ասեղի շարժունակությունը, փոշիացման ճնշումը եւ որակը, վառելանյութի բարձր ճնշման մղիչի կարգավորումը բոցամուղների հետ, էլեկտրաստեմոդի կշռային մեխանիզմների եւ ստուգիչ-չափիչ սարքերի ստուգաճշտումը:

Ապրանքային եւ փորձնական վառելանյութերի փորձարկումները կատարվել են ըստ ГОСТ18508-80-ի, 4 ժամանոց կրկնվող ցիկլերով, հետեւյալ ռեժիմներում՝ պարապ ընթացքի առավելագույն արագությունը 10 րոպե,

առավելագույն պատող մոնետոր 10 րոպե, անվանական հզորությունը 210 րոպե, պարապ ընթացքի առավելագույն պտուտաթվերը 10 րոպե:

4-ժամյա ցիկլային ռեժիմին անցնելուց առաջ շարժիչը տաքացվում է մինչև յուրի $80-95^{\circ}\text{C}$. որը փորձարկման ընթացքում պահպանվում է $95\pm 5^{\circ}\text{C}$ սահմաններում: Յուրաքանչյուր 30 րոպե հետո անվանական հզորության աշխատանքի ընթացքում զրանցվում են բոլոր պարամետրերը: Փորձարկման սկզբում եւ վերջում, ինչպես նաեւ 240 եւ 280 ժամ հետո, հանվում են շարժիչների կարգավորիչային եւ բեռնվածության հիմնական բնութագրերը, ինչպես նաեւ որոշվում է յուրի պակասորդը: Շարժիչի յուրի փոխումը կատարվում է առաջին ցիկլի ավարտից 480 ժամ հետո (միաժամանակ որոշվում է նաեւ նստվածքը կենտրոնախուսակի ճոտորում, որից հետո կատարվում է նրա մաքրումը): Որոշակի ժամանակահատվածներում (առաջին եւ երկրորդ ցիկլեր) վերցվում են յուրի նմուշներ ֆիզիկաքիմիական վերլուծության համար:

Բոցամուղների փոշիացուցիչների վիճակի վերահսկումը կատարվում է դիզելների հզորության եւ տնտեսելիության ցուցանիշներով: Յուրաքանչյուր փորձարկում կատարվում է փոշիացուցիչների մեկ լրակազմով: Փորձարկումների արդյունքների գնահատումը կատարվում է ըստ դիզելի հզորության եւ տնտեսելիության չափանիշների (հզորություն, վառելիքի տեսակարար ծախս, յուրի ծախս, մեխանիկական կորուստներ), փոշիացուցիչների կոքսացման գործակցի, հիդրոկիպության, ասեղի շարժունակության, բոցամուղի զսպանակի պրկվածության եւ փոշիացման որակի, մեքենամասերի մաշի մեծության, նուրբ գտման քամիչում վառելիքի ճնշման անկումով, մխոցաօղերի շարժունակության եւ շարժիչների մեքենամասերի ալյուրակալման մեծության, շարժիչային յուրի ֆիզիկաքիմիական ցուցանիշների փոփոխման ուժգնության:

Վառելանյութը Д-240 դիզելում չի անցնում երկարատեւ ստենդային փորձարկումները, եթե հզորության անկումը (վառելիքի ժամային ծախսի հավասարության պայմաններում) եւ վառելանյութի տեսակարար ծախսի մեծացումը (համեմատած փորձարկումների սկզբնական չափումների հետ) չեն գերազանցում 5%-ը եւ վառելանյութի պատճառով առաջանում են անսարքություններ, որոնց դեպքում հարկ է լինում փոխել վառելիքի բարձր ճնշման մղիչը եւ վառելանյութի նուրբ գտման քամիչը:

Փորձնական վառելանյութով աշխատող շարժիչի բնութագրերը հանվում են փորձարկումներից առաջ եւ հետո, ինչպես փորձնական, այնպես էլ ասպրանջային վառելանյութով: Այդ շարժիչի հզորության եւ տնտեսելիության ցուցանիշները բերված են աղյուսակում:

Աղյուսակ

Շարժիչի հիմնական ցուցանիշները ապրանքային եւ փորձնական վառելանյութով աշխատելիս

Փորձարկման տեսողությունը	1 ցիկլ (480 ժամ)				2 ցիկլ		(320 ժամ)
Վառելանյութը	Ապրանքային	Փորձնական			Փորձնական		Ապրանքային
Անվանական հզորությունը, կԷՎ	60,3	58,5	53,2	57,46	56,0	56,0	58,0
Շնկածեւ լիսեռի պտտտաքվերը, ռոպ ⁻¹	2202	2203	2200	2201	2196	2204	2203
Վառելանյութի տեսակարար ծախսը, գ/կԷՎ-ժ	237,0	238,0	239,0	238,0	247,0	247,0	245,0
Արտածվող զազերի ջերմաստիճանը, °C	570,0	570,0	575,0	610,0	605,0	610,0 0	615,0
Անխանիկական կորուստների միջին ճնշումը, կՊա	0,21	0,21	0,19	0,22	0,24	0,25	0,24
Ցուլայրումը, %	0,61	0,60	0,54	0,6	0,65	0,7	0,7
Ծխայնությունը, %	20,0	32,0	26,0	28,0	30,0	30,0	30,0

Քանի որ փորձարկումները կատարվել են ծովի մակերեսույթից 1250 մետր քարձրության վրա (ԽՕՓ ԽԱՏԻ), ապա, ըստ ԴՕՇ-19509-80-ի, շարժիչի հզորությունը եւ վառելիքի տեսակարար ծախսը անվանական ռեժիմում ճերմում են նորմալ մթնոլորտային պայմանների: Աղյուսակից երեւում է, որ շարժիչի արդյունավետ հզորությունը մինչեւ փորձարկումները անվանական ռեժիմում ապրանքային վառելանյութով աշխատելիս 1,84 կՎտ-ով, այսինքն 3,0%-ով բարձր է, քան փորձնական վառելանյութով աշխատելիս:

Փորձնական եւ ապրանքային վառելանյութով աշխատող մեկ շարժիչի հզորության եւ տնտեսելիության փոփոխություններն են՝

- փորձարկումից առաջ եւ հետո (փորձնական վառելանյութով աշխատելիս) արդյունավետ հզորությունը համապատասխանաբար կազմում է

58,5 կՎտ եւ 56,6 կՎտ, հզորության անկումը 3,14%, վառելանյութի տեսակարար ծախսը մեծանում է 3,8%-ով (238-247 գ/կՎտ ժ),

- հզորությունը (ապրանքային վառելանյութով աշխատելիս) փորձարկման վերջում հավասար է 58 կՎտ, հզորության անկումը կազմում է 3,65%, վառելանյութի տեսակարար ծախսը մեծանում է 3,4%-ով:

Ապրանքային վառելանյութով աշխատող շարժիչի ծխայնությունն ընդհանուր առմամբ ավելի ցածր է, քան փորձնական վառելանյութով աշխատող շարժիչներինը, սակայն փորձարկումների 2-րդ փուլում այն մեծանում է կաաված բոցամուղների փոշիացուցիչների աշխատանքի վատացման հետ:

Պայմանական մեխանիկական կորուստները, ինչպես նաեւ յուղայրման ցուցանիշները երկու շարժիչներում էլ համարյա նույնն են:

Ճ-240 շարժիչների մեքենամասերի հիմնական մաշվածքադիմացկունությունը որոշվում է նրանց աշխատանքային մակերեսային փորձարկումից առաջ եւ հետո չափման միջոցով (որոշ մեքենամասեր նաեւ կշռվում են): Մխոցաօղերի առտաքին զննումը ցույց է տալիս, որ բոլոր վերին ունդումային օղակների քրոմային ծածկույթը պահպանվում է ամբողջ շառավղային աշխատանքային մակերեսի վրա:

Ներքին սեղմումային օղակների վրա չափման մակերեսը նկատելի է օղակի ներքեւից, մոտավորապես կիսով չափ, ըստ բարձրության: Օղակների վրա մետաղի դարձապատումներ, խազեր եւ քերվածքներ չեն հայտնաբերվել:

Փորձարկումները ցույց են տվել, որ օղակներում առավելագույն միջին մաշն ըստ բարձրության չի գերազանցում 0,011 մմ: Նման մաշ է նկատվում նաեւ օղակների վրա շառավղային ուղղությամբ: Պարկուճների միջին մաշը չի գերազանցում 0,017 մմ, իսկ առավելագույն մաշն առանձին ուղղություններով վերին աշխատանքային գոտում հասնում է 0,055 մմ-ի (փորձնական վառելիք):

Ապրանքային վառելանյութով աշխատող շարժիչի մեջ մխոցային օղակների մաշը շառավղային ուղղությամբ կրում է համեմատաբար հավասարաչափ բնույթ: Վերին սեղմումային օղերի մաշն, ըստ բարձրության, կազմում է 0,035 մմ, բոլոր վերին օղակների միջին մաշը 0,010 մմ: Այսինքն, մխոցային օղերի մաշը (եւ ըստ բարձրության, եւ շառավղային ուղղությամբ) երկու շարժիչներում նույնն է:

Օնկածեւ լիսեռի շարժաթեւային եւ արմատական վզիկների մակերեսայինները համապատասխան նախդիրների հետ ենթարկվել են հավասարաչափ փոխադարձ չափման:

Փորձարկումները ցույց են տալիս, որ վերոհիշյալ երկու վառելանյութերն օգտագործելիս M-10Г2 յուղի ֆիզիկաքիմիական հատկությունները համարյա նույնն են: Ճ-240 շարժիչի փորձնական վառելանյութով աշխատելու ժամանակ նկատվել է վառելանյութի բռնկման ջերմաստիճանի բարձրացում:

Եզրակացություններ: Փորձնական վառելանյութով (ԿԿԹԳ) եւ բազային Պ-62 դիզելային վառելանյութով աշխատող Ճ-240 շարժիչների 800-ժամյա ստենդային փորձարկումների արդյունքները, փորձարկումների ընթացքում

վառելանյութի պատճառով շարժիչների աշխատանքում էական անսարքություններ չեն արձանագրվել, շարժիչների հզորության եւ տնտեսելիության ցուցանիշները որոշ չափով վատացել են, բայց դուրս չեն եկել թույլատրելի սահմաններից, մեքենայական յուղի ֆիզիկաքիմիական նախկինությունները կրել են չափավոր փոփոխություններ: Շարժիչների առաջին ցիկլում. 480-ժամյա աշխատանքից հետո նստվածքների բանակը ընթերցման սխալներով զգալիորեն մեծ է, քան երկրորդ ցիկլում (320 ժամ):

Փորձնական վառելանյութի օգտագործումը թույլատրելու մասին որոշում կայացնելու համար առաջարկվում է փորձնական եւ ապրանքային դիզելային վառելանյութերի համեմատական փորձարկումները կատարել սովորական չափագործման պայմաններում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Нефтепродукты. Свойства, качество, применение // Под ред. Б.В. Лосикова. - М.: Химия, 1966. - 776 с.
2. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. - М.: Химия, 1972. - 358 с.

ԳԻԱ

30.12.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН). т. 1.11. № 1, 1999, с. 55-58

УДК 621.311.22.004

ЭНЕРГЕТИКА

С.А. МИНАСЯН

МЕТОДИКА РАСЧЕТА УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА НА ТЭС, АКТИВНО ПРИВЛЕКАЕМЫХ К РЕГУЛИРОВАНИЮ ГРАФИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Անդրադիտության են ենթարկվում ՋԷԿ-երի էներգաբաժնի վառելիքի տեսակարար ծախսի հաշվարկման մեթոդները: Մարքավորումների փաստացի վիճակի հաշվարկման հաշվարկով առաջարկվում է վառելիքի տեսակարար ծախսի նորմատիվ արժեքները հշտեմելու դրժակների միջոցով: Հաշվարկները կատարված են К-200 տիպի էներգաբաժնի տնային:

Анализируются методы расчета удельного расхода топлива на энергоблоках ТЭС. Предложена методика учета фактического состояния оборудования путем введения поправочных коэффициентов к нормативному удельному расходу топлива. Расчеты проведены применительно к энергоблоку К-200

Библиогр.: 2 назв.

Design procedures of specific fuel consumption for thermoelectric plants are analyzed. Methods for real condition control of the equipment by correction indices introduction into the normative specific fuel consumption is proposed. Calculations are done in conformity with K-200 power unit.

Ref. 2.

Как известно, удельный расход топлива на выработку электроэнергии является основным показателем, характеризующим работу энергоблоков ТЭС за определенный промежуток времени (час, сутки, год и т.д.). Обычно для электростанций различают две разновидности удельного расхода топлива, определяющего эффективность топливоиспользования, - фактический и нормативный. Нормативный удельный расход топлива является расчетной величиной, и поэтому при его определении важно учитывать все поправки, не связанные непосредственно с выработкой электроэнергии. В общем случае удельный расход топлива на отпущенную электроэнергию за определенный промежуток времени можно определить по выражениям

$$b_{\Sigma\tau} = \frac{\int_0^{\tau} b_n^{\text{н}} N_{\Sigma}^{\text{от}} d\tau}{\int_0^{\tau} N_{\Sigma}^{\text{от}} d\tau} + \sum_{i=1}^n \Delta b_i^{\text{от}}, \quad (1)$$

где $b_n^{\text{н}}$ - нормативный удельный расход топлива при данной нагрузке; $\Delta b_i^{\text{от}}$ - поправка на нормативный удельный расход топлива; $i=1,2,\dots,n$ - число поправок, участвующих при расчете переменных режимов;

$$\Delta b_i^{\text{от}} = \frac{\sum_{j=1}^M (\Delta B_{ij})_i}{\int_0^{\tau} N_{\Sigma}^{\text{от}} d\tau}, \quad (2)$$

где ΔB_{ij} - потери топлива при данном i -ом способе участия в регулировании нагрузки j -го типа (пуск из горячего, холодного состояний и т.п.); n - число j -го типа за рассматриваемый период времени τ .

Выражение (1) для практических расчетов приводится к виду

$$b_{\Sigma\tau} = \frac{\sum_{k=1}^{\bar{k}} b_k \Xi_k^{\text{от}}}{\sum_{k=1}^{\bar{k}} \Xi_k^{\text{от}}} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M \frac{\Delta B_{ij} n_{ij}}{\sum_{k=1}^{\bar{k}} \Xi_k^{\text{от}}}, \quad (3)$$

где $k=1, 2, \dots, \bar{k}$ - число участков графика нагрузки с характерными изменениями.

Основными способами резервирования в условиях эксплуатации являются следующие режимы: остановочно-пусковой (ОПР), разгрузочный (РР), моторный (МР), малопаровой (ГВР) и др. [1].

Потери топлива для ОПР, МР и ГВР в обобщенном виде представляются в виде

$$\Delta B_i = \Delta B_i^p + B_i \tau_{ii} + \Delta B_i''$$

При резервировании способом разгрузки энергоблоков в пределах регулировочного диапазона потери (перерасход) топлива определяются в виде

$$\begin{aligned} \Delta B_p = & \Delta B_p^p + \tau_0 \Delta B_{\text{пр}} + \Delta B_p'' + \sum \Delta B_{\text{ист } p} = \\ = & (b_N^p - b_n)(\Theta_p^p - \Theta_{\text{сн}}'') + \tau_0 (b_{\text{сп } N} - b_n)(N_{\text{сп}} - N_{\text{сн}}) + \\ & + (b_N'' - b_n)(\Theta_p'' - \Theta_{\text{сн}}'') + \Delta B_{\text{ист}}^p (\Delta N^p, W^p) + \Delta B_{\text{ист}}'' (\Delta N'', W''). \end{aligned} \quad (4)$$

где b_N^p , b_N'' , $b_{\text{сп } N}$ - средние удельные расходы топлива на этапах разгрузки, нагружения и резервирования, соответственно; ΔN^p , $\Delta N''$ - степень изменения нагрузки; W^p , W'' - скорость изменения нагрузок на этапах разгрузки и нагружения; $\Delta B_{\text{ист}}^p$, $\Delta B_{\text{ист}}''$ - дополнительные затраты топлива на переходные процессы.

В соответствии с (4) удельный расход топлива с учетом переменных режимов составляет

$$b_p = b_p^{\text{от}} + \Delta b_p^{\text{от}} + \Delta b_p^{\text{ист}} = b_p^{\text{от}} + \Delta b_p^{\text{ист}}, \quad (5)$$

где $\Delta b_p^{\text{от}}$, $\Delta b_p^{\text{ист}}$ - изменение удельного расхода топлива на этапах разгрузки и нагружения в результате переходных режимов:

$$\Delta b_p^{\text{от}} = \frac{\Delta B_{\text{ист}}^p}{\Theta_p - \Theta_{\text{р сн}}}, \quad \Delta b_p^{\text{ист}} = \frac{\Delta B_{\text{ист}}''}{\Theta_p - \Theta_{\text{р сн}}}.$$

С учетом (5) выражение (4) приводится к виду

$$\begin{aligned} \Delta B_p = & (b_N^p - b_n)(\Theta_p^p - \Theta_{\text{сн}}'') + \tau_0 (b_{\text{сп}}'' + \Delta b_{\text{ист}}^{\text{от}})(N_{\text{сп}} - N_{\text{сн}}) + \\ & + (b_N'' - b_n)(\Theta_p'' - \Theta_{\text{сн}}''). \end{aligned} \quad (6)$$

Для электростанций, активно участвующих в регулировании нагрузки или переведенных в пиковый режим работы, определенное значение приобретает учет фактического состояния оборудования (число пусков в межремонтный период, общая наработка, число текущих ремонтов, время работы после очередного капитального ремонта и др.). Хотя этот фактор является очевидным и отмечается во многих работах, в технической литературе отсутствуют конкретные рекомендации его учета. По результатам анализа литературных данных и статистического анализа экспериментальных и эксплуатационных данных, в [2] предлагается учесть этот фактор введением поправочных коэффициентов к нормативному удельному расходу топлива в виде

$$b_{\text{сп}}^{\Phi} = b_{\text{сп}}'' K_1 K_2, \quad (7)$$

где K_1 , K_2 - коэффициенты, учитывающие изменение КПД котла и турбоагрегата.

Эти коэффициенты для блока мощностью 200 МВт определяются из соотношений

$$K_1 = \frac{1}{1 - \frac{\Delta\eta_{\text{пр}}}{\eta_{\text{пр}}^*}} = \frac{1}{1 - \frac{2,345 - 7,46\left(\frac{720}{\tau_{\text{пр}}}\right) + 9,2\left(\frac{720}{\tau_{\text{пр}}}\right)^2 - 4,8\left(\frac{720}{\tau_{\text{пр}}}\right)^3}{\eta_{\text{пр}}^*}} \quad (8)$$

$$K_2 = \frac{1}{1 - \frac{\Delta\eta_{\text{к}} + \Delta\eta_{\text{кп}}}{\eta_{\text{к}}^*}} = \frac{1}{1 - \frac{0,215 - \frac{\tau_{\text{пр}}}{100} - 0,0011\left(\frac{\tau_{\text{пр}}}{100}\right)^2 - 0,0003\left(\frac{\tau_{\text{пр}}}{100}\right)^3 + 0,0558n_{\text{ост}} + 0,000417n_{\text{ост}}^2 - 0,000184n_{\text{ост}}^3}{\eta_{\text{к}}^*}} \quad (9)$$

где $\eta_{\text{пр}}$ - изменение КПД проточной части турбины в период между капитальными ремонтами в зависимости от срока ее эксплуатации, $\tau_{\text{пр}}$; $\Delta\eta_{\text{к}}$ - изменение КПД котла в период между очередными текущими ремонтами в зависимости от времени эксплуатации, $\tau_{\text{пр}}$; $\Delta\eta_{\text{кп}}$ - изменение КПД котла в период между текущими ремонтами в зависимости от общего числа остановочно-пусковых режимов, n - число остановок котла за рассматриваемый период.

Расчеты, проведенные применительно к энергоблоку К-200, показывают, что в зависимости от числа ОНР, МР и РР увеличение удельного расхода топлива на блоке при его активном привлечении и регулировании графика нагрузки (годовое число часов использования установленной мощности 2000...3000 ч) составляет 20...50 г/кВт.ч

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Мадоян А.А., Аракелян Э.К., Минасян С.А. Расчет нестационарных характеристик и показателей графиков нагрузки и агрегатов ТЭС. - Ереван, Айастан, 1989. - 135 с.
- 2 Минасян С.А. Выбор оптимальных режимов работы тепловых электростанций энергосистемы с учетом динамики энергетических характеристик оборудования. Автореф. дис. ... канд. техн. наук / МЭИ. - М. 1982. - 20 с.

ОАО "НИИ экологических
проблем энергетики"
РАО "ЕЭС" России

13.05.1997

Г.Л. АРЕШЯН, С.Е. АСТВАЦТРЯН

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ФЕРРИТОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ (ФП) В РЕЖИМЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА В ШИРОТНО-МОДУЛИРОВАННЫЙ

Գիտակվում են ֆերիտային կերպափոխիչի մուտքի նմանակի ազդանշանի լայնությունից-իմպուլսային կերպափոխման անցումային պրոցեսները՝ խոստովանելով № 375 հեղինակային իրավունք: Ստացվում են ֆերիտային կերպափոխիչի երկրորդային ազդանշանի անալիտիկ արտահայտությունները: Որոշված է առաջնային իմպուլսների կրիտիկական փոխադարձիկ հաճախությունը:

Рассматриваются переходные процессы в ФП при преобразовании аналогового сигнала в широтно-модулированный в соответствии с авторской заявкой № 375. Получены аналитические выражения для параметров вторичного сигнала. Определена критическая максимальная частота первичных импульсов.

Ил. 2. Библиогр.: 1 назв.

According to the Patent № 375 the transient processes of ferrite converters (FC) converting an analogue signal to pulse-width modulation (PWM) have been investigated. The analytical expressions for the second signal parameters are obtained. The critical maximum frequency for the first parameters is defined.

Ил. 2. Ref. 1.

Функциональное преобразование входного аналогового сигнала дифференциального трансформатора на ферритовом сердечнике в широтно-модулированный основывается на эффекте насыщения феррита [1]. При подаче на одно плечо первичной обмотки трансформатора преобразователя прямоугольного напряжения происходит возрастание тока в контуре, содержащем R и L , до значения, при котором наступает насыщение феррита. За этот промежуток времени возрастает магнитный поток, сцепленный с первичной и вторичной обмотками. В результате во вторичной обмотке возникает ЭДС, которая существует все это время, пока происходит возрастание магнитного потока. После наступления насыщения ферритового сердечника ЭДС во вторичной обмотке не наводится, т.к. магнитный поток практически остается постоянным, а в первичной цепи практически остается активное сопротивление первичной обмотки и транзисторного преобразователя, которые и обуславливают величину тока в этой обмотке до того момента, пока имеется первичное напряжение.

Покажем, что среднее значение вторичной ЭДС остается неизменным и не зависит от высоты прямоугольного импульса подаваемого на первичную обмотку трансформатора, т.е. не зависит от величины первичного напряжения. Описанные процессы имеют место при определенном ограничении, налагаемом на величину

частоты управления подаваемых от генератора прямоугольных импульсов. Диапазон рабочих частот этих импульсов ограничен сверху максимальной критической частотой, которая зависит от параметров системы.

Дается математическое описание переходных процессов в системе ФП при определенных упрощенных предположениях. Получены аналитические выражения, позволяющие определить необходимые критерии для нормального функционирования системы.

1. *Постановка задачи.* Рассмотрим замкнутый ферритовый сердечник с поперечным сечением S_c (м^2) и средней длиной силовой линии l_c (м). Материал сердечника имеет зависимость $B = f(H)$ (рис.1), причем кривая намагничивания идеализирована. Точка насыщения обозначена B_H (Вс/м^2) и H_H (А/м)

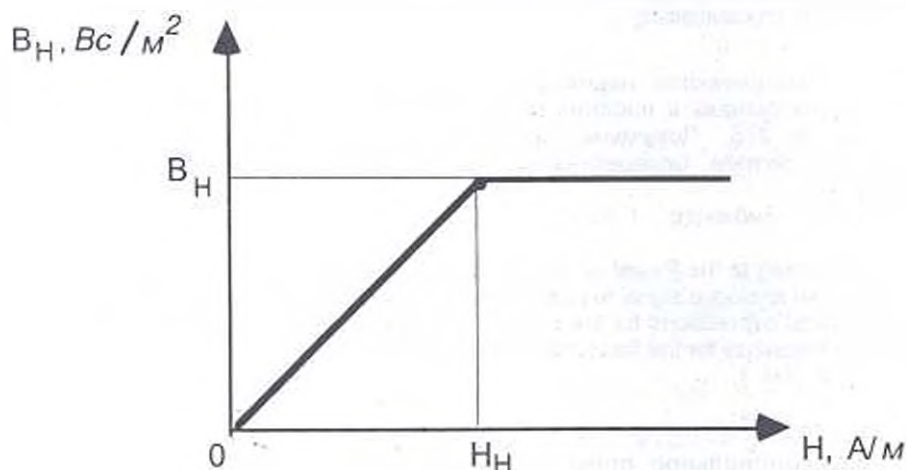


Рис. 1

При $H \leq H_H$ функция $B = \mu H$ -линейно зависящая, где $\mu (\text{Вс/Ам}) = B_H / H_H$. При $H \geq H_H$ наступает насыщение, при котором $B = B_H = \text{const}$.

Произведем теоретическую оценку процессов, происходящих в одном плече первичной обмотки с числом витков w_1 и во вторичной обмотке с числом витков w_2 . Рассмотрим сначала простейший случай, когда на первичную обмотку подается напряжение из серии (или на феррит воздействует серия) прямоугольных импульсов одинаковой полярности. Показаны напряжения $U_{a1}(t)$ и $U_{b1}(t)$ (рис.2а), подаваемые на первое и второе плечо первичной обмотки трансформатора ФП, где U_n -амплитуда импульсов; T - длительность этих импульсов.

Прямоугольные импульсы U_a и U_b сдвинуты относительно друг друга на время T . С целью ограничения потребляемой мощности в режиме широтно-импульсного модулятора и упрощения

математического метода исследования рассматривается режим, когда вторичная обмотка разомкнута. Динамические процессы в феррите обусловленные действием изменяющегося во времени тока в первичной обмотке, разделим на 3 этапа:

Первый этап - при ненасыщенном сердечнике и воздействии тока в промежутке времени $0 \leq t \leq t_1$.

Второй этап - при насыщенном сердечнике и воздействии тока в промежутке времени $t_1 \leq t \leq t_2 = T$.

Третий этап - при отсутствии напряжения на обмотке в промежутке времени $t_2 = T \leq t \leq t_3$.

2. Уравнения переходных процессов. На первом - начальном этапе, когда $L = L_0 = \text{const}$ и ток первичной обмотки возрастает от 0 до i_{pr} , имеем $0 \leq i(t) \leq i_{pr}$, где i_{pr} - ток, при котором наступает полное насыщение ферритового сердечника.

Функция $i(t)$ для первого этапа может быть представлена в виде

$$i(t) = \frac{U_0}{r_0} (1 - e^{-\alpha t}) = \frac{U_0}{r_0} \left(\alpha t - \frac{(\alpha t)^2}{2!} + \frac{(\alpha t)^3}{3!} - \dots \right).$$

Для упрощения анализа переходных процессов в феррите, при действии тока $i(t)$, пренебрегаем членами второго и более высокого порядков. После преобразования с учетом сделанных допущений получим окончательное решение дифференциального уравнения

$$i(t) = \frac{U_0}{r_0} \alpha t = \frac{U_0}{L_0} t, \quad (1)$$

где

$$\alpha = r_0 / L_0. \quad (2)$$

Определим значение t_1 , при котором наступает насыщение феррита:

$$t_1 = i_{pr} L_0 / U_0 = \Phi_H / U_0, \quad (3)$$

где Φ_H - потокоцепление в первичной обмотке при насыщенном магнитопроводе.

Определим величину $\alpha = r_0 / L_0$, исходя из того, что второй член разложения $(\alpha t)^2 / 2!$ меньше 1% относительно первого αt при $t = t_1$: $\alpha t_1 / 2 \leq 0.01$ или $(\alpha t_1) \leq 0.02$. С учетом (2) и (3) запишем $r_0 / L_0 \Phi_H / U_0 \leq 0.02$ или

$$r_0 / L_0 \leq 0.02 U_0 / \Phi_H. \quad (4)$$

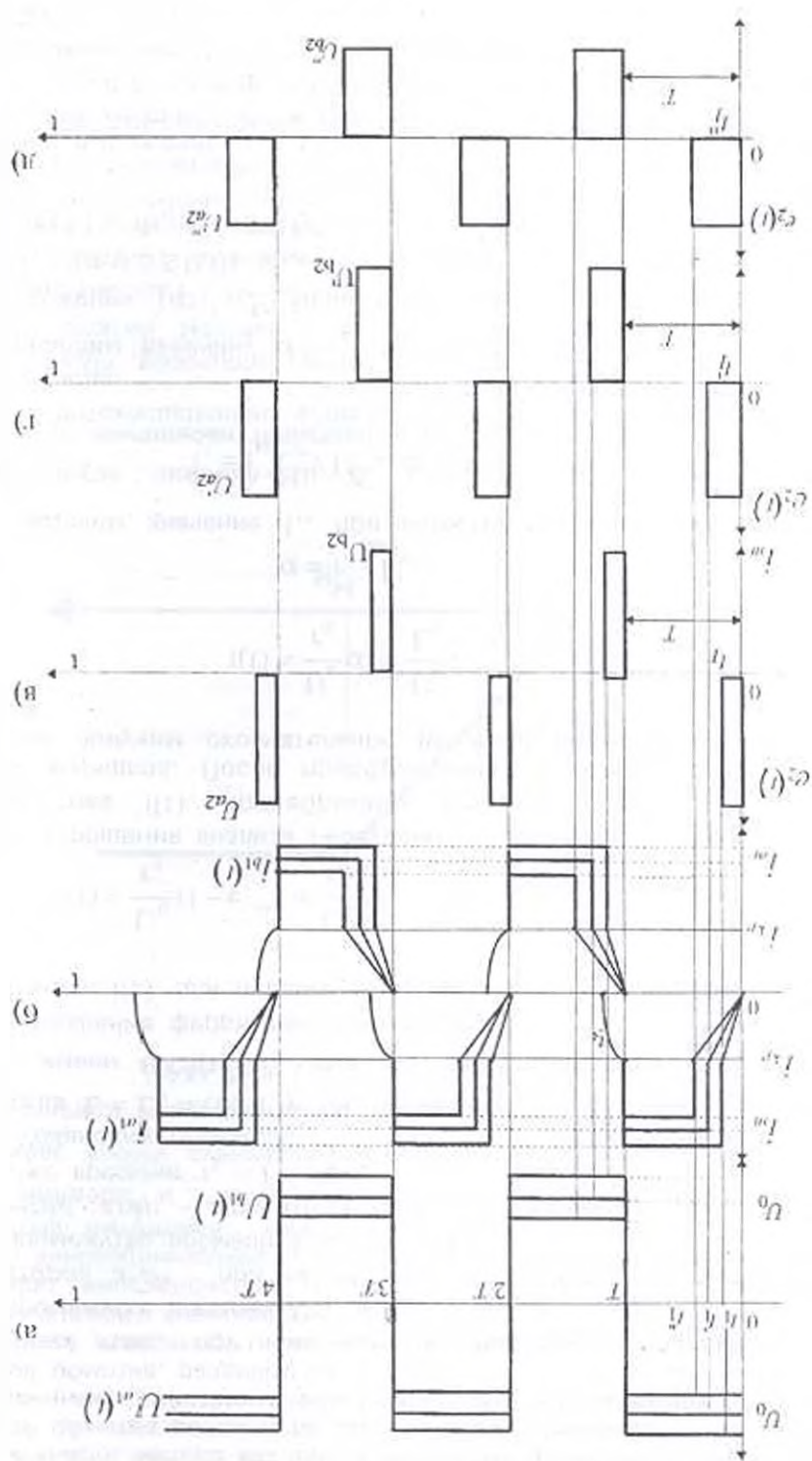
Тогда выражение (1) будет решением дифференциального уравнения только при условии (4)

На втором этапе, когда $\Phi = \text{const}$, дифференциальное уравнение имеет вид $U = r_0 + d\Phi / dt$, где $d\Phi / dt = 0$

Тогда

$$U_0 = r_0 i_{pr} \quad (5)$$

Рис. 2



Ток скачком увеличивается до значения

$$i_m = U_0 / r_0 \quad (6)$$

и остается постоянным до времени t_1 : $i(t) = i_m = \text{const}$ при напряжении U_0 .

Представлена зависимость изменения первичного тока от времени (рис. 2б)

На третьем этапе, когда напряжение скачком уменьшается до нуля, ток резко уменьшается от i_m до i_{cr} , далее через запертый транзистор в течение $t_2 - t_1$ - до значения $i(t_2) = 0$.

ЭДС вторичной обмотки равна

$$e_2 = d\psi_2 / dt, \text{ где } \psi_2 = M i(t). \quad (7)$$

С учетом уравнения (1) для первого этапа получим

$$\psi_2 = M U_0 / L_0. \quad (8)$$

$$e_2(t) = d\psi_2 / dt = M U_0 / L_0 = \text{const} \quad (9)$$

или

$$E_2 = M U_0 / L_0 \quad (10)$$

в течение времени $0 \leq t \leq t_1 = \Phi_H / U_0$.

На втором этапе

$$e_2(t) = 0, \quad (11)$$

т.к. при $t \geq t_1$ $\Phi = \Phi_H = \text{const}$ и

$$\psi_2 = w_1 \Phi_H / w_2 = \text{const}. \quad (12)$$

Даны графики изменений функции $e_2(t)$ (рис. 2в, г, д).

Площадь $S(t_1) = \int_0^{t_1} e(t) dt$, где $e(t) = E_2$. Следовательно,

$$S(t_1) = E_2 t_1. \quad (13)$$

Подставляя в (13) уравнения (10) и (3), получим

$$S(t_1) = M U_0 / L_0 \times \Phi_H / U_0 = M \Phi_H / L_0 \text{ или } S(t_1) = M \Phi_H / L_0. \quad (14)$$

Как следует из (14), площадь ЭДС во вторичной обмотке не зависит от величины U_0 .

3. Длительность импульса первичного напряжения U_0 . Чтобы обеспечить условие достижения тока величины i_{cr} , при котором наступает полное насыщение ферритового сердечника, длительность импульса T для первичного напряжения необходимо выбрать больше времени t_1 :

$$T \geq t_1 = \Phi_H / U_0. \quad (15)$$

Величина магнитного потока при этом будет

$$\Phi_H = w_1 S_c B_H. \quad (16)$$

где w_1 - число витков одного плеча первичной обмотки; S (м²) - сечение магнитопровода, B_H - индукция насыщения.

Пусть $U_{\text{н}} = U_{\text{мин}}$ - минимальное напряжение, с которого начинается стабилизация. Тогда

$$T \geq T_{\text{max}} = \Phi_{\text{н}} / U_{\text{мин}}. \quad (17)$$

Частота при $T = T_{\text{max}}$ равна

$$f_{\text{max}} = 1/2T_{\text{max}} = 2U_{\text{мин}} / \Phi_{\text{н}}. \quad (18)$$

Исключим $\Phi_{\text{н}}$, заменив его выражением (16):

$$f_{\text{max}} = 2U_{\text{мин}} / w_1 S_c B_{\text{н}}. \quad (19)$$

где $U_{\text{мин}}$ - минимальное напряжение первичной обмотки на одном витке, В.

При этом система должна иметь частоту импульсов

$$f_c \leq f_{\text{max}}. \quad (20)$$

Выражение (19) устанавливает пропорциональную связь между амплитудой импульсного напряжения на входе ФП и частотой импульсов, при котором наступает полное насыщение ферритового сердечника. Следовательно, ФП может использоваться как датчик длительности импульсов.

4. *Обеспечение линейного изменения тока на первом этапе.* Рассмотрим ферритовый сердечник с кривой намагничивания (рис. 1). Формула для расчета МДС $\theta = \psi(i)$ имеет вид $\theta = w_1 i = l / H_{\text{н}}$, где l - длина сердечника магнитопровода, м.

Тогда

$$\Phi_{\text{н}} = w_1 S_c B_{\text{н}}, \quad i_{\text{кр}} = l_c H_{\text{н}} / w_1. \quad (21)$$

Индуктивность первичной обмотки (одного плеча) равна

$$L_c = \Phi_{\text{н}} / i_{\text{кр}} = W_1^2 S_c / l_c B_{\text{н}} / H_{\text{н}}. \quad (22)$$

С учетом (4) при условии, что $U_{\text{н}} = U_{\text{мин}}$, $r_{\text{н}} / L_c \leq 0,02 U_{\text{мин}} / \Phi_{\text{н}}$, имеем

$$r_{\text{н}} \leq 0,02 U_{\text{мин}} L_c / \Phi_{\text{н}}. \quad (23)$$

Подставляя в (23) значения $\Phi_{\text{н}}$ по (21) и L_c по (22), получим

$$r_{\text{н}} \leq 0,02 U_{\text{мин}} w_1 / l_c H_{\text{н}}. \quad (24)$$

Таким образом, при формальном анализе можно пользоваться уравнением (24), но в конкретных расчетах необходимо учитывать вариации $H_{\text{н}}$ или $B_{\text{н}}$. Это обстоятельство необходимо учитывать при обосновании выбора рабочего участка на кривой намагничивания $B = f(H)$.

5. *Среднее значение вторичной ЭДС и вторичного напряжения* $U_{\text{ср}}$. $E_{\text{ср}}$ - вторичной ЭДС за время длительности импульса T с учетом (14) определяется в виде

$$E_{\text{ср}} = S(i_1) / T = M \Phi_{\text{н}} / L_0 T. \quad (25)$$

Поскольку $M = w_1 w_2 \lambda_{\text{н}}$, $L_0 = w_2^2 \lambda_{\text{н}}$ и $\Phi_{\text{н}} = w_1 S_c B_{\text{н}}$, то после подстановки их в (25), получим обобщенную формулу

$$E_{\text{ср}} = \frac{w_2 S_c}{T} B_{\text{н}} = 2 w_2 f_c S_c B_{\text{н}}. \quad (26)$$

При разомкнутой вторичной обмотке это значение напряжения будет равно выпрямленному вторичному напряжению (по двухполупериодной схеме выпрямления):

$$U_2 = 2\omega_2 I_{\Sigma} B_{\Sigma} \quad (27)$$

Среднее значение выпрямленного напряжения не зависит от изменения значения преобразуемого напряжения и остается стабильным в процессе преобразования сигнала.

Как видно, существует обратно пропорциональная связь между амплитудой импульсного напряжения на выходе ФП и длительностью импульсов (рис.2). Следовательно, ФП может использоваться не только как датчик длительности импульсов, а также как широтно-импульсный модулятор.

Выводы. В результате динамических процессов в ферритовых преобразователях с учетом сильно выраженного насыщения удалось выяснить суть физических процессов и установить математические зависимости между параметрами системы при ее нормальном режиме работы. Показано, что используя эффект резкого насыщения ферритовых сердечников, можно получить во вторичной обмотке трансформатора прямоугольные импульсы ЭДС, среднее во времени значение которых остается постоянным и не зависит от амплитуды и длительности первичного напряжения в виде прямоугольных импульсов. Получены расчетные формулы для величины активного сопротивления r_1 первичной обмотки, при котором обеспечивается линейность возрастания тока, что необходимо для нормального режима работы системы. Определены ограничения по максимальной частоте импульсов, подаваемых в первичные обмотки трансформаторов. Показано, что при насыщенном магнитопроводе максимальный скачок тока в первичной обмотке равен U_2 / r_1 , что, в свою очередь, накладывает ограничение на верхний предел амплитудного значения прямоугольного импульса напряжения.

Полученные аналитические зависимости между параметрами ферритовых преобразователей [1] дают возможность рационально проектировать такие ФП и обеспечивать их нормальную эксплуатацию в различных рабочих режимах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РА № 375 А2 МПК 5 H05K 08. Сարբերական տրամաֆորմատորի ստորի աղանշումի լավտրեճական-ինպուլսային կերպովիմուն հղանով

ГИУА

24.10.1997

В.М. МОВСЕСЯН

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ РЕЗОНАНСНОГО ТИПА

Ներկայացվում է ռեզոնանսային տիպի երկրորդային էլեկտրասնման աղբյուրի (ИВЭП) էլեկտրոնային կայունացման համակարգի անընդհատ մոդելը: Կայունացման կառավարչի համար առաջարկված են նախադիմումային չափանիշներ և եղանակ, որոնք ապահովում են պահանջվող դինամիկական բնութագրերը և ժանգի ուղղված լարման բարձրացումն ճշմարիտ:

Представлена непрерывная модель системы стабилизации выходного напряжения ИВЭП резонансного типа. Предложены критерии и метод проектирования системы стабилизации, обеспечивающие заданные динамические характеристики и подавление пульсаций сетевого выпрямленного напряжения.

Ил. 2. Библиогр. 3 назв.

A continuous model of resonant inverter-based power supply output voltage stabilization system is presented. Criteria and the method for the stabilization system design providing requested dynamic features and suppression of network voltage ripples are proposed.

Ил. 2. Ref. 3.

В числе основных показателей источников вторичного электропитания (ИВЭП) важное место занимают массогабаритные параметры. Как известно, основным путем уменьшения размеров ИВЭП является использование промежуточного высокочастотного преобразователя. При этом верхний предел частоты ограничивается динамическими потерями в силовых полупроводниковых приборах. С этой точки зрения наилучшими показателями обладают ИВЭП, в которых в качестве промежуточного преобразователя используется резонансный инвертор [1,2]. Функциональная схема ИВЭП (рис.1а) включает следующие узлы: В1, В2 - выпрямители, СФ1, СФ2 - сглаживающие фильтры, РИ - резонансный инвертор, УОС и ПНЧ - усилитель обратной связи и преобразователь напряжение-частота, Тр - трансформатор.

Сделаны обозначения: U_C - напряжение питающей сети, U_{CC} - выпрямленное напряжение сети, U_H - напряжение на выходе РИ, R_H - сопротивление нагрузки, U, I - напряжение и ток нагрузки, U_0 - требуемое значение напряжения нагрузки, f_c - частота коммутации силовых ключей РИ. Размеры и масса ИВЭП определяются параметрами входного/выходного сглаживающих фильтров (СФ1, СФ2) и охладителей силовых полупроводниковых приборов. Размеры фильтров определяются уровнем сглаживания низкочастотных пульсаций выпрямленного напряжения сети.

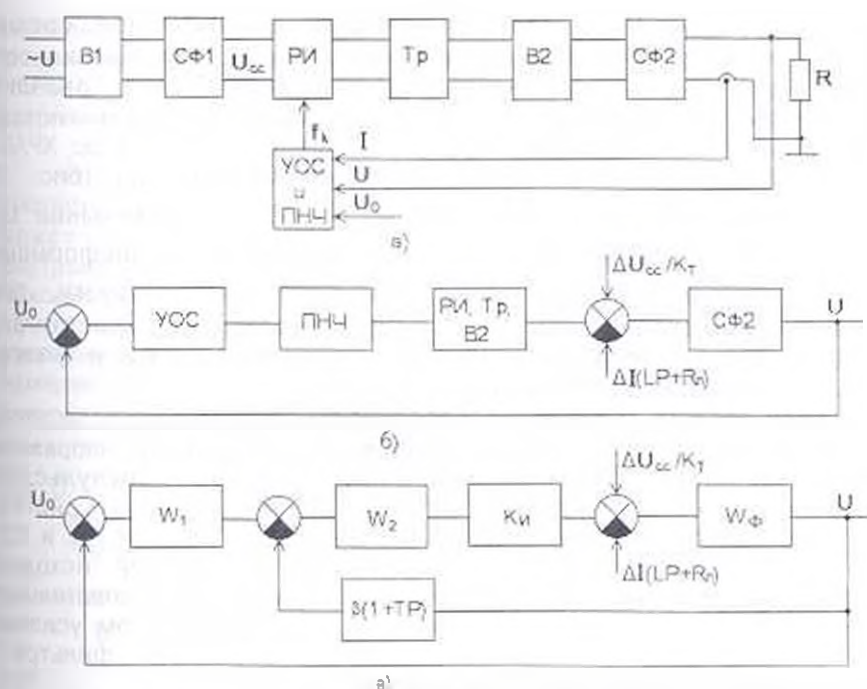


Рис. 1 а - функциональная схема ИВЭП, б - функциональная схема системы стабилизации, в - структурная схема системы стабилизации

Целью настоящей работы является уменьшение размеров сглаживающих фильтров путем частичного перекалывания на управляемый РИ функции сглаживания низкочастотных пульсаций. Входной фильтр СФ1 должен сглаживать выпрямленное напряжение сети только до уровня, необходимого для нормальной работы РИ, а дальнейшее сглаживание до допустимого уровня обеспечивается системой стабилизации выходного напряжения ИВЭП. Таким образом, на управляемый РИ возлагаются функции преобразования постоянного напряжения в высокочастотное переменное, стабилизации выходного напряжения и сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения сети.

Критериями проектирования системы стабилизации служат статическая точность, допустимые изменения выходного напряжения при скачкообразном изменении нагрузки и допустимый уровень пульсаций выходного напряжения.

СФ1 и РИ, управляемый частотой, рассчитываются таким образом, чтобы заданный диапазон изменения рабочей частоты РИ был достаточным для стабилизации выходного напряжения с учетом всех возмущений: изменения нагрузки и напряжения питающей сети, пульсации сетевого выпрямленного напряжения [2]. Пределы регулирования выходного напряжения РИ должны удовлетворять условию

$$\frac{U_H(f_{k \max})}{U_H(f_{k \min})} \geq \left(\frac{U_{c \max} - U_{\min}}{U_{f \max} - U_{\min}} \right) \times \left(\frac{R_{\max}(R_{\max} + R_p)}{R_{\min}(R_{\max} + R_n)} \right), \quad (1)$$

где $U_{сmax}$, $U_{сmin}$, U_{1m} - максимальное и минимальное средние значения и амплитуда пульсаций выпрямленного напряжения сети; R_{max} , R_{min} , R_n - максимальное и минимальное значения сопротивления нагрузки и значение сопротивления потерь, приведенные к выходу инвертора.

В функциональной схеме системы стабилизации (рис. 1б) использованы следующие обозначения: $K_T^{-1} \Delta U_{cc}$ - изменение U_{cc} , приведенное ко входу СФ2; K_T - коэффициент трансформации трансформатора Тр; $\Delta I(LP + R_n)$ - изменение тока нагрузки, приведенное ко входу СФ2; L - индуктивность Г-образного LC-фильтра; R_n - сопротивление потерь в выпрямителе В2 и фильтре СФ2; P - оператор преобразования Лапласа.

Если частота среза ω_{cp} логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ) системы стабилизации выходного напряжения ИВЭП намного меньше рабочей частоты импульсного высокочастотного преобразователя, то замкнутая система рассматривается как непрерывная [1], а звенья ПНЧ, РИ, Тр и В2 - безынерционными. В силу сделанных предположений исходную разомкнутую систему можно представить в виде последовательного соединения безынерционного усилителя с коэффициентом усиления $K_u = K_{уис} K_{пнч} K_{ри} K_{тр} K_{в2}$ и сглаживающего Г-образного фильтра с передаточной функцией

$$W_\phi(P) = (\tau_\phi^2 P^2 + T_\phi P + 1)^{-1}, \quad (2)$$

где $\tau_\phi = LC$, $T_\phi = L/R$, L , C - индуктивность дросселя и емкость конденсатора фильтра; R - сопротивление нагрузки.

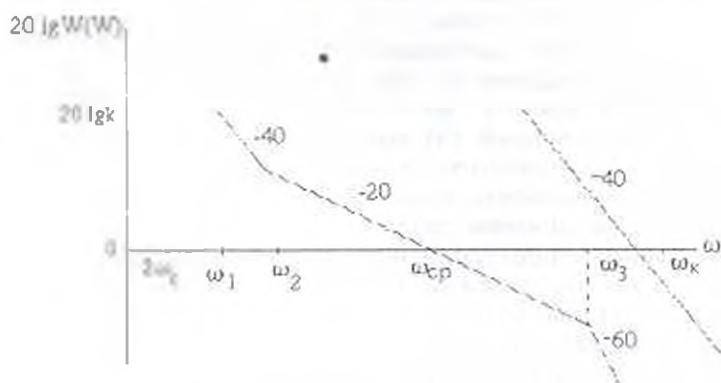


Рис. 2. ЛАЧХ системы стабилизации

Желасмая ЛАЧХ (рис. 2) должна удовлетворять следующим требованиям: 1. $\omega_1 > 2\omega_1$, где $2\omega_1$ - основная частота пульсаций на выходе СФ1, что соответствует условию подавления пульсаций выпрямленного напряжения сети. 2. $\omega_{cp} \gg \omega_k$, что соответствует условию допустимости рассмотрения системы как непрерывной. 3. Абсолютные значения ЛАЧХ на частотах ω_1 и ω_3 должны быть

выбраны из условия требуемого демпфирования процессов в динамических режимах (пуск, сброс и напрое нагрузки). Например чтобы в динамических режимах максимальное отклонение выходного напряжения от заданного значения не превышало 15%, эти значения ЛАЧХ должны быть больше 25 дБ.

Структурная схема системы стабилизации (рис 1в) при соответствующем выборе параметров регулятора ($W_1(P)$ и $W_2(P)$) может гарантировать выполнение вышеприведенных условий. Внутренний контур соответствует обратной связи по току дросселя выходного фильтра СФ2. Обычно ток измеряется либо с помощью шунта, либо трансформатора тока, включенного в первичную или вторичную цепь выходного трансформатора РИ. В обоих случаях измеряется напряжение U_i пропорциональное току. Напряжение U_i зависит от выходного напряжения:

$$U_i = \beta(TP + 1), \quad (3)$$

где β - коэффициент передачи измерителя тока, $T=RC$.

Желаемую ЛАЧХ можно получить выбором

$$W_1(P) = K_1(T_1P + 1)/(T_1P + 1), \quad W_2(P) = K_2/(T_2P + 1), \quad (4)$$

Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид

$$W(P) = K(T_1P + 1)/((T_1P + 1)(a_1P^2 + a_2P + 1)), \quad (5)$$

где

$$K = K_1K_2K_{11}/(1 + K_2\beta), \quad a_1 = T_1\tau/(1 + K_2\beta), \quad (6)$$

$$a_2 = (T_2T_0 + \tau^2)/(1 + K_2\beta), \quad a_1 = (T_1 + T_2 + \beta K_2T)/(1 + K_2\beta).$$

Чтобы передаточная функция (5) соответствовала желаемой ЛАЧХ, она должна иметь вид

$$W_d(P) = K(T_1P + 1)/((T_1P + 1)(b_1P^2 + b_2P + 1)), \quad (7)$$

что достигается при выполнении следующих условий

$$a_1 = b_1T_1; \quad a_2 = b_1 + b_2T_2; \quad a_1 = b_1 + T_1; \quad b_1^2 < 4b_2, \quad (8)$$

Значения параметров b_1, T_1, T_2 определяются из желаемой ЛАЧХ:

$$b_1 = 1/\omega_1, \quad T_1 = 1/\omega_2, \quad T_2 = 1/\omega_3, \quad (9)$$

На основании (8) с учетом соотношений (6) определяются параметры $T_1, \beta K_2, b_1$. Значение общего коэффициента усиления K определяется из условия обеспечения требуемой статической точности стабилизации [3].

Регулятор, описываемый передаточными функциями (4), легко реализуется на операционных усилителях.

Рассмотрим пример проектирования системы стабилизации выходного напряжения ИВЭП на основе РИ с параметрами

$U_c=220$ В (-10%, -15%), $I_c=50$ А ($\omega_c=314$ с⁻¹), $U=12$ В, $R=2$ Ом, $L=50$ мГн ($\omega_L=3,14 \cdot 10^5$ с⁻¹). Выходной сглаживающий фильтр имеет следующие параметры: $C=500$ мкФ, $L=100$ мкГн, $\tau_1=5 \cdot 10^{-7}$ с, $T_\Phi=5 \cdot 10^{-6}$ с, $T=10^{-3}$ с. Из желаемой ЛАЧХ определяются: $I_{\phi\omega_1}=3,1$, $I_{\phi\omega_2}=3,4$, $I_{\phi\omega_3}=5,75$, а по соотношениям (6) и (8) - $T_1=3,16 \cdot 10^{-6}$ с, $T_2=1,3 \cdot 10^{-6}$ с, $T_3=7,94 \cdot 10^{-4}$ с, $\beta K_2=2,6$. При этом $I_{\phi\omega_{cr}}=4$.

значение модуля ЛАЧХ на частотах ω_1 и ω_2 равно 26 дБ. Пульсации выпрямленного сетевого напряжения подавляются на выходе ИВЭП более чем в 200 раз. При 50%-ом сбросе и набросе нагрузки происходит изменение выходного напряжения в пределах 10,6...13,4 В.

Следует отметить, что чем выше рабочая частота РИ, тем легче обеспечивается желаемая форма ЛАЧХ системы стабилизации и достигаются высокие динамические показатели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Источники вторичного электропитания / Под ред. Ю.И. Консва.-М. Радио и связь, 1990.-280 с.
2. Барегамян Г.В., Мовсесян В.М., Петросян Н.Н., Саркисян Г.П., Мкртчян Т.Ж. Проектирование ИВЭП на основе резонансного инвертора: Мат. 1-й Всес. конф. "Силовые электронные системы и устройства маломощной преобразовательной техники", - Алма-Ата, 1990.- С. 67-76.
3. Мовсесян В.М., Барегамян Г.В., Мелконян К.М. Анализ устойчивости ИВЭП на основе резонансного инвертора: Мат. сем. "Высокоэффективные источники и системы электропитания РЭА" МДНТП.-М., 1989.- С. 148-151.

ГИУА

16.04.1998

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТП), т. 1, № 1, 1999, с. 70-76.

УДК 621.382.026

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Г.Г. КИРАКОСЯН, А.Р. АМБАРЯН, А.Р. АКОПЯН, А.С. ШАБОЯН

ВРЕМЯ РЕКОМБИНАЦИИ НЕОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ТОКА В КОЛЛЕКТОРНОЙ ОБЛАСТИ СИЛОВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

В работе описан новый экспериментальный метод измерения времени рекомбинации неосновных носителей тока в коллекторной области силовых транзисторов. Метод основан на измерении тока в коллекторной области транзистора при его переключении.

Предлагается новый экспериментальный метод для определения времени рекомбинации, не зависящего от параметров эмиттера.

Ил. 2. Табл. 2. Библиогр. 5 назв.

A new experimental method for determining the recombination time not depending on emitter parameters is proposed.

Ил. 2. Tables 2. Ref. 5.

Как известно при моделировании силовых транзисторов, работающих в режиме квазинасыщения, важную роль играет время рекомбинации носителей тока τ_r в коллекторной области [1].

которое обычно измеряется методом Локса [2]. Исследования [3] показали, что измеренное этим методом τ_c значительно изменяется в присутствии холостого эмиттера. Аналогичные результаты показаны в [4]. Необходимо отметить, что метод Локса можно использовать для точного определения τ_c , если только полностью закрыть эмиттерную область. Таким образом, метод Локса является ограниченным, который нельзя использовать для измерения τ_c в транзисторах.

Целью настоящей работы является разработка нового метода измерения времени рекомбинации на эмиттерном переходе транзистора.

Рассмотрим транзистор типа $n-p-n$ (рис. 1). Коэффициент усиления h_{FE} с общим эмиттером в режиме квазинасыщения определяется виде [1]

$$h_{FE}^{-1} = h_{FE0}^{-1} + \frac{1}{Q_{EB}} \frac{I_C}{D_{pE} S_E q} \left(\frac{W_{EB}^2}{4D_{pE} D_{nB}} + \frac{W_{EB}^2}{4D_{pE} D_{nB}} \right) + \frac{W_{EB}^2}{4D_{pE} \tau_c} \quad (1)$$

где h_{FE0} - максимальный коэффициент усиления с общим эмиттером [5]; I_C - коллекторный ток; $\bar{D}_{pE}$, $\bar{D}_{nB}$ - средние коэффициенты диффузии дырок в коллекторе и эмиттере; (Q_{EB}/D_{pE}) - число Гуммеля эмиттера; S_E - эффективная площадь эмиттера; W_{EB} - ширина коллекторной области с модулированной проводимостью,

$$W_{EB} = W_C - (V_{CEB} S_C / I_C \rho_C), \quad (2)$$

где W_C - ширина коллекторной n -области; V_{CEB} - падение напряжения на коллекторной n -области с шириной $(W_C - W_{EB})$, в которой отсутствует модуляция проводимости [1]; ρ_C - удельное сопротивление коллекторной области, равное

$$\rho_C = 1 / q \mu_n N_C, \quad (3)$$

μ_n - подвижность электрона; N_C - плотность легирования коллекторной n -области.

Подстановка выражения (3) в (2) для W_{EB} даст

$$W_{EB} = W_C [1 - (I_0 / I_C)], \quad (4)$$

Здесь $I_0 = q \mu_n N_C S_E V_{CEB} / W_C$ - характерный ток, начиная с которого переход коллектор-база смещается в прямом направлении и происходит расширение базы.

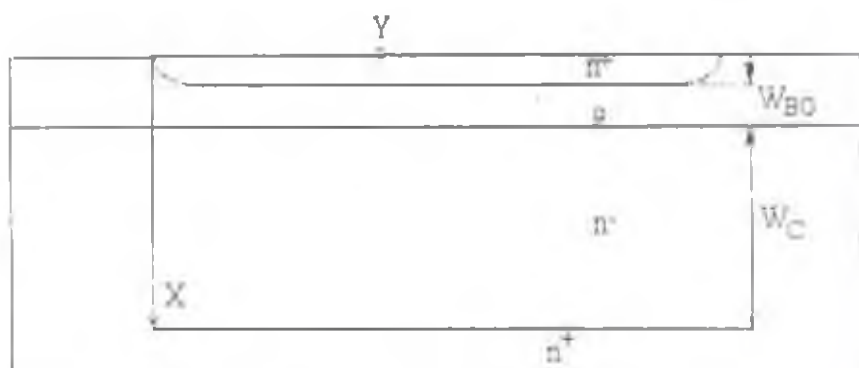


Рис. 1. Поперечное сечение силового биполярного транзистора

Из вышеприведенных уравнений можно получить коэффициент усиления

$$h_{FE} = \frac{h_{FE0}}{1 + \frac{Q'}{\tau_c} + \frac{Q_n \bar{D}_{nB}}{Q_{BO} D_c} \left(\frac{I_c}{I_n} + \frac{I_n}{I_c} - 2 \right)}, \quad (5)$$

где

$$Q' = \frac{h_{FE0} W_c^2}{4 \bar{D}_{nB}} \left[1 - \frac{I_n}{I_c} \right], \quad (6)$$

$$Q_n = \frac{V_{CE0}}{(4kT/q)} N_c W_c, \quad (7)$$

$$D_c = \bar{D}_{nB} \bar{D}_{nB} / D_{nB}, \quad (8)$$

Здесь $D_n = \mu_n (kT/q)$.

При большом коллекторном токе, т.е. когда $I_c \gg I_n$, значение W_{cB} в (4) приближается к W_c , и выражение (6) принимает вид.

$$Q' = h_{FE0} W_c^2 / 4 \bar{D}_{nB}. \quad (9)$$

Подставляя (6)-(9) в (5) и учитывая значение I_n , коэффициент усиления h_{FE} при большом коллекторном токе можно представить в виде

$$h_{FE} = \frac{h_{FE0}}{1 + \frac{Q'}{\tau_c} + \frac{I_c W_c^2}{4q(Q_{BO} / \bar{D}_{nB}) \bar{D}_{nB} S_c}}. \quad (10)$$

Очевидно, что коллекторный ток I_c можно выразить через h_{FE} следующим образом

$$I_c = \frac{Q h_{FE0}}{h_{FE}} - Q \left[1 + \frac{Q'}{\tau_c} \right]. \quad (11)$$

где

$$Q = \frac{4q(Q_{\text{ис}}/D_{\text{н}})D_{\text{н}}D_{\text{н}}S_1}{W_1^2} \quad (12)$$

Из (11) видно, что график зависимости I_c от $1/h_{\text{FE}}$ изображается прямой линией с наклоном и пересечением с осью Y , равным $Q(1+Q'/\tau_c)$. Время рекомбинации τ_c можно определить из пересечения прямой линии, если другие физические параметры транзистора известны. Таким образом выражение (11) справедливо при условии $I_c \gg I_{\text{ис}}$.

Для исследования τ_c используются силовые транзисторы. Основным методом создания таких транзисторов является двойная или тройная односторонняя диффузия базовых и эмиттерных примесей на основе $p-p$ исходных кремниевых структур (рис. 1). Глубина эмиттерного перехода этих транзисторов равна 15 мкм, а коллекторного перехода - 40 мкм. Измерения были проведены для двух серий транзисторов. Серия А соответствует транзисторам с полным эмиттером. Транзисторы серии В получают травлением от поверхности части эмиттера с глубиной 10 мкм. Создание эмиттерной области подобной конструкции возможно путем применения технологии прецизионного микрохимического или электрохимического травления кремния, обеспечивающего точность ± 1 мкм на глубине 10 мкм по всей поверхности транзисторной структуры. Таким образом, транзисторы серии А и В идентичны по всем другим параметрам. Приведены параметры этих транзисторов (табл. 1). Для транзисторов серий А и В при $V_{\text{CE}} = 5$ В измеряется коэффициент усиления h_{FE} в режиме квазинасыщения при разных коллекторных токах. Эти результаты показаны в виде зависимости I_c от $1/h_{\text{FE}}$ (рис. 2). Как видно, эти графики представляют собой прямые линии для значений коллекторного тока $I_c \gg I_{\text{ис}}$, где $I_{\text{ис}}$ меньше 10 А для $V_{\text{CE}} < 5$ В. V_{CE} незначительно отличается от V_{BE} , что обусловлено падением напряжения на эмиттерных и коллекторных переходах, на модулированной p области и падением $I_c R_{\text{ис}}$. Учитывая эти падения напряжений, можно вычислить значения V_{CE} . Результаты (рис. 2) показывают, что кривая зависимости I_c от $1/h_{\text{FE}}$ отклоняется от прямой линии, если коллекторный ток становится порядка 1 А. Для коллекторного тока, превышающего 30 А, прямолинейные части кривых зависимости I_c экстраполируются до пересечения с осью Y , и координаты точек пересечения используются для оценки времени жизни τ_c . Решая совместно (11) и (12), находим

$$\tau_c = \frac{h_{\text{FE}} W_1^2}{4D_{\text{н}}} \left[\frac{CW_1}{4q(Q_{\text{ис}}/D_{\text{н}})D_{\text{н}}D_{\text{н}}S_1} - 1 \right] \quad (13)$$

точка C представляет собой координату точки пересечения с осью Y (рис. 2).

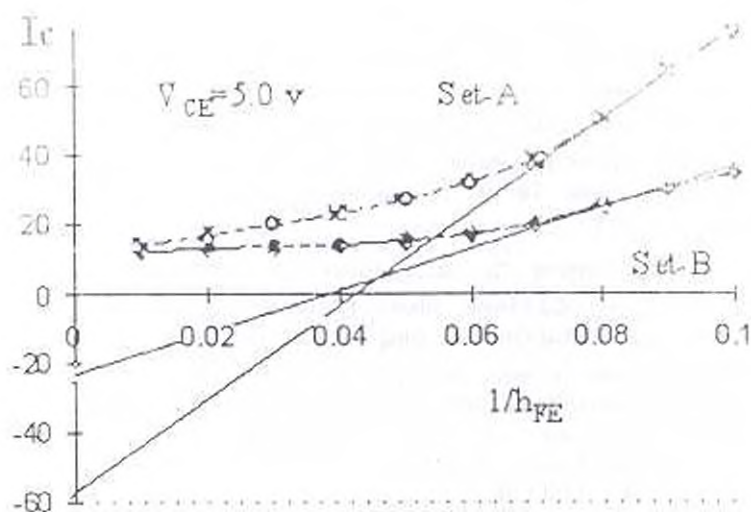


Рис. 2. Экспериментальные кривые зависимости I_c от $1/h_{FE}$ для силовых транзисторов типа $n^+-p-n^+-p^+$.

Среднее значение коэффициента диффузии дырок D_{pE} в (13) равно $20 \text{ см}^2/\text{с}$ [1]. Для транзисторов серий А и В, имеющих разные эмиттерные глубины, значения τ_c определяются с учетом (13) и точки пересечения графика с осью Y (рис. 2), т.е. $\tau_c = 10.4 \text{ мкс}$. Тем самым доказывается, что τ_c не зависит от параметров эмиттерной области.

Таблица 1

Параметр	Транзисторы с полным эмиттером	Транзисторы с выгравленным эмиттером
Толщина выгравленной с поверхности эмиттерной области h	0	10 мкм
Глубина перехода эмиттер-база x_d	15 мкм	5 мкм
Коэффициент усиления в активной области β_{FE}	110	60
Эффективная площадь эмиттера S_E	0,65 см^2	0,65 см^2
Число Гуммеля базы Q_B / D_{pB}	$10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}$	$10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}$
Ширина коллекторной области	60 мкм	60 мкм

Необходимо отметить, что выражение (13) для τ_c справедливо в случае, если измерения производятся при достаточно больших токах I_c , таких, что $I_c \gg I_{c0}$. В этих условиях $W_{c0} \approx W_c$, следовательно, результаты не зависят от V_{c0} . Измерения показали, что значение τ_c не зависит от V_{c0} .

Таблица 2

Серия транзистора	Время рекомбинации, полученное методом Лэкса	Время рекомбинации, полученное настоящим методом
Серия А с полным эмиттером	8,4 мкс	10,4 мкс
Серия В с частично выправленным эмиттером	5,3 мкс	10,4 мкс
Транзисторы с полностью выправленным эмиттером	9,1 мкс	-

Для сравнения нашего метода с другими проведены измерения τ_c также методом Лэкса на коллекторном р-п-переходе транзисторов серий А и В, оставляя эмиттер холостым. Для транзисторов серии А значение τ_{c0} равно 8,4 мкс. Для транзисторов серии В, где 10 мкм эмиттера выправлено, значение τ_{c0} оказывается равным 5,3 мкс. Это уменьшение времени жизни для транзистора с выправленным эмиттером обусловлено увеличением тока инжектированных дырок [3,5]. Однако, как указано в [3], точное значение τ_c можно получить методом Лэкса только при полном выправлении эмиттера и измерении времени рекомбинации на переходе коллектор-база. Таким образом, значение τ_c для транзисторов с полностью выправленным эмиттером равно 9,1 мкс.

При сравнении τ_c для транзисторов серий А и В, полученных с помощью нашего метода и метода Лэкса (табл.2), выявлено, что значение τ_c , полученное с помощью настоящего метода, не изменяется с изменением глубины эмиттерного перехода, т.е. не зависит от размеров эмиттера. Это значение также близко к τ_{c0} , полученному методом Лэкса на переходе коллектор-база для транзисторов с полностью выправленным эмиттером. Таким образом, доказана справедливость извлечения τ_c с помощью настоящего метода.

Работа выполнена в рамках проекта МНТЦ А-140/98.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Вardanian A.A. Расчет и конструирование силовых транзисторных ключевых элементов - Ереван: Merapart, 1991 - 200с
- 2 Lax B. Neustadler Recombination in Silicon p-n Diodes // J.Appl. Phys - 1954 - V. 25, № 9 - P 1148-1154
- 3 Шабоян А.С., Варданян А.А. Конструкция транзисторной структуры с утопленным эмиттером // Изв. АН Армении. Сер. Физика - 1989 - Т. 24, № 5 - Р. 247-252
- 4 Григорьев Б.И., Рудский В.А., Тохатов В.В. Измерение времени жизни неосновных носителей заряда в высокоомных слоях транзисторных структур // Радиотехника и электроника - 1981 - Т. 26, № 7 - С 1514-1521
- 5 Киракосян Г.Г., Макарян Г.А., Шабоян А.С. Исследование максимального коэффициента усиления по току силовых транзисторов с учетом эффекта высокого уровня легирования // Изв. НАН РА и ГИУА, Сер.ТН - 1997 - Т.50, № 1 - 1997 - С.36-40

ГЗАО "Транзистор"

Амсер ун-т Армении

17.12.1997

Изв. НАН и ГИУА Армении, Сер. ТН, т. 51, № 1, 1998, с. 76-81

ՀՏԴ 621.324

ԻՆՖՈՐՄԱՏԻՎԱ

Ս.Յ. ՍԿՐՏՉՅԱՆ, Կ.Ս. ՆԱԶԱՐՅԱՆ

ԿԱՌԱՎԱՐՎՈՂ ԳՐԱԿԱՆ ԵՎ ԲԱՅԱՍԱԿԱՆ ԿՈՆՈՒՆԵՐՈՎ ԺՈՐՄԱԸ ՆՆՅՐՈՆԻ ԻՐԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ԿՈՂԿ ՏՐԱՆԶԻՍՏՈՐՆԵՐՈՎ

Հոդվածը առնչվում է կառավարվող կոնոներով մոտոքեր ունեցող ֆորմալ նեյրոնի (ՖՆ) տեխնիկական իրականացմանը: Առաջարկվող ԿՄՕԿ տրանզիստորներով ՖՆ-ի էլեկտրոնային սխեմայում հնարավոր է լինում իրականացնել դրական և բացասական կոնոներ: Դիմումն ուղարկելու համար ինքը չափազանց կարևոր է ապագայի մեյրոնի ստեղծմանն ընդհանրել:

Рассматриваются вопросы технической реализации формального нейрона (ФН) с управляемыми весами входов. В предлагаемой схеме ФН с использованием КМОП транзисторов возможна реализация как положительных, так и отрицательных весов для одного и того же входа.

Ил. 2. Библиогр. 4 назв.

An implementation of a formal neuron (FN) with controlled input weights is considered. A FN circuit is proposed where using CMOS transistors the negative and positive weights are possible to implement in the same input.

1-2 Ref. 4

Հարկում է որ ֆորմալ նեյրոնն իրականացնում է հետևյալ մաթեմատիկական առումադաստիարակը:

$$F = \text{Sign} \left(\sum_{i=1}^n x_i w_i - w_0 \right), \text{ որտեղ } \text{Sign}(\varphi) = \begin{cases} 1 & \varphi \geq 0; \\ 0 & \varphi < 0; \end{cases} \quad (1)$$

w_i - ն համապատասխան x_i սինապտիկ մուտքի քաշային գործակիցն է, իսկ w_0 -ն ՖՆ-ի շեմը:

ՖՆ-ի նախագծման ժամանակ անհրաժեշտ է հաշվի առնել, որ միեւնույն մուտքն իրեն դրսեւորի կամ որպես դրական, կամ որպես բացասական, կախված կոնկրետ խնդիրներից: [1]-ում ներկայացված ՖՆ-ի էլեկտրական սխեմաներում սինապտիկ մուտքերը չունեն այդ հնարավորությունը, ինչը որոշ առումով սահմանափակում է ՖՆ-ի ֆունկցիոնալ հնարավորությունները: Այդ սխեմաների մյուս թերությունն այն է, որ սինապտիկ կշիռները իմտեգրալ իրականացման դեպքում ձեւավորվում են դիֆուզային ռեզիստորների միջոցով, որոնք, որպես կանոն, ունեն պատրաստման փոքր (15-20%) ճշտություն եւ մեծ մակերես ևն զբաղեցնում սիլիցիումի վրա: Քանի որ զբաղեցրած մակերեսը ուղիղ համեմատական է դիմադրությանը, ապա անհրաժեշտ է տվյալ խնդրի լուծման համար ընտրել որոշակի օպտիմալ տարբերակ, ինչն իր հերթին ըստ սահմանափակում է ՖՆ-ի մուտքերի քաշային գործակիցների հնարավոր արժեքները (դրանք ձեւավորվում են ռեզիստորների արժեքներին համապատասխան): Սովորաբար այդպիսի դեպքերում օհմական (դիֆուզային) ռեզիստորին փոխարինում է ՄՂԿ տրանզիստորի հոսքուղու դիմադրությունը, որը ապամանավորված է մի շարք առավելություններով

- դիմադրության արժեքի հեշտ կառավարում փականին տրված լարման միջոցով.

- դիմադրության արժեքի փոփոխման հնարավորություն լայն տիրույթում.

- դիմադրության տարբեր արժեքների դեպքում նույն մակերեսի զբաղեցում.

- ՄՂԿ տրանզիստորների իմտեգրացիայի բարձր աստիճան (ինչը հնարավորություն է տալիս ունենալու մեծ թվով սինապտիկ մուտքեր) եւ այլն:

Որպեսզի ՄՂԿ տրանզիստորը փոխարինի օհմական դիմադրությունը, անհրաժեշտ է պալմաններ ստեղծել նրա բնութագրի գծային տիրույթում աշխատելու համար: Հայտնի է, որ ՄՂԿ տրանզիստորի հոսքուղու դիմադրությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ

$$R_{\text{ch}} = 1 / k (V_{\text{c}} - V_{\text{th}}), \quad (2)$$

որտեղ $k = \mu C_{\text{ox}} W / L$: W -ն եւ L -ը համապատասխանաբար հոսքուղու լայնությունն ու երկարությունն են. C_{ox} -ն ՄՂԿ կոնդենսատորի տեսակարար ունակությունն է, μ -ն լիցքակիրների շարժունակությունը, V_{c} -ն, V_{th} -ն համապատասխանաբար փականի եւ շեմային լարումներն են:

Նախքան կոնկրետ սխեմատիկ իրականացման հասնելը, հաշվի առնենք ՖՆ-ի իրականացման համար [2]-ում ներկայացված տարրական միավորի մոդելը:

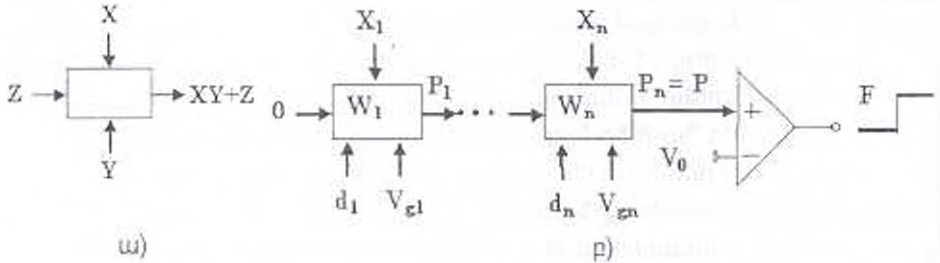
Այսինքն, ունենալով մի տարրական միավոր, որն իրականացնում է

$$i = XY + Z \quad (3)$$

ֆունկցիան (նկ.1.ա), կարելի է ֆորմալ ներդրող իրականացնել նկ.1բ-ում բերված հաջորդականության տեսքով [2, 3]:

Ակնհայտ է, որ

$$P_i = x_i w_i, \quad P_i = x_i w_i + P_{i-1}, \quad i = 2, 3, 4, \dots, n: \quad (4)$$



Նկ. 1 ա) $XY + Z$ ֆունկցիան իրականացնող միավորը եւ բ) այդպիսի միավորների հաջորդականությամբ ՖՆ-ի իրականացման բլոկ սխեման

Նկ.1բ-ում ենթադրվում է, որ y -ը, որը փոխարինված է w_i -ով, գտնվում է հենց այդ միավորի մեջ: Այստեղ w_i -ն կարող է ընդունել կամ դրական, կամ բացասական արժեք: Ընդ որում, վերջինիս արժեքը եւ նշանը (դրական կամ բացասական) որոշվում են համապատասխանաբար V_{gi} եւ d_i դեկավաորող ազդանշաններով:

Առաջարկում ենք $XY+Z$ իրականացնող միավորի էլեկտրական սխեմա (ինտեգրալ տեխնոլոգիական իրականացմամբ), կառուցված ՎՄԴԿ տրանզիստորներով: Դա ոչ միայն հնարավորություն է տալիս նույն մուտքին հանդես գալու կամ որպես դրական, կամ որպես բացասական, այլեւ կառավարելու ցանկացած մուտքի քաշային գործակցի արժեքը բավականին լայն տիրույթում. ՄԴԿ տրանզիստորի հոսքուղու դիմադրության ((2) արտահայտությունը) շնորհիվ [4]:

Այժմ քննարկենք նկ.2-ում բերված սխեմայի աշխատանքը: Սխեմայում ու-ՄԴԿ տրանզիստորների համար հարթակները միացվում են հողին, իսկ Բ-ՄԴԿ-ների համար V_{DD} սնուցման լարմանը: M_3, M_4, M_6, M_9 տրանզիստորները աշխատում են օհմական դիմադրության ռեժիմներում: Քաշային գործակիցները ձեւավորվում են M_5 ու-ՄԴԿ տրանզիստորի հոսքուղու դիմադրությամբ, որի արժեքը հեշտությամբ կառավարվում է փականին տրված V_{in} լարմամբ: d_i մուտքային (թվային) ազդանշանը որոշում է քաշային գործակցի՝ նշանը (դրական կամ բացասական):

Սխեմայի աշխատանքը հասկանալու համար դիտարկենք հետեւյալ դեպքերը.

ա) $X = 1, d_i = 0$: Այս դեպքում M_2 եւ M_4 տրանզիստորները բաց են, իսկ M_1 եւ M_7 տրանզիստորները փակ: Հետեւաբար, V_{out} սնուցման լարումից M_5

Ակնհայտ է, որ ՖՆ-ի տարրական միավորի էլեկտրական սխեման (Նկ.2) CD ճյուղը չի պարունակում Նկ.1բ-ում բերված հաջորդականության առաջին միավորի համար եւ DE ճյուղը միացվում է M_8 , M_9 տրանզիստորներով իրականացված բեռային դիմադրությունների, վերջինիս հանրահաշվական գումարային (I_1) հոսանքը գումարային (I_2) լարման ձեւափոխման նպատակով: Կերջում, լարման համեմատիչի օգնությամբ այդ լարումը տրամաբանորեն համեմատվում է V_0 շեմային լարման հետ, ելքում ձեւավորվում է ՖՆ-ի հայտնի (1) ելքային F ֆունկցիան:

Նկ.2-ում բերված էլեկտրական սխեման ունի առավելություններ եւ թերություններ կոմպլեքսնետար երկբեւեռ տրանզիստորներով իրականացված ՖՆ-ի տարբերակի համեմատությամբ [2]: Սրագագործությամբ այն զիջում է [2]-ում բերված ՖՆ-ի տարբերակին, քանի որ իրականացված է ԿՄԴԿ տրանզիստորներով, որոնք ունեն մեծ պարագիտային ունակություններ: Նկ.2-ում ներկայացված սխեման հնարավորություն է տալիս փոխել ոչ միայն քաշային գործակցի նշանը, այլեւ բավականին հեշտությամբ կառավարել նրա մոդուլը: Դայտնի է, որ, ի տարբերություն երկբեւեռ տրանզիստորների պատրաստման պարամետրերի կրկնելիության, ՄԴԿ տրանզիստորներն ունեն պարամետրերի ավելի վատ կրկնելիություն, ինչը հանգեցնում է քաշային գործակիցների սխալ ձեւավորման: Այս բացասական երեւույթը ամբողջովին փոխհատուցվում է ՖՆ-ի ուսուցման ալգորիթմներով, որոնց հիմնական սկզբունքն այն է, որ, հետադարձ կապերի շնորհիվ, քաշային M_9 տրանզիստորի փականի լարումը դառնում է տվյալ w_i կշռին համապատասխան լարում (6) արտահայտությունը): Ինչպես արդեն նշվեց, կշիռները կառավարվում են լարումներով, ուստի էՅՄ-ի կողմից կառավարվող կշիռներով ՖՆ-ի համար ամփոփեժն է մի երրորդ, թվա-անալոգային կերպափոխիչներից (ԹԱԿ) բաղկացած հանգույց: Տեխնոլոգիական իրականացման տեսանկյունից ԿՄԴԿ ԻՍՍ-ների պատրաստման համար ներկայումս գոյություն ունեն լավ ուսումնասիրված մեթոդներ: Ղրանք հնարավորություն են տալիս ստանալ ինտեգրացիայի գերբարձր աստիճան ունեցող սխեմաներ, ինչը նպաստում է նույն սիլիցիումային մակերեսի դեպքում ՖՆ-ի մուտքերի քանակի էական ավելացմանը:

Այսպիսով, Նկ.2-ում ներկայացված սխեման ոչ միայն հնարավորություն է տալիս ընդլայնելու ՖՆ-ի ֆունկցիոնալ հնարավորությունները, այլեւ իրականացվում է լավ հետազոտված եւ էժան տեխնոլոգիայով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Мкртчян С.О. Проектирование логических устройств ЭВМ на нейронных элементах. М. Энергия. 1977 - 198 с.

от существующей теории МУ [8-11], поскольку она основана на дифференциальных уравнениях в частных производных с однородными граничными условиями.

В настоящей работе теория МУ ограничивается синтезом систем, в которой только один пространственный параметр и различные пары сложно-сопряженных пространственных параметров являются постоянными и бесконечными. Для того чтобы реализовать полученный идеальный закон МУ, необходимо учесть конечное число элементов в разложении. При этом необходима приближенная реализация закона МУ системы с распределенными параметрами. Исследуется степень отклонения приближенного закона от идеального закона МУ. Полученные численные результаты обсуждаются для случая, относящегося к МУ системы, описываемой с одномерным диффузионным уравнением. Показывается, что четно-нумерованные собственные значения рассматриваемой системы не управляются, т.е. закон управления не имеет какого-либо воздействия на собственные функции системы. В связи с этим обсуждаются только пространственные параметры с нечетно-нумерованными собственными значениями.

Анализ собственных значений. Пусть система описывается линейным дифференциальным уравнением в частных производных

$$\frac{\partial x(\mu, t)}{\partial t} = A[x(\mu, t)] + b(\mu)u(t), \quad \mu \in [0, l], \quad t \geq 0, \quad (1)$$

с однородными граничными условиями. Здесь $x(\mu, t)$ - скалярная функция состояния; μ - пространственный параметр; t - время; A - линейный интегро-дифференциальный оператор от μ ; $b(\mu)$ - скалярная функция, характеризующая пространственное распределение скалярного входа $u(t)$.

Предположение об однородности граничных условий не исключает систем с граничным управлением, так как в этом случае пространственное распределение входа может быть представлено с помощью дельта-функций Дирака и их производных [4.5].

Уравнение состояния системы (1) при отсутствии управления принимает вид

$$\partial x(\mu, t) / \partial t = A[x(\mu, t)], \quad (2)$$

При этом допускается, что

$$x(\mu, 0) = w(\mu, 0) \quad (3)$$

где, как видно из (2) и (3),

$$dw(\mu, t) / dt = \lambda w(\mu, t), \quad t \geq 0, \quad (4)$$

$$A[w(\mu, t)] = \lambda w(\mu, t), \quad \mu \in [0, l], \quad (5)$$

для некоторой скалярной функции λ .

Так как граничные условия считаются однородными, то из (5) следует

$$A[w_n(\mu, t)] = \lambda_n w_n(\mu, t), \quad n = 1, 2, \dots, \infty, \quad (6)$$

где λ_n и $w_n(\mu, t)$ - собственные значения и соответствующие им собственные функции, характеризующие свободное движение системы (1).

Предполагается, что собственные значения λ_n действительны и различны, а собственные функции $v_n(\mu)$ системы, сопряженной к (1), удовлетворяют условиям биортогональности [12,13]:

$$\int_0^1 v_m(\mu) w_n(\mu) d\mu = \delta_{mn}, \quad m, n = 1, 2, \dots, \infty \quad (7)$$

Здесь δ_{mn} - дельта Кронекера.

Из соотношений (4) - (7) следует, что решение (1) записывается в виде $x(\mu, t) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n w_n(\mu) \exp(\lambda_n t)$, где коэффициенты c_n определяются в виде

$$c_n = \int_0^1 v_n(\mu) x(\mu, 0) d\mu, \quad n = 1, 2, \dots, \infty$$

Синтез систем МУ Задачей МУ является выбор такого типа управления, при котором замкнутая система обладает заданными спектральными свойствами. Пусть поступающий на систему (1) входной сигнал $u(t)$ образуется в соответствии с законом МУ

$$u(t) = K \int_0^1 m(\mu) x(\mu, t) d\mu, \quad (8)$$

где K - некоторый коэффициент усиления; $m(\mu)$ - функция пространственного параметра, определенная на интервале $\mu \in [0, 1]$

Как видно из (1) и (8), уравнение состояния замкнутой системы имеет форму $dx(\mu, t)/dt = Q[x(\mu, t)]$ где

$$Q[x(\mu, t)] = A[x(\mu, t)] + Kb(\mu) \int_0^1 m(\mu) x(\mu, t) d\mu. \quad (9)$$

Спектральные свойства оператора (9) зависят от конкретного выбора функции $m(\mu)$. Если эту функцию определить соотношением $m(\mu) = v_k(\mu)$, где $v_k(\mu)$ есть собственная функция, соответствующая k -му собственному значению сопряженной системы, то уравнение (9) примет вид

$$Q[x(\mu, t)] = A[x(\mu, t)] + Kb(\mu) \int_0^1 v_k(\mu) x(\mu, t) d\mu \quad (10)$$

В данном случае из (7) и (10) следует

$$Q[w_k(\mu)] = \lambda_k w_k(\mu),$$

$$Q[w_k(\mu)] = \lambda_k w_k(\mu) + Kb(\mu) \int_0^1 v_k(\mu) w_k(\mu) d\mu = \lambda_k w_k(\mu), \quad k = 1, 2, \dots, \infty. \quad (11)$$

Это означает, что использование в качестве $m(\mu)$ собственной функции $v_k(\mu)$ приводит к замкнутой системе с теми же собственными значениями и собственными функциями, что и у исходной разомкнутой системы. Исключение составляет лишь собственное значение λ_k и собственная функция $w_k(\mu)$ которые в замкнутой системе принимают новые значения $\rho_k \neq \lambda_k$ и $\psi_k(\mu) \neq w_k(\mu)$

соответственно. Чтобы выразить ρ_k и $\omega_k(\mu)$ в функции от R и $b(\mu)$, воспользуемся разложениями

$$\omega_k(\mu) = \sum_{n=1}^{\infty} q_n w_n(\mu), \quad (12)$$

$$b(\mu) = \sum_{n=1}^{\infty} p_n w_n(\mu), \quad (13)$$

где в силу (7) коэффициенты разложения (13) представлены в виде

$$p_n = \int_0^1 v_n(\mu) b(\mu) d\mu. \quad (14)$$

Так как по определению

$$Q[\omega_k(\mu)] = \rho_k \omega_k(\mu), \quad (15)$$

то из уравнений (11)-(13) и (15) находим

$$\sum_{n=1}^{\infty} q_n \lambda_n w_n(\mu) + R q_k \sum_{n=1}^{\infty} p_n w_n(\mu) = \rho_k \sum_{n=1}^{\infty} q_n w_n(\mu),$$

откуда, используя условия биортогональности (7), получаем $q[\lambda_k + Rq_k p_k] = \rho_k q_k$.

Из последних выражений видно, что коэффициенты q_n в разложении функции $\omega_k(\mu)$ определяются с точностью до постоянного множителя:

$$q_n = R q_k q_n / (r_k - I_k), \quad (16)$$

Если известны значения q искать при $q_k = 1$ по формуле (16) для $n = k$ находим величину коэффициента усиления

$$R = (r_k - I_k) / p_k. \quad (17)$$

Определяемая выражением (17) величина R будет действительной, если таковым будет искомое собственное значение ρ_k , так как λ_k и p_k действительны. Кроме того, коэффициент усиления R будет конечным при условии $r_k \neq 0$. Это неравенство фактически является условием существования k -го собственного значения системы (1). Явная форма этого условия как видно из (14), имеет вид

$$\int_0^1 v_n(\mu) b(\mu) d\mu \neq 0. \quad (18)$$

Приближенная реализация закона МУ. При выполнении условия (18) сдвиг собственного значения $\lambda_k \rightarrow \rho_k$ достигается путем подачи на систему входного сигнала $u(t)$ в соответствии с идеальным законом управления

$$u(t) = R \int_0^1 v_n(\mu) x(\mu, t) d\mu, \quad (19)$$

где R представляется формулой (17).

Однако этот закон управления не может быть реализован практически, так как измерение $x(\mu, t)$ осуществляют в дискретном

количеством элементов. Для того чтобы реализовать полученный идеальный закон МУ, необходимо знать лишь конечное число элементов в разложении: $\mu = \mu_i, i = 1, 2, \dots, m$. Поэтому необходима аппроксимация идеального закона управления (19) конечным законом вида

$$u(t) = R \sum_{i=1}^m y_i v_k(\mu_i) x(\mu_i, t), \quad (20)$$

где y_i - скалярные весовые коэффициенты, численные значения которых зависят от конкретной процедуры аппроксимации интервала в управлении (19).

Степень отклонения приближенного закона (20) от идеального МУ может быть выявлена в результате подстановки (20) в (1) при условии использования прежних граничных условий. Уравнение состояния замкнутой системы (1), (20) при этом принимает вид

$$\partial x(\mu, t) / \partial t = A[x(\mu, t)] + Rb(\mu) \sum_{i=1}^m y_i v_k(\mu_i) x(\mu_i, t). \quad (21)$$

Если решение уравнения (21) искать в форме $x(\mu, t) = \Gamma(\mu)h(t)$, то после разделения переменных получаем $\partial h(t) / \partial t = \beta h(t), t \geq 0$ и

$$\beta f(\mu) = A[f(\mu)] + Rb(\mu) \sum_{i=1}^m y_i v_k(\mu_i) f(\mu_i), \quad \mu \in [0, \ell]. \quad (22)$$

Разложение $\Gamma(\mu)$ по собственным функциям имеет вид

$$f(\mu) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n w_n(\mu), \quad (23)$$

$$\text{где } a_n = \int_0^{\ell} v_n(\mu) f(\mu) d\mu.$$

Подстановка разложения (23) в уравнение (22) дает

$$\beta \sum_{n=1}^{\infty} a_n w_n(\mu) = \sum_{n=1}^{\infty} \lambda_n a_n w_n(\mu) + Rb(\mu) \sum_{n=1}^{\infty} a_n c_{nk}, \quad (24)$$

где

$$c_{nk} = \sum_{i=1}^m y_i v_k(\mu_i) w_n(\mu_i). \quad (25)$$

Теперь из соотношений (7), (13) и (24) можно заключить:

$$\beta a_n = \lambda_n a_n + R p_n \sum_{k=1}^m a_n c_{nk}, \quad (26)$$

где p_n определяется формулами (14).

Уравнения (26) образуют бесконечную систему однородных алгебраических уравнений относительно a_n . Если рассматривать только первые N уравнений из этой системы, то можно прийти к следующей задаче о собственных значениях: $Ma = \beta a$, где

$$a = [a_1, a_2, \dots, a_N], \quad M = [m_{ij}], \quad m_{ij} = \lambda_j \delta_{ij} + R p_i c_{jk}, \quad i, j = 1, 2, \dots, N. \quad (27)$$

Собственные значения θ_j , $j=1, 2, \dots, N$ матрицы M размера $N \times N$ являются оценками собственных значений, соответствующих замкнутой системе (1), (20). Часто удается выбрать m и y_i , $i=1, 2, \dots, m$, так, чтобы доминирующие собственные значения системы (1) с приближенным законом МУ (20) существенно не отличались от соответствующих собственных значений при идеальном МУ (19). Это видно на примере следующей задачи.

Задача нагрева однородного стержня.

1. *Разомкнутая система.* Рассматривается задача температурного управления однородным стержнем, которую можно описать одномерным диффузионным уравнением вида [14]

$$\partial x(\mu, t) / \partial t = h^{-1} \partial^2 x(\mu, t) / \partial \mu^2 + b(\mu)u(t), \quad \mu \in [0, \ell], \quad t \geq 0. \quad (28)$$

Здесь h есть действительная постоянная, а $x(\mu, t)$ - температура стержня. Предполагается, что температура на концах стержня одинакова и неизменна: $x(0, t) = x(\ell, t) = 0$

Уравнение (5) и соответствующие ему граничные условия в этом случае принимают форму

$$h^{-1} \frac{\partial^2 w(\mu, t)}{\partial \mu^2} - \lambda w(\mu) = 0, \quad w(0) = w(\ell) = 0. \quad (29)$$

Решение уравнения (29) приводит к следующим формулам для собственных значений и связанных с ними собственных функций:

$$\lambda_n = -n^2 \left(\frac{\pi h}{\ell} \right)^2, \quad w_n(\mu) = v_n(\mu) = \left(\frac{2}{\ell} \right)^{1/2} \sin \left(\frac{n\pi\mu}{\ell} \right), \quad n = 1, 2, \dots, \infty.$$

Управляемость различных собственных функций системы (28) зависит от конкретного вида функции $b(\mu)$, как это следует из (18). Так, например, если нагрев стержня осуществляется с помощью индукционной катушки, намотанной на сегмент стержня в диапазоне $\ell/4 \leq \mu \leq 3\ell/4$, то

$$b(\mu) = b \left\{ w \left(\mu - \frac{\ell}{4} \right) - w \left(\mu - \frac{3\ell}{4} \right) \right\}. \quad (30)$$

В этом случае коэффициенты в разложении $b(\mu)$ по собственным функциям определяются в виде

$$p_n = \frac{(8\ell)^{1/2}}{n\pi} b \sin \left(\frac{n\pi}{2} \right) \sin \left(\frac{n\pi}{4} \right), \quad n = 1, 2, \dots, \infty. \quad (31)$$

Из (31) видно, что значения p_n , соответствующие четно-нумерованным n , равны нулю. Следовательно, при данном выборе $b(\mu)$ управляются только нечетно-нумерованные собственные функции.

2. *Идеальный закон МУ.* Приведенные выражения показывают, что собственные значения замкнутой системы (28), (30) при идеальном законе МУ (19) совпадают с собственными значениями λ_k разомкнутой системы при четном k , если же k нечетно, то λ_k изменяется и принимает новое значение ρ_k . Пусть, например,

требуется увеличить скорость реакции замкнутой системы, придав $\lambda_1 = -(\pi h / l)^2$ новое значение

$$\rho_1 = -\gamma^2 (\pi h / l)^2, \quad (32)$$

где γ есть некоторое действительное число, большее единицы.

Тогда, как это следует из (17), (19) и (31), необходимо

воспользоваться законом управления $u(t) = K \int_0^t v_1(x)(\mu, t) dt$, где

$$K = \frac{(\gamma^2 - 1) \left(\frac{\pi h}{l} \right)^2}{b}, \quad (33)$$

$$\rho_1 = \frac{(1 + \gamma^2)}{\pi} b. \quad (34)$$

3. *Приближенная реализация закона МУ.* Как уже отмечалось, ввиду практической невозможности измерения температуры во всех точках стержня точное преобразование собственного значения $\lambda_1 \rightarrow \rho_1$ недостижимо. По этой причине ограничимся приближенным законом МУ, эффективность которого зависит от величин γ , Π и Π . Если m датчиков равномерно распределены по длине стержня, то из (25) находим

$$c_{11} = \frac{2}{l} \sum_{i=1}^m \sin\left(\frac{\pi i}{m+1}\right) \sin\left(\frac{n \pi i}{m+1}\right).$$

Из выражений (32) и (33) видно, что если в качестве собственного значения ρ_1 желательно иметь величину $-\gamma^2 (\pi h / l)^2$, то постоянным γ^2 и K необходимо придать значения $\gamma^2 = 8$ и

$K = -\frac{7}{b} \left(\frac{\pi h}{l} \right)^2$, где b определяется формулой (34). Теперь можно

составить матрицу M и вычислить ее собственные значения $\beta_1 = -\gamma^2 (\pi h / l)^2$ для различных значений m и N . Зависимость величины γ от m и N отражена в таблице.

Таблица

m, N	8	10	15	20
1	5,426	5,45	5,45	5,445
2	7,482	7,345	7,331	7,346
3	8,000	8,098	8,113	8,103
4	8,000	8,750	8,110	8,109
5	8,000	8,000	7,984	7,984

Точное значение $\gamma^2 = 8$ достигается в случае, если используется не менее трех датчиков. Следует заметить, что отклонения приближенного закона МУ от идеального закона

незначительны даже тогда, когда в приближенном законе управления количество элементов ограничено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами. -М.: Наука, 1976. - 424 с.
2. Бутковский А.Г. Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами. -М.: Наука, 1965. - 476 с.
3. Брутян В.К. Об одной задаче корректировки критерия оптимальности в марковских автоматических системах // Уч. записки ЕрГУ. Сер. "ЕН". - 1976. - Т. 131, № 1. - С. 3-11.
4. Брутян В.К. Основные аспекты теории непрерывных марковских управляемых систем и ее приложение. -Ереван: Айастан, 1984. - 298 с.
5. Брутян В.К. Синтез нелинейных марковских управляемых систем методом статистической аппроксимации // Изв. АН АрмССР. Сер.ТН. - 1982. - Т. 35, №5. - С. 29-36.
6. Брутян В.К. Об одной задаче синтеза нелинейных марковских управляемых систем методом полиномиальной аппроксимации // Автоматика и телемеханика - 1980. - № 7. - С. 51-61.
7. Брутян В.К. К задаче синтеза оптимальных линейных марковских управляемых систем методом канонических разложений // ДАН, АрмССР. - 1981. - Т. 72, № 4. - С. 224-231.
8. Ройтенберг Я.Н. Автоматическое управление -М.: Наука, 1971. - 552 с.
9. Лионс Ш.Л. Оптимальное управление системами, описываемое уравнениями с частными производными. -М.: Мир, 1972. - 414 с.
10. Калман Р., Фалб П., Арbib М. Очерки по математической теории систем. -М.: Мир, 1971.- 400 с.
11. Габасов Р., Кирилова ф. Качественная теория оптимальных процессов. -М.: Наука. 1971.- 396 с.
12. Мальцев А.И. Основы линейной алгебры. -М.: Наука, 1970. - 412 с.
13. Беллман Р. Введение в теорию матриц. -М.: Наука, 1969. - 368 с.
14. Бутковский А.Г., Малый С.А., Андреев Ю.Н. Оптимальное управление нагревом металла. -М.: Metallургия, 1972. - 312 с.

Военный институт МО РА

22.11.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LII, № 1, 1999, с. 88-94.

УДК 681.3+505:519.95

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

С.О. СИМОНЯН, А.Г. АВЕТИСЯН

ВЫЧИСЛЕНИЕ ОПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ НЕАВТОНОМНЫХ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ ДТ-ФОРМАЛИЗМА

Առաջարկված է ոչ ավտոնոմ մատրիքների որոշիչների հաշվման արդյունավետ մեթոդ
իմплеմենտացիա սխեմայով տարրական բնական ընթացակարգերի վրա: Դիտարկված է օրինակ:

Предложен эффективный метод вычисления определителей автономных матриц, базирующийся на одностипных элементарных численных процедурах. Рассмотрен пример.

Библиогр.: 2 назв.

An effective method of nonautonomous matrix determinant computation based on elementary numerical procedures is proposed. An example is considered. Ref.2.

1. Введение. Пусть задана матрица

$$A(t) = (a_{ij}(t)) = \begin{bmatrix} a_{11}(t) & a_{12}(t) & \dots & a_{1n}(t) \\ a_{21}(t) & a_{22}(t) & \dots & a_{2n}(t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}(t) & a_{n2}(t) & \dots & a_{nn}(t) \end{bmatrix}.$$

Вычисление определителей таких матриц аналитическим путем возможно лишь при малых n и весьма простых соотношениях $a_{ij}(t)$.

$i, j = \overline{1, n}$. Решению этой задачи для общего случая в литературе почти не уделяется внимания, по-видимому, из-за ее кажущейся тривиальности и реализации на основе выполнения следующей процедуры:

- выбора некоторого множества изолированных точек t_k , $k = \overline{1, k_{\text{из}}}$ (где $k_{\text{из}}$ - некоторое выбираемое из определенных соображений произвольное число, указывающее на количество узлов аппроксимации) и вычисления определителей соответствующих автономных матриц в этих точках;

- использования полученных при этом значений определителей и любого из известных интерполяционных методов с целью построения функции $\det A(t)$.

Реализация этой процедуры связана, с одной стороны, с громоздкими вычислениями, с другой - выбором значения величины $k_{\text{из}}$, никак не поддающимся регулярному правилу.

Целью настоящей работы является разработка нового эффективного аналитического метода решения отмеченной проблемы, полностью базирующегося на одностипных элементарных численных процедурах нахождения определителей некоторого множества автономных матриц.

2. Математический аппарат. Итак, пусть $a_{ij}(t)$, $i, j = \overline{1, n}$ представимы рядами Тейлора вокруг точки t_v , т.е.

$$a_{ij}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} a_{ij}(K) \left(\frac{t - t_v}{H} \right)^k,$$

где H - некоторая постоянная, а

$$a_{ij}(K) = \frac{H^K}{K!} \left. \frac{\partial^K a_{ij}(t)}{\partial t^K} \right|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad -$$

ДТ- изображения (дискреты) оригинала $a(t)$ в точке $t = t_0 + [1]$.

Тогда, по аналогии, матричные дискреты имеют вид

$$A(K) = \frac{H^K}{K!} \begin{bmatrix} a_{11}(K) & a_{12}(K) & \dots & a_{1n}(K) \\ a_{21}(K) & a_{22}(K) & \dots & a_{2n}(K) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}(K) & a_{n2}(K) & \dots & a_{nn}(K) \end{bmatrix} = [a_i(K)] = \\ = [a_1(K); a_2(K); \dots; a_n(K)], \quad K = \overline{0, \dots, n}$$

где $a_j(K) = (a_{1j}(K), a_{2j}(K), \dots, a_{nj}(K))^T$, $j = \overline{1, n}$ - K -е векторы-изображения векторов-столбцов матрицы $A(t)$ (естественно, можно оперировать и векторами-строками-изображениями векторов-строк матрицы $A(t)$).

Следовательно, для матрицы $A(t)$ будем иметь тейлоровское представление:

$$A(t) = \sum_{K=0}^n A(K) \left(\frac{t-t_0}{H} \right)^K$$

Известно [2], что определитель любой квадратной $(n \times n)$ -матрицы является алгебраической суммой $n!$ слагаемых, состоящих из произведения n сомножителей - элементов матрицы, находящихся в различных строках и столбцах. Поэтому ДТ-изображение определителя матрицы $A(t)$ будет состоять из суммы ДТ-изображений таких $n!$ слагаемых.

Рассмотрим как образуется ДТ-изображение одной из таких слагаемых. Для простоты предположим, что $n=3$, и в качестве такой слагаемой возьмем $a_{11}(t) \cdot a_{22}(t) \cdot a_{33}(t)$, т.е. произведение диагональных элементов матрицы $A(t)$. Имеем следующие представления:

при $K=0$:

$$(a_{11}(t) \cdot a_{22}(t) \cdot a_{33}(t))|_{t=t_0} = a_{11}(0) \cdot a_{22}(0) \cdot a_{33}(0);$$

при $K=1$:

$$\frac{H}{1!} \frac{\partial(a_{11}(t) \cdot a_{22}(t) \cdot a_{33}(t))}{\partial t} \Big|_{t=t_0} = H \left[\frac{\partial(a_{11}(t))}{\partial t} \Big|_{t=t_0} \cdot a_{22}(t) \Big|_{t=t_0} \cdot a_{33}(t) \Big|_{t=t_0} + \right. \\ \left. + a_{11}(t) \Big|_{t=t_0} \cdot \frac{\partial(a_{22}(t))}{\partial t} \Big|_{t=t_0} \cdot a_{33}(t) \Big|_{t=t_0} + a_{11}(t) \Big|_{t=t_0} \cdot a_{22}(t) \Big|_{t=t_0} \cdot \frac{\partial(a_{33}(t))}{\partial t} \Big|_{t=t_0} \right] = \\ = H [a_{11}(1) \cdot a_{22}(0) \cdot a_{33}(0) + a_{11}(0) \cdot a_{22}(1) \cdot a_{33}(0) + a_{11}(0) \cdot a_{22}(0) \cdot a_{33}(1)].$$

Аналогично, при $K=2$, опустив вычисления и представив лишь окончательный результат, имеем

$$\frac{H^2}{2!} \cdot \frac{\partial^2 (a_{11}(t) \cdot a_{22}(t) \cdot a_{33}(t))}{\partial t^2} \Big|_{t=0} = \frac{H^2}{2!} [a_{11}(2) \cdot a_{22}(0) \cdot a_{33}(0) +$$

$$+ a_{11}(0) \cdot a_{22}(2) \cdot a_{33}(0) + a_{11}(0) \cdot a_{22}(0) \cdot a_{33}(2) + a_{11}(1) \cdot a_{22}(1) \cdot a_{33}(0) +$$

$$+ a_{11}(1) \cdot a_{22}(0) \cdot a_{33}(1) + a_{11}(0) \cdot a_{22}(1) \cdot a_{33}(1)]$$

и т. д.

Такие ДТ-преобразования без каких-либо сложных вычислений легко можно получить и для любых слагаемых, порождаемых матрицами любого порядка, имея при этом в виду, что сумма номеров дискрет в каждом слагаемом в К-ом ДТ-изображении обязательно должна равняться К.

В результате проведения таких вычислений решение рассматриваемой задачи можно представить в виде тейлоровского разложения

$$\det[A(t)] = \sum_{K=0}^{\infty} \det(K) \cdot \left(\frac{1-t}{H} \right)^K,$$

где коэффициенты $\det(K)$ определяются соотношениями

$$\det(K) \equiv \det[A(1)] = \sum_{K=0}^{M_{k,n}} \det[a_1(K) \cdot a_2(K) \cdot \dots \cdot a_n(K)], \quad K = \overline{0, \infty}.$$

Величина $M_{k,n}$ в последнем выражении указывает на количество числовых матриц порядка n , используемых для вычисления величины $\det(K)$, причем здесь имеют место следующие рекуррентные соотношения:

$$M_{k,n} = M_{k+1,n} + M_{k,n-1}$$

или

$$M_{k,n} = \sum_{i=0}^K M_{k-i,n-1}.$$

При этом очевидно, что

$$a) \quad M_{0,n} = 1, \quad \forall n = \overline{2, \infty},$$

$$б) \quad M_{k,2} = K + 1, \quad \forall K = \overline{0, \infty},$$

$$в) \quad M_{k,n} = M_{n-1, K+1}, \quad \forall n = \overline{2, \infty}, \quad \forall K = \overline{1, \infty} \quad (\text{условие симметричности элементов матрицы относительно нижней главной поддиагонали при } K \geq 1).$$

Кроме того, если $a_j(P) \equiv 0, \quad \forall P = \overline{0, K}, \quad j = \overline{1, n}$, то $M_{k,n} =$

$$M_{k,n} = \sum_{i=0}^{m-1} M_{k-i, n-i-1}, \quad \text{где } m - \text{количество нулевых столбцов, а } M_{k,n} -$$

количество числовых матриц порядка n , не обладающих нулевыми столбцами.

Что касается необходимого количества дискрет P , обеспечивающего заранее заданную точность вычислений ε на заданном отрезке $[a, b]$, то в соответствии с известными оценками [2] будем иметь

$$\varepsilon = \max_{[a,b]} R_p(t) \leq \frac{\max_{[a,b]} \left| \frac{\partial^{p+1} \det[A(t)]}{\partial t^{p+1}} \right|}{(P+1)!} \rho^{p+1},$$

где

$$R_n(t) \leq \frac{\max_{[a,b]} \left| \frac{\partial^{p+1} \det[A(t)]}{\partial t^{p+1}} \right|}{(P+1)!} |t - t_v|^{p+1}, \quad \ell = \max\{t_v - a, b - t_v\}.$$

или, с учетом обозначения $\det(K) \equiv \det A(t)$,

$$\varepsilon \leq \max_{[a,b]} |\det(P+1)| \cdot \rho^{p+1}.$$

3. Пример. Рассмотрим матрицу

$$A(t) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & t \\ -t & 0 & t^2 \end{bmatrix},$$

для которой

$$\det[A(t)] = t \cdot (1 - t + t^2).$$

В соответствии с вышеизложенным имеем

$$A(0) = [a_1(0); a_2(0); a_3(0)] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$A(1) = [a_1(1); a_2(1); a_3(1)] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H,$$

$$A(2) = [a_1(2); a_2(2); a_3(2)] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot H^2,$$

$$A(K) = [a_1(K); a_2(K); a_3(K)] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot H^K = [0] \cdot H^K = [0], \quad \forall K \geq 3.$$

Следовательно,

$$\det(0) = \det \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = 0,$$

$$\det(1) = \det([a_1(0)\tilde{e}a_1(0)\tilde{e}a_1(1)]) = \det([a_1(0)a_1(1)\tilde{e}a_1(0)]) =$$

$$+ \det([a_1(1)\tilde{e}a_1(0)a_1(0)]) =$$

$$= H \det \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = H \det \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + H \det \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = H.$$

$$\det(2) = \det([a_1(0)a_1(0)a_1(2)]) = \det([a_1(0)a_1(2)\tilde{e}a_1(0)]) =$$

$$+ \det([a_1(2)\tilde{e}a_1(0)a_1(0)]) + \det([a_1(0)\tilde{e}a_1(0)a_1(1)]) =$$

$$+ \det([a_1(0)\tilde{e}a_1(1)a_1(0)]) + \det([a_1(1)\tilde{e}a_1(0)\tilde{e}a_1(1)]) =$$

$$= H \det \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + H \det \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + H \det \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} =$$

$$+ H \det \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + H \det \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = H.$$

$$\det(3) = \det([a_1(0)a_1(0)a_1(1)]) = \det([a_1(0)a_1(1)a_1(0)]) =$$

$$+ \det([a_1(1)a_1(0)\tilde{e}a_1(0)]) + \det([a_1(0)a_1(1)a_1(2)]) =$$

$$+ \det([a_1(0)a_1(2)a_1(1)]) + \det([a_1(0)a_1(1)a_1(0)]) =$$

$$+ \det([a_1(2)a_1(0)a_1(1)]) + \det([a_1(1)a_1(0)a_1(2)]) =$$

$$+ \det([a_1(2)a_1(1)a_1(0)]) + \det([a_1(0)a_1(2)a_1(1)]) =$$

$$= H \det \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + H \det \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + H \det \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} =$$

$$+ H \det \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + H \det \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + H \det \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} =$$

$$+ H \det \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + H \det \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} + H \det \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} =$$

$$+H^* \det \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = H^3.$$

Таким образом,

$$\det[A(1)] = 0 - 1 - 1 - 1 - 1 + 1 - 1 = -1 - 1 + 1^2,$$

что и должно было быть. Очевидно, при этом $P=3$, $\varepsilon=0$, $[a, b] = (-\infty, \infty)$.

Замечание. При организации численных расчетов на основе предложенной ДТ-модели с целью увеличения точности необходимо лишь увеличить количество дискрет и продолжить вычисления на основе соответствующих рекуррентных процедур, в отличие от вышеотмеченной, где с той же целью необходимо увеличить количество узлов аппроксимации $K_{\text{ит}}$ и повторить вычисления с начала до конца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пухов Г.Е. Дифференциальные спектры и модели. - Киев: Наукова думка, 1990. - 230 с.
2. Крылов В.Н., Бобков В.В., Монастырский П.И. Вычислительные методы высшей математики. Том 1. - Минск: Высшая школа, 1972. - 560 с.

ГИУА

23.03.98

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LII, № 1, 1999, с. 94-101

УДК 62.50.531.01

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

В.Р. БАРСЕГЯН

ОПТИМАЛЬНОЕ СТОХАСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ СБЛИЖЕНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Грործարկվում են տվյալներով ստորին սահմանում հարաբերական շարժման դասին կոմպարտմենտներ: Արդյունքում, որ եկանքի ճշգրտությունը սահմանվում էրադրվող չափումները սխալով են, կոմպարտմենտ են կոմպարտմենտային օպերիչը պարամետրան դիմադրությունը և անհամապատասխան շարժումը: Անսխալում է քանակի շարժումը պարամետրան շարժման քանակի գնահատականներ:

Рассматривается линеаризованное уравнение относительного движения космических аппаратов. Предполагая, что в моменты коррекции траектории информация поступает с некоторой ошибкой, построено соответствующее оптимальное стохастическое управление и стохастическое движение. Получена оценка для отклонения стохастического движения от желаемого.

Библиогр. 4 назв.

The linearized equation of the space aircraft relative movement is considered. It is assumed that at the moment of the trajectory correction the information has been received with some errors. The stochastic control function and the corresponding stochastic movement are constructed. The estimate of the stochastic movement deviation from the desired position is obtained.

Ref. 4.

1. Рассмотрим процесс сближения космического аппарата на орбите с неманеврирующим объектом условно называемыми перехватчиком и целью [1]. Для описания относительного движения перехватчика и цели, считая их материальными точками, пренебрегая возмущениями от несферичности Земли атмосферным сопротивлением и притяжением других небесных тел запишем векторные уравнения для каждого аппарата, участвующего в столкновении:

$$\ddot{\vec{r}}_n + \frac{\mu}{r_n^3} \vec{r}_n = 0, \quad \ddot{\vec{r}}_c + \frac{\mu}{r_c^3} \vec{r}_c = 0 \quad (1)$$

где $\vec{r}_n$ и $\vec{r}_c$ - геоцентрические радиусы-векторы цели и перехватчика, $\vec{u}$ - равнодействующий вектор ускорения от тяги двигателя перехватчика, μ - гравитационная постоянная Земли.

Вычитая из второго уравнения (1) первое и определив вектор дальности от цели до перехватчика $\vec{D} = \vec{r}_n - \vec{r}_c$, получим

$$\ddot{\vec{D}} + \frac{\mu}{r_c^3} \left(\vec{r}_c + \vec{D} \right) \left(1 + \frac{D^2}{r_c^2} + \frac{2\vec{r}_c \cdot \vec{D}}{r_c^3} \right) - \vec{r}_c = \vec{u} \quad (2)$$

Требуется осуществить перелет из начального положения (в момент t_0) с заданными параметрами

$$\vec{D}(t_0) = \vec{D}_0, \quad \dot{\vec{D}}(t_0) = \dot{\vec{D}}_0 \quad (3)$$

в конечное положение (в момент t_1) с заданными параметрами

$$\vec{D}(t_1) = \vec{D}_1, \quad \dot{\vec{D}}(t_1) = \dot{\vec{D}}_1 \quad (4)$$

При этом значение функционала

$$\int_{t_0}^{t_1} u^2(\tau) d\tau \quad (5)$$

должно быть минимальным.

Считая орбиту цели круговой, линеаризованные уравнения относительного движения перехватчика в орбитальной системе координат с началом, помещенным в центре масс цели, имеют вид [1]

$$\ddot{x} - 2\omega \dot{y} = u_x, \quad \ddot{y} + 2\omega \dot{x} - 3\omega^2 y = u_y, \quad \ddot{z} + \omega^2 z = u_z \quad (6)$$

где x, y, z - проекции вектора $\vec{D}$ - дальности от цели до перехватчика, u_x, u_y, u_z - проекции управляющего ускорения на соответствующие оси орбитальной системы; ω - орбитальная угловая скорость цели, $\omega^2 = \mu / r^3$.

Вводя обозначения $x = x_1$, $\dot{x} = x_2$, $y = x_3$, $\dot{y} = x_4$, $z = x_5$, $\dot{z} = x_6$, систему уравнений (6) можно записать следующим образом:

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = 2\omega x_1 + u_1, \quad \dot{x}_3 = x_4, \quad (7)$$

$$\dot{x}_4 = -2\omega x_3 + 3\omega^2 x_1 + u_2, \quad \dot{x}_5 = x_6, \quad \dot{x}_6 = -\omega^2 x_5 + u_3.$$

Уравнение (7) в матричной форме запишется в виде

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad (8)$$

где

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2\omega & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -2\omega & 3\omega^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega^2 & 0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

2. Требуется найти оптимальное управляющее воздействие $u^*(t)$, $t \in [t_0, t_1]$, переводящее систему (8) из начального фазового состояния $x(t_0)$ в конечное состояние $x(t_1)$ и минимизирующее функционал (5).

Для определения неизвестного вектора-функции $u(t)$ из формулы Коши для системы (8) получим интегральное соотношение

$$\int_{t_0}^{t_1} X[t, \tau] B u d\tau = c, \quad (9)$$

где $c = x(t_1) - X[t_1, t_0]x(t_0)$.

Через $X[t, \tau]$ обозначена нормированная фундаментальная матрица решения однородной части уравнения (8), элементы которой имеют вид

$$\begin{aligned} x_{11}(t, \tau) &= 1, \quad x_{12}(t, \tau) = \frac{4}{\omega} \sin \omega(t - \tau) - 3(t - \tau), \\ x_{13}(t, \tau) &= -6 \sin \omega(t - \tau) + 6\omega(t - \tau), \quad x_{14}(t, \tau) = 4 \cos \omega(t - \tau) - 3, \\ x_{21}(t, \tau) &= \frac{1}{12\omega^2}, \quad x_{22}(t, \tau) = -x_{32}(t, \tau) = -\frac{2}{\omega} \cos \omega(t - \tau) + \frac{2}{\omega}, \\ x_{23}(t, \tau) &= 2\omega x_{33}(t, \tau) = -x_{43}(t, \tau) = \frac{2}{3\omega} x_{53}(t, \tau) = 2 \sin \omega(t - \tau), \quad (10) \\ x_{24}(t, \tau) &= 4 \cos \omega(t - \tau) - 3, \quad x_{25}(t, \tau) = -3 \cos \omega(t - \tau) + 4, \\ x_{26}(t, \tau) &= x_{55}(t, \tau) = x_{66}(t, \tau) = \cos \omega(t - \tau), \end{aligned}$$

$$x_{55}(t, \tau) = -\frac{1}{\omega^2} x_{65}(t, \tau) = \frac{1}{\omega} \sin \omega(t - \tau), \quad x_{ii}(t, \tau) = 0, \quad i = 1, \dots, 6.$$

$$x_{i6}(t, \tau) = x_{j6}(t, \tau) = 0, \quad j = 1, \dots, 4.$$

$$x_{k4}(t, \tau) = x_{6k}(t, \tau) = 0, \quad k = 1, \dots, 4.$$

Поставленная задача решается с помощью проблемы моментов

Для полученной задачи (5) и (9) имеем

$$\rho_0^2 = \min_{\sum_{i=1}^4 c_i = 1} \int_0^1 [h_1^2(\tau) + h_2^2(\tau) + h_3^2(\tau)] d\tau, \quad (11)$$

$$h_1(\tau) = \sum_{i=1}^4 c_i x_{i2}(\tau), \quad h_2(\tau) = \sum_{i=1}^4 c_i x_{i3}(\tau), \quad h_3(\tau) = \sum_{i=1}^4 c_i x_{i4}(\tau). \quad (12)$$

Выражение (11) принимает минимальное значение при

$$c_i^0 = \frac{\Delta_i}{K}, \quad i = 1, \dots, 4; \quad c_j^0 = \frac{\Delta_j}{\Delta} \cdot \frac{\Delta_i}{K}, \quad j = 5, 6. \quad (13)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} & a_{34} \\ a_{14} & a_{24} & a_{34} & a_{44} \end{vmatrix}.$$

$$\bar{\Delta} = a_{11}a_{33} - a_{13}^2, \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} c_{11} & a_{13} \\ c_{12} & a_{14} \end{vmatrix}, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_{12} & c_{11} \\ a_{22} & c_{12} \end{vmatrix}.$$

$$K = \sum_{i=1}^4 c_i \Delta_i + \frac{\Delta}{\Delta} (c_5 \Delta_5 + c_6 \Delta_6).$$

Определители Δ_i , $i = 1, \dots, 4$ получаются из Δ заменой i -го

столбца на столбец с элементами c_1, c_2, c_3, c_4 .

$$a_{11} = \frac{24}{\omega^2} b f - \frac{3}{\omega^2} e - \frac{32}{\omega^2} d + 3b^2 + \frac{14}{\omega^2} b, \quad a_{12} = \frac{3}{\omega} e - \frac{24}{\omega} d + 19b,$$

$$a_{13} = \frac{3}{4\omega^2} e - \frac{8}{\omega^2} d + \frac{13}{2\omega^2} b, \quad a_{14} = \frac{5}{2} b - \frac{3}{4\omega} e,$$

$$a_{21} = \frac{6}{\omega^2} d^2 - \frac{12}{\omega} b d - \frac{4}{\omega^2} f + \frac{9}{2} b^2 + \frac{4}{\omega^2},$$

$$a_{22} = \frac{3}{\omega} \left(\frac{1}{\omega} d - b \right)^2, \quad a_{23} = \frac{3}{2\omega^2} e - \frac{6}{\omega} b f + \frac{8}{\omega^2} d - \frac{5}{\omega} b,$$

$$a_{24} = \frac{3}{2\omega^2} e - \frac{14}{\omega^2} d + \frac{11}{\omega} b, \quad a_{31} = -\frac{3}{2\omega^2} d^2 - \frac{4}{\omega^2} f + \frac{4}{\omega^2},$$

$$a_{32} = \frac{b}{2\omega^2} - \frac{1}{4\omega^2} e, \quad a_{33} = \frac{b}{2} + \frac{1}{4\omega} e, \quad a_{34} = \frac{1}{2\omega^2} d^2.$$

$$t_1 - t_0 = b, \quad \sin \omega(t_1 - t_0) = d, \quad f = \cos \omega(t_1 - t_0), \quad e = \sin 2\omega(t_1 - t_0).$$

Подставляя значения ℓ_i^0 , $i = 1, \dots, 6$ в (12), имеем

$$h_1^0(\tau) = 2A_1 \sin \omega(t_1 - \tau) + 2A_2 \cos \omega(t_1 - \tau) + A_3(t_1 - \tau) + A_4,$$

$$h_2^0(\tau) = A_5 \sin \omega(t_1 - \tau) - A_6 \cos \omega(t_1 - \tau), \quad (14)$$

$$h_3^0(\tau) = A_7 \sin \omega(t_1 - \tau) + A_8 \cos \omega(t_1 - \tau),$$

где

$$A_2 = \frac{2}{\omega} \ell_1^0 - \ell_4^0, \quad A_2 = 2\ell_2^0 + \frac{1}{\omega} \ell_3^0, \quad A_3 = -3\rho_1^0,$$

$$A_4 = -3\ell_2^0 - \frac{2}{\omega} \ell_3^0, \quad A_5 = \frac{\ell_5^0}{\omega}, \quad A_6 = \ell_6^0.$$

Подставляя значения $h_i^0(\tau)$, $i = 1, 2, 3$ из (14) в (11), вычисляем величину ρ_0^2 . Оптимальные управляющие воздействия имеют вид

$$u_i^0(\tau) = \frac{1}{\rho_0} h_i^0(\tau), \quad i = 1, 2, 3. \quad (15)$$

Оптимальную фазовую траекторию $x^0(t)$ системы (8) получим, интегрируя ее с учетом (15) при начальных условиях $x(t_0)$:

$$x^0(t) = X[t, t_0]x(t_0) + \int_{t_0}^t X[t, \tau]Bu^0(\tau)d\tau. \quad (16)$$

Фазовую траекторию (16) будем считать желаемой (поводырем) для обеспечения сближения перехватчика с целью.

3. Выше было найдено программное управление $U^0(\tau)$, $\tau \in [t_0, t_1]$ для линейной модели (8). Реальное движение системы под воздействием программного управления $U^0(\tau)$ (15) будет отличаться от желаемого движения (16). Отличие реального движения от поводыря обусловлено различными внешними влияниями, действующими на перехватчик и цели. Следовательно, в конце процесса сближения не будут выполнены условия сближения $x(t_1)$ [3].

Предположим, что перехватчик имеет возможность корректировать фазовую траекторию движения для прицеливания на поводыря. Поэтому пусть имеем разбиение промежутка времени $[t_0, t_1]$: $t_0 = \tau_1 < \dots < \tau_k = t_1$ и возможность с помощью измерительных устройств измерять значение фазового вектора. В зависимости от ограниченности физических возможностей измерительных устройств и различных внешних влияний результат измерения будет неточным. Обозначим значение фазового вектора, измеренное с некоторой ошибкой в момент времени τ_i , через $\tilde{x}(\tau_i, \xi_i)$, где ξ_i - случайная величина из промежутка $[0, 1]$. Пусть реальное состояние в начальный момент τ_1 будет $x(\tau_1)$.

Требуется найти оптимальное управляющее воздействие, переводящее систему (8) из известного фазового состояния $\bar{x}(\tau_1, \xi_1)$ в желаемое состояние $x^0(\tau_2)$ и минимизирующее функционал

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} [u_1^2(\tau) + u_2^2(\tau) + u_3^2(\tau)] d\tau. \quad (17)$$

Здесь $x^0(\tau_2)$ - это точка поворота (16). Для этой задачи аналогично (9) будем иметь интегральное соотношение

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} X[\tau, \tau] B u(\tau) d\tau = x^0(\tau_2) - X[\tau_2, \tau_1] \bar{x}(\tau_1, \xi_1). \quad (18)$$

Для решения задачи (17), (18), используя алгоритм предыдущего пункта, имеем оптимальное управляющее воздействие $u^* = u^*(\tau, \xi_1)$, $\tau \in [\tau_1, \tau_2]$. Следовательно, оптимальное движение нелинейной модели (8), выходящее из состояния $\bar{x}(\tau_1, \xi_1)$, будет

$$x^*(t, \xi_1) = X[t, \tau_1] \bar{x}(\tau_1, \xi_1) + \int_{\tau_1}^t X[t, \tau] B u^*(\tau, \xi_1) d\tau. \quad (19)$$

Так как в момент времени τ_1 реальным фазовым состоянием является $x(\tau_1)$, то движение под воздействием $u^*(\tau, \xi_1)$, $\tau \in [\tau_1, \tau_2]$ необходимо считать выходящим из состояния $x(\tau_1)$, т.е.

$$x(t, \xi_1) = X[t, \tau_1] x(\tau_1) + \int_{\tau_1}^t X[t, \tau] B u^*(\tau, \xi_1) d\tau. \quad (20)$$

В момент времени τ_2 фазовое состояние $x^*(\tau_2, \xi_1)$ не совпадает с реальным состоянием $x(\tau_2, \xi_1)$.

В момент времени τ_2 , измеряя с некоторой ошибкой, для фазового состояния получим $\bar{x}(\tau_2, \xi_1, \xi_2)$, где $\xi_2 \in (0, 1)$ - случайная величина такая, что в совокупности величины (ξ_1, ξ_2) независимы. Решая задачу оптимального управления системой (8) на промежутке времени $[\tau_2, \tau_1]$ при начальном $\bar{x}(\tau_2, \xi_1, \xi_2)$, конечном $x^0(\tau_1)$ состояниях и функционале, аналогичном (17), для оптимального управления имеем $u^*(\tau, \xi_1, \xi_2)$, $\tau \in [\tau_2, \tau_1]$. Оптимальное движение имеет вид

$$x^*(t, \xi_1, \xi_2) = X[t, \tau_2] \bar{x}(\tau_2, \xi_1, \xi_2) + \int_{\tau_2}^t X[t, \tau] B u^*(\tau, \xi_1, \xi_2) d\tau. \quad (21)$$

Реальное движение под воздействием $U^*(\tau, \xi_1, \xi_2)$ выходит из состояния $x(\tau_2, \xi_1)$ и имеет вид

$$x(t, \xi_1, \xi_2) = X[t, \tau_2] x(\tau_2, \xi_1) + \int_{\tau_2}^t X[t, \tau] B u^*(\tau, \xi_1, \xi_2) d\tau. \quad (22)$$

Продолжая рассуждения для промежутка времени $[\tau_i, \tau_{i+1}]$, реальное движение запишется в виде

$$x(\tau, \xi_1, \dots, \xi_i) = X[\tau, \tau_i]x(\tau_i, \xi_1, \dots, \xi_{i-1}) + \int_{\tau_i}^{\tau} X[\tau, \tau]Bu^0(\tau, \xi_1, \dots, \xi_i)d\tau. \quad (23)$$

где $u^0(\tau, \xi_1, \dots, \xi_i)$ - оптимальное управляющее воздействие, переводящее систему (8) из состояния $\hat{x}(\tau_i, \xi_1, \dots, \xi_i)$ в желаемое состояние $x^0(\tau_{i+1})$ и минимизирующее функционал (5) на промежутке $[\tau_i, \tau_{i+1}]$. Здесь предполагается, что случайные величины $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_i)$ в совокупности независимы [4].

Оценим расстояние реального состояния системы от желаемого в конце процесса сближения. Для момента времени τ_2 имеем

$$\|x^0(\tau_2) - x(\tau_2, \xi_1)\| = \|X[\tau_2, \tau_1]\| \cdot \|\hat{x}(\tau_1, \xi_1) - x^0(\tau_1)\|. \quad (24)$$

Предполагается, что $x(\tau_1) = x^0(\tau_1)$. Для момента времени τ_1 с учетом (24) получим

$$\begin{aligned} \|x^0(\tau_1) - x(\tau_1, \xi_1, \xi_2)\| &\leq \|X[\tau_1, \tau_2]\| \cdot \|\hat{x}(\tau_2, \xi_1, \xi_2) - x^0(\tau_2)\| + \\ &+ \|X[\tau_1, \tau_2]\| \cdot \|x^0(\tau_2) - x(\tau_2, \xi_1)\| \leq \|X[\tau_1, \tau_2]\| \times \\ &\times \|\hat{x}(\tau_2, \xi_1, \xi_2) - x^0(\tau_2)\| + \|X[\tau_1, \tau_2]\| \cdot \|x^0(\tau_2) - x^0(\tau_1)\|. \end{aligned} \quad (25)$$

В конце процесса сближения имеем

$$\begin{aligned} \|x^0(\tau_k) - x(\tau_k, \xi_1, \dots, \xi_{k-1})\| &\leq \sum_{i=2}^k (\|X[\tau_k, \tau_{i-1}]\| \times \\ &\times \|\hat{x}(\tau_{i-1}, \xi_1, \dots, \xi_{i-1}) - x^0(\tau_{i-1})\|). \end{aligned} \quad (26)$$

Неравенство (26) можно характеризовать в качестве соотношения, позволяющего определить число коррекции (или моменты времени), гарантирующее сближение объектов на расстояние, не более чем на заданную величину. Выражение (26) позволяет оценить математическое ожидание, дисперсию и отклонения системы от повода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев А.А., Соколов В.Б. Встреча на орбите. - М.: Машиностроение, 1969. - 367 с.
2. Красовский Н.Н. Теория управления движением. - М.: Наука, 1968. - 476 с.
3. Барсегян В.Р. Изменение дальности полета при малых отклонениях начальных параметров // Изв. НАН РА. Механика. - 1995. - Т. 48, №1. - С. 3-8.
4. Красовский Н.Н. Управление динамической системой. - М.: Наука, 1985. - 519 с.

УДК 621.9.013

АВТОМАТИЗАЦИЯ И
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В.А. МХИТАРЯН

АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ В ДИНАМИЧЕСКИХ
МОДЕЛЯХ УПРАВЛЕНИЯ

Предложены алгоритмы, позволяющие найти оптимальные решения в динамических системах управления. Алгоритмы основаны на методах случайного поиска и обеспечивают построение оптимальных траекторий являющихся решением динамических моделей.

Предложены алгоритмы, позволяющие найти оптимальные решения в динамических системах управления. Алгоритмы основаны на методах случайного поиска и обеспечивают построение оптимальных траекторий являющихся решением динамических моделей.

Библиогр.: 1 назв.

Algorithms allowing to find optimal solution for dynamic control systems are proposed. The algorithms are based on methods of random search. They enable to construct optimal trajectories as a dynamic model solution.

Ref. 1.

Работы, выполняемые при управлении ресурсами [1], классифицируются в соответствии с их целями и сводятся к следующим задачам: а) выбор оптимальных управлений и определение соответствующих им траекторий, описывающих динамику изменения ресурсов; б) принятии решений.

Выделим три основных этапа связанных с принятием оптимальных решений управления ресурсами [1].

1. Обоснование исходных данных, построение математической модели системы оптимального управления и выбор критерия эффективности задачи оптимального пользования.

2. Определение области допустимых решений (ОДР).

3. Анализ и оценка вариантов оптимальных решений из ОДР и выбор наилучших траекторий и управления.

Исходные данные определяются путем измерения значений параметра объекта исследования - древесных пород, произрастающих в регионе мониторинга. В качестве характеристики рассмотрим количество деревьев каждой породы. Обозначим эти параметры через

$$X(t) = (X_i^k(t))_{i=1, \dots, n; k=1, \dots, K}, \quad t \in [0, T]. \quad (1)$$

Параметры, характеризующие лесные ресурсы, находятся в функциональной зависимости от управления, которые мы обозначим через

$$V(t) = (v_r^k(t))_{r=1, 2, \dots, r'; k=1, \dots, K}, \quad t \in [0, T]. \quad (2)$$

Пусть

$$\begin{aligned} v_i^{k1}(t) &= \varphi_i^k(t), \quad v_i^{k2}(t) = \psi_i^k(t), \quad v_i^{k3}(t) = \eta_i^k(t), \\ v_i^{k4}(t) &= \chi_i^k(t), \quad v_i^{k5}(t) = \xi_i^k(t), \quad v_i^{k6}(t) = \alpha_i \omega_i(t), \\ v_i^{k7}(t) &= \beta_i p(t), \quad v_i^{k8}(t) = \gamma_i N(t), \quad v_i^{k9}(t) = \delta_i R(t), \\ v_i^{k10}(t) &= \lambda_i w_i(t), \quad t \in [0, T], \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, K. \end{aligned} \quad (3)$$

Тогда уравнения движения примут вид

$$\dot{X}_i^k(t) = \left(\sum_{n=1}^{10} v_i^{kn} \right) x_i^k + \sum_{n=1}^m \tau_{in} x_i^k(t) \quad (4)$$

с начальными условиями

$$x_i^k(0) = x_{i0}^k, \quad t \in [0, T], \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, K. \quad (5)$$

Рассмотрим ограничения, задаваемые функциями спроса и предложения вида

$$S(\{x_i^k(t)\}_{i=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,K}) = D(\{c_{ik}\}_{i=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,K} (I_1(t), \dots, I_m(t))). \quad (6)$$

Продифференцировав обе части (6) по t , получим

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial D}{\partial I_i} I_i = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n \frac{\partial S}{\partial x_i^k} \dot{x}_i^k. \quad (7)$$

Пусть

$$\Delta = \{0 = t_0 < t_1 < \dots < t_s < t_{s+1} < \dots < t_q = T\} \quad (8)$$

некоторое разбиение отрезка $[0, T]$.

$$x_i^k(t) \in [l_i^k, d_i^k], \quad v_i^{kh}(t) \in [a_i^{kh}, b_i^{kh}], \quad \tau_{ij}^k(t) \in [f_{ij}^k, g_{ij}^k], \quad (9)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad t \in [0, T].$$

Допустимые управления. Допустимыми управлениями лица, принимающего решение (ЛПР), назовем матрицы-функции $(v^h(t) = (v_i^{kh}(t))_{i=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,K})$, $\tau(t) = (\tau_{ij}^k(t))_{i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,K}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$,

$k = 1, 2, \dots, K$, $h = 1, \dots, l_0$, выбираемые из класса всех измеримых на отрезке $[0, T]$ матриц-функций, удовлетворяющих в каждый момент времени $t \in [0, T]$ условиям

$$v_i^{kh}(t) \in \Phi_i^{k,h} \subset R, \quad \tau_{ij}^k(t) \in \Phi_{ij}^k \subset R, \quad (10)$$

где $\Phi_i^{k,h}$, Φ_{ij}^k — компактные множества в R , называемые множествами управляющих параметров ЛПР.

Допустимые стратегии ЛПР. ЛПР выбирает свои стратегии в зависимости от имеющейся в его распоряжении информации. В рассматриваемой нами динамической системе информационное состояние ЛПР определяется в каждый момент времени $t \in [0, T]$ фазовой матрицей $x(t) = (x_i^k(t))_{i=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,K}$ и временем $t = t_m$,

прошедшим с момента $t_0 = 0$. Под стратегией ЛПР будем понимать правило, при котором каждому фиксированному информационному состоянию ставим в соответствие определенное управление из множества его допустимых управлений. Стратегию ЛПР обозначим

через
$$v(.) = \{v_i^{kh}(.), \tau_{ij}^k(.)\}_{\substack{k=1, \dots, K \\ h=1, \dots, 10 \\ i=1, \dots, n}} = \{(v_1^{kh}(.), \dots, v_n^{kh}(.)) (\tau_1^k(.), \dots, \tau_{i-1}^k(.), \tau_{i+1}^k(.), \dots, \tau_n^k(.))\}_{\substack{k=1, \dots, K \\ h=1, \dots, 10 \\ i=1, \dots, n}}$$

Стратегия $v(.)$ называется допустимой, если для каждого набора $v(.)$ существует единственное решение системы дифференциальных уравнений (4) с начальными условиями (5), продолжимое на отрезок $[0, T]$.

Пусть $\Xi[t_s^{\Delta}, t_{s+1}^{\Delta})$ - множество допустимых управлений игрока i , рассматриваемых в суженной области определения $[t_s^{\Delta}, t_{s+1}^{\Delta})$, $s=0, 1, \dots, q-1$.

Определение. Пара $(v_i^{kh}(.), \tau_i^k(.)) = (\Delta, a_{ij}^{kh})$, где $a_{ij}^{kh} = (a_{ij0}^{kh}, a_{ij1}^{kh}, \dots, a_{ijq}^{kh})$, a_{ij}^{kh} ($s=0, \dots, q$) - отображение, ставящее в соответствие моменту времени t_s^{Δ} и состоянию $x_i^k(t_s^{\Delta})$ допустимое управление $(v_i^{kh}(t), \tau_i^k(t)) \in \Xi[t_s^{\Delta}, t_{s+1}^{\Delta})$, называется кусочно-программной стратегией ЛПР. Здесь $x_i^k(t_s^{\Delta})$ - сечение траектории $x_i^k(.)$ в момент t_s^{Δ} . Отметим, что разбиение Δ определяет стратегию ЛПР. Иными словами, разбиение Δ может быть различным для различных стратегий. Если в определении кусочно-программных стратегий допустимое управление $(v_i^{kh}(t), \tau_i^k(t))$ - линейная функция, то соответствующая ей стратегия $(v_i^{kh}(.), \tau_i^k(.))$ называется кусочно-линейной программной стратегией.

Целевая функция. Пусть в конце планового периода T запланированы следующие значения x_i^k , $i=1, \dots, n$, $k=1, \dots, K$ площадей, занимаемых лесными ландшафтами. Положим расстояние между текущими значениями площадей, занимаемых лесными ландшафтами $\{x_i^k(t)\}_{\substack{i=1, 2, \dots, n \\ k=1, 2, \dots, K}}$ в момент времени $t \in [0, T]$, и

планируемыми значениями $\{x_i^k\}_{\substack{i=1, 2, \dots, n \\ k=1, 2, \dots, K}}$ равным

$$d(\{x_i^k(t)\}_{\substack{i=1, 2, \dots, n \\ k=1, 2, \dots, K}}, \{x_i^k\}_{\substack{i=1, 2, \dots, n \\ k=1, 2, \dots, K}}) = \sqrt{\sum_{i,k} (x_i^k(t) - x_i^k)^2}. \quad (11)$$

Определим критерий оптимальности в виде

$$d(\{x_i^k(t)\}_{\substack{i=1, 2, \dots, n \\ k=1, 2, \dots, K}}, \{x_i^k\}_{\substack{i=1, 2, \dots, n \\ k=1, 2, \dots, K}}) \rightarrow \min \quad (12)$$

или

$$d(\{x_i^k(t)\}_{\substack{i=1, 2, \dots, n \\ k=1, 2, \dots, K}}, \{x_i^k\}_{\substack{i=1, 2, \dots, n \\ k=1, 2, \dots, K}}) \rightarrow \max. \quad (13)$$

Тогда получим задачу (4)-(6), (12) ((13)) оптимального управления.

Условия оптимальности 1. Целевая функция (12) ((13)) предполагает нахождение решения задачи оптимального управления (4)-(6) ((13)), обеспечивающего максимальное сближение с точкой $(x_i^*)_{i=1,2,\dots,K}$ фазового пространства R^n матриц $x(t) = \{x_i^*(t)\}_{i=1,2,\dots,K}$.

2. Задано множество $M \subset R^{nK}$. В каждой точке множества M цель ЛПР считается достигнутой.

1. Алгоритмы случайного поиска. Пусть в точке t_{i+1}^A имеем $v_i^{th}(t_{i+1}^A) = v_i^{th}(t_i^A) + \Delta v_{i+1}^{th}$, $\tau_i^A(t_{i+1}^A) = \tau_i^A(t_i^A) + \Delta \tau_{i+1}^A$ где Δv_{i+1}^{th} , $\Delta \tau_{i+1}^A$ - приращения функций $v_i^{th}(t)$, $\tau_i^A(t)$ соответственно. Положим

$$x_i^A(t_{i+1}^A) = x_i^A(t_i^A) + f_i^A(x; ((v_i^{th}, \tau_i^A)_{k=1,2,\dots,K})) \Big|_{t=t_{i+1}^A} \quad (14)$$

$s = 0, 1, \dots, q-1$. Обозначим через A условие

$$\begin{aligned} & D((c_{ik})_{i=1,2,\dots,p} \cdot (I_i(t))_{i=1,\dots,m}) \Big|_{t=t_i^A} = \\ & = S((c_{ik})_{i=1,2,\dots,p} \cdot \{x_i^A(t)\}_{i=1,2,\dots,p}) \Big|_{t=t_i^A} \end{aligned} \quad (15)$$

где значения правой и левой частей условия (15) определяются в точке $t = t_i^A$, а значения функций $x_i^A(t)$ определяются в соответствии с равенством (14).

Обозначим через A_i условие

$$\begin{aligned} & \left| D((c_{ik})_{i=1,2,\dots,p} \cdot (I_i(t))_{i=1,\dots,m}) - \right. \\ & \left. - S((c_{ik})_{i=1,2,\dots,p} \cdot \{x_i^A(t)\}_{i=1,2,\dots,p}) \right| < \epsilon. \end{aligned} \quad (16)$$

где значения $I_i(t)$, $x_i^A(t)$ вычисляем в точке t_{i+1}^A , $i = 1, 2, \dots, m$, $i = 1, 2, \dots, p$, $k = 1, 2, \dots, K$.

Шаговые алгоритмы случайного поиска. Изучим шаговые алгоритмы случайного поиска, для чего определим понятие n -мерного случайного вектора. Под случайным вектором ξ в пространстве параметров понимаем единичный вектор, отдельные реализации которого направлены равновероятно во всех направлениях пространства параметров, т.е. этот вектор равномерно распределен по всем направлениям n -мерного пространства параметров $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_n)$, где ξ_i - случайные числа, равномерно распределенные на отрезке $[0, 1]$ и нормализованные так, чтобы

$$\sum_{i=1}^n \xi_i^2 = 1$$

2. Поиск с возвратом. Смысл алгоритма случайного поиска с возвратом состоит в следующем. В пространстве оптимизируемых стратегий ЛПР делается шаг в случайном направлении

$\{\eta_{ij}\}_{i=1, j=1, 2, \dots, n}$ и определяется приращение функции, являющейся

стратегией ЛПР. Вычисляется значение кусочно-линейной программной стратегии как сумма стратегий предыдущего шага и приращения. Далее вычисляется значение точки $x(t)$ в фазовом пространстве R^N как сумма значений функции $x(t)$ предыдущего

шага и значения функции $f_i^k(x; (v_i^{k,h}, \tau_{i,j}^k))_{\substack{k=1, \dots, K \\ h=1, \dots, H \\ j=1, \dots, n}}$. Проверяется

выполнение условия A (или A_1). Если это условие выполнено, то вычисляется расстояние от полученной точки фазового пространства до планируемой. Если вновь вычисленное расстояние меньше расстояния, полученного на предыдущем шаге, то сохраняется значение точки фазового пространства и осуществляется переход к определению нового значения кусочно-линейной программной стратегии. Если же условие A (или A_1) не выполнено или расстояние от вновь полученной точки фазового пространства до планируемой больше, чем расстояние, полученное на предыдущем шаге, то осуществляется возврат к предыдущему значению кусочно-линейной программной стратегии, и ее новое значение определяется в направлении нового случайного вектора. Описанный алгоритм допускает запись в следующей рекуррентной форме:

Шаг 1 -

$$\Delta v_{i,j}^k(\Delta \tau_{i,j}^k) = \begin{cases} \lambda Q, & \text{если выполнено условие } A \\ (\text{условие } A_1) \text{ и } d(x, x_{k+1}) < d(x, x_k), \\ -\Delta v_{i,j}^k(-\Delta \tau_{i,j}^k), & \text{в противном сл} \end{cases}$$

Здесь Q - длина рабочего шага в пространстве параметров, λ - очередная реализация случайного вектора.

Целенаправленность оптимизации согласно этому алгоритму получена за счет возврата при неудачном шаге, т.е. когда целевая функция (12) не убывает или нарушено условие A (условие A_1).

3. Случайный поиск с пересчетом. Алгоритм случайного поиска с возвратом можно усовершенствовать так, чтобы случайный шаг для нахождения следующего значения кусочно-линейной программной стратегии ЛПР после неудачной попытки отсчитывался из старого значения стратегии. Этот алгоритм допускает запись в следующей рекуррентной форме:

$$\Delta v_{i,s+1}^k(\Delta \tau_{i,s+1}^k) = \begin{cases} \lambda Q, & \text{если выполнено условие } A \\ (\text{условие } A_e) \text{ и } d(x, x_{i,s+1}) < d(x, x_i), \\ -\Delta v_{i,s}^k + \lambda Q(-\Delta \tau_{i,s+1}^k + \lambda Q), & \text{в противном сл} \end{cases}$$

Здесь Q - длина рабочего шага в пространстве параметров; λ - очередная реализация случайного вектора.

4. Алгоритмы параметрической оптимизации

1) Алгоритм параметрической оптимизации с возвратом. Этот алгоритм допускает пошаговую запись в следующем виде:

Шаг 1. Положить $s=0$. ЛПР выбирает N -количество шагов испытаний.

Шаг 2. Положить $v_i^{kh}(t_0) = a_i^{kh}$, $\tau_{ij}^k(t_0) = f_{ij}^k$, $j=1,2,\dots,l-1$, $i=1,\dots,n$, $i=1,2,\dots,n$.

Шаг 3. Положить $v_i^{kh}(t_{s+1}) = v_i^{kh}(t_s) + \Delta v_{i,s+1}^{kh}$, $\tau_{ij}^k(t_{s+1}) = \tau_{ij}^k(t_s) + \Delta \tau_{i,j,s+1}^k$, где $\Delta v_{i,s+1}^{kh}$ и $\Delta \tau_{i,j,s+1}^k$ определяются следующим образом:

$$\Delta v_{i,s+1}^{kh}(\Delta \tau_{i,j,s+1}^k) = \begin{cases} \alpha_i^{kh} \frac{b_i^{kh} - a_i^{kh}}{q} \left(\beta_{ij}^k \frac{q_{ij}^k - f_{ij}^k}{q} \right), & \text{если выполнено условие } A \\ (\text{условие } A_e) \text{ и } d(x, x_{i,s+1}) < d(x, x_i), \\ -\Delta v_{i,s}^{kh}(-\Delta \tau_{i,j,s+1}^k), & \text{в противном сл и перейти к шагу 4.} \end{cases}$$

Шаг 4. Запомнить $v_i^{kh}(t_{s+1})$, $v_{ic}^{kh}(t_{s+1})$, $x(t_{s+1})$, $i \neq j$, $i, j=1,\dots,n$, $k=1,\dots,K$, $h=1,\dots,l0$.

Шаг 5. Если $s=N$, то перейти к шагу 6. В противном случае положить $s=s+1$ и перейти к шагу 2.

Шаг 6. ЛПР определяет набор кусочно-линейных программных стратегий и соответствующие им решения.

2) Алгоритм параметрической оптимизации методом пересчета. Этот алгоритм отличается от алгоритма параметрической оптимизации с возвратом только по содержанию шага 3.

Шаг 3. $\Delta v_{i,j}^{kh}(\Delta \tau_{i,j}^k) =$

$$\alpha_i^{kh} \frac{b_i^{kh} - a_i^{kh}}{q} \left(\beta_{ij}^k \frac{q_{ij}^k - f_{ij}^k}{q} \right), \text{ если выполнено условие } A$$

(условие A_i) и $d(x, x_{i,j}) < d(x_{i,j}, x)$

$$-\Delta v_{i,j}^{kh} + \alpha_i^{kh} \frac{b_i^{kh} - a_i^{kh}}{q} \left(-\tau_{i,j}^k + \beta_{ij}^k \frac{q_{ij}^k - f_{ij}^k}{q} \right)$$

в противном сл. и перейти к шагу 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Arakelyan A.H., Mkhitarian V.A. A multiobjective planning model for regional economic environmental-energy interactions during a time of transformation // Int. conf. on methods and applications of multicriterial decision making, May, 14-16, 1997, - de Monins, Belgium, - P. 105-107

ЛПО Гугарский Лесхоз

07.10.1997

Изд. НАН и ГИУ Армении (сер. ТНП и ЛП, № 1, 1999, с. 107-110)

УДК 621.373.42 (088.8)

НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Р.А. СИМОНЯН, Э.Г. ВЕЗИРЯН, О.А. МАРТИРОСЯН

КАЛИБРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРИЕМНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА

Предложено устройство для калибровки приемников излучения инфракрасного диапазона. Приведена структурная схема калибрующего устройства, в котором обеспечивается высокоточная стабилизация температуры диода ($\pm 0,04^\circ\text{C}$). В качестве датчика температуры использован излучающий диод.

Предложено устройство для калибровки приемников излучения ИК-диапазона. Приведена структурная схема калибрующего устройства, в котором обеспечивается высокоточная стабилизация температуры диода ($\pm 0,04^\circ\text{C}$). В качестве датчика температуры использован излучающий диод.

Ил. 1. Библиогр. 6 назв.

A calibrating device for infrared range detectors has been proposed. The structural scheme has been given for the calibrating device in which the high frequency stabilization of the diode temperature ($\pm 0,04^\circ\text{C}$) is controlled. The radiating diode is used as a temperature sensitive element.

Ил. 1. Ref. 6.

При использовании излучающих диодов в метрологии и измерительной технике возникает вопрос температурной стабилизации излучения, в особенности, когда излучающие диоды используются в качестве эталонных и образцовых излучателей [1]. При этом требования к нестабильности потока излучающих диодов (ИД) в диапазоне от 10 до 35 С определяются долями процента, тогда как температурные коэффициенты излучения для большинства выпускаемых ИД составляют порядка 1%/град. Для уменьшения температурной зависимости потока излучения введена схема с терморезистором в цепи питания ИД, нестабильность излучения доведена до $\pm 3\%$ [2]. Учитывая, что температурный коэффициент излучения при питании ИД от генератора тока отрицателен, а от генератора напряжения - положителен, выбором соответствующего сопротивления цепи питания приближают температурный коэффициент излучения к нулю, т.е. получают нестабильность потока излучения в диапазоне температур -10...40 С, не превышающую $\pm 0.4\%$ [2]. Однако этим способом не сняты изменения спектрального состава излучения.

В [3] для широкополосных приемников ИК излучения предлагается источник эталонного излучения на основе термостатированного макета абсолютно черного тела. В [4] предлагается устройство для высокоточной термостабилизации мощности излучения генераторов СВЧ.

Целью настоящей работы является разработка и исследование калибрующего устройства для приемников ИК диапазона, имеющего высокую точность термостатирования излучающего диода и, следовательно, высокую степень стабильности уровня излучающей мощности (рис.). Для этого ИД питается от высокостабильного источника тока, а падение напряжения прямосмещенного диода используется для термостабилизации самого излучающего диода.

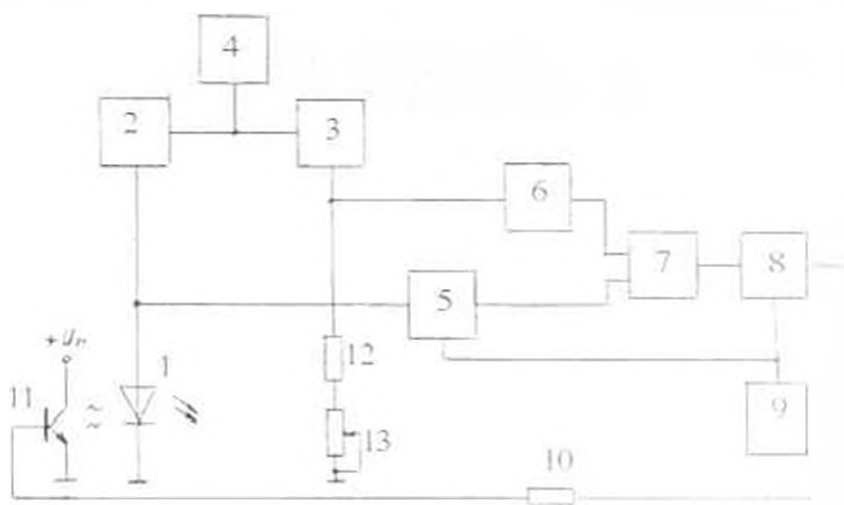


Рис.

Устройство работает следующим образом. Общим токозадающим источником напряжения 4 задается ток первого и

второго источника тока, обеспечивая ИД 1 и резисторы 12 и 13. На один из входов дифференциального усилителя 7 после модуляции электронными коммутаторами 5 и 6 поступает напряжение от ИД 1, а на другой - напряжение от резисторов 12 и 13. При установившемся тепловом режиме напряжения на входах дифференциального усилителя 7 примерно равны. Переменное напряжение на выходе дифференциального усилителя преобразуется в напряжение постоянного тока на выходе синхронного детектора 8, управляемого генератором 9 прямоугольных импульсов, и через резистор 10 управляет нагревом ИД 1 через транзистор 11, тем самым обеспечивая необходимый температурный режим ИД 1. При изменении температуры ИД 1 изменяется разность напряжений на входах дифференциального усилителя 7, которая усиливается и далее подается на синхронный детектор 8. Затем ограничивающий резистор 10 изменяет ток нагревательного транзистора так, что в конечном итоге температура ИД 1 стабилизируется, что приводит к стабилизации излучающей мощности. Резистор 10 ограничивает базовый ток транзистора 11 во время переходных процессов, переменный резистор 13 позволяет осуществить подрегулировку установленной температуры транзистора 11.

Применение общего источника токозадающего напряжения 4 стабилизаторов тока 2 и 3 уменьшает влияние температурных и временных изменений источника 4 на точность термостатирования ИД 1. В качестве источника токозадающего напряжения использован параметрический стабилизатор на стабилизаторе КС191Ф. Источники тока 2 и 3 реализованы на операционных усилителях и подключенных к ним транзисторах [5]. В качестве электронных ключей 5 и 6 применялась интегральная схема К590КН9, имеющая в своем составе 2 аналоговых ключа. Дифференциальный усилитель 7 собран по схеме инструментального усилителя [5], обеспечивающего большой коэффициент подавления синфазного составляющего. Синхронный детектор аналогичен описанному в [6]. Калибровочное устройство состоит из печатной платы блока управления и выносной головки с ИД 1. Для обеспечения хорошего теплового контакта излучающего диода (АЛ107Б) с транзистором 11 (КТ807А) применены специальный алюминиевый прижим и теплопроводящая паста. Излучатель с транзистором изолированы от окружающей среды пенопластом ПХВ -1.

Устройство имеет следующие основные технические параметры: нестабильность потоков излучения $\leq 0,2\%$; диапазон изменения температуры окружающей среды $+10...30^\circ\text{C}$; погрешность термостатирования излучающего диода $\pm 0,02^\circ\text{C}$; точность стабилизации тока через излучающий диод $0,05\%$; время готовности устройства 7 мин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кравцов В.Е., Кузнецов В.И., Ловинский Л.С. Некоторые вопросы построения поверочной схемы для средств измерений потока излучения / Метрологическое обеспечение энергетической фотометрии некогерентного излучения: Науч. тр. - М., 1979. - С. 26-28.

2. Ильина З.В., Кравцов В.Е., Ловинский Л.С. Исследование температурной зависимости потока излучения светодиодов // Метрологическое обеспечение энергетической фотометрии некогерентного излучения: Научн.тр. - М., 1979. - С.11-14.
3. Симонян Р.А., Мартиросян О.А. Двухканальный источник эталонного излучения ИК диапазона длин волн // Изв. АН Армении. Сер. ТН. - 1991. - Т. 4. - С. 200-203.
4. А.с. 1552373 СССР, МКИ H031/02. Устройство для стабилизации выходного сигнала генератора / Р.А. Симонян, А.В. Ханджян (СССР). - Опубл. 23.03.90, Бюл. №1. - 4 с.
5. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. В 2-х томах / Пер. с англ. - М.: Мир, 1983. - Т. 1. - 598 с.
6. Горошков Б.И. Радиозлектронные устройства. - М.: Радио и связь, 1985. - 400 с.

Ин-т радиофизики и
электроники НАН Армении

17.06.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 11, № 1, 1999, с. 110-114

УДК 624.131

ГИДРАВЛИКА

В.С. САРКИСЯН, А.Р. БАБАЯН, С.В. САРКИСЯН

О НАПОРНО-БЕЗНАПОРНОМ ДВИЖЕНИИ ПРИ ОТКАЧКЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ИЗ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ

Ստացված են անալիտիկ լուծումներ որոնք հնարավորություն են տալիս կանխագուշակել ջրի հորիզոնի իջնումը (կամ էլքի փոփոխությունը) ժամանակի ցանկալի ցմանսին, ինչպես նաև ճնշմանին - ոչ ճնշմանին սահմանի կոորդինատները:

Получены аналитические решения, позволяющие определить изменение уровня подземных вод (или расход воды) в любой точке водоносного пласта, а также положение границы раздела.

Ил. 1, Библиогр. 2 назв.

Analytical solutions enabling to forecast groundwater level change (or water discharge) at any point of the water-bearing layer as well as interface position determination are obtained.

Ил. 1 Ref. 2

При интенсивной эксплуатации подземных вод у многих водозаборных скважин наблюдается резкое снижение уровня воды. Для отбора с заданным расходом со временем уровень воды в скважинах опускается ниже кровли пласта. В таких случаях у водозаборных скважин в области $x > x(1)$ это движение по-прежнему остается напорным (рис.).

2. Ильина З.В., Кравцов В.Е., Ловинский Л.С. Исследование температурной зависимости потока излучения светодиодов // Метрологическое обеспечение энергетической фотометрии некогерентного излучения: Научн.тр. - М., 1979. - С.11-14.
3. Симонян Р.А., Мартиросян О.А. Двухканальный источник эталонного излучения ИК диапазона длин волн // Изв. АН Армении. Сер. ТН. - 1991. - Т. 4. - С. 200-203.
4. А.с. 1552373 СССР, МКИ Н031/02. Устройство для стабилизации выходного сигнала генератора / Р.А. Симонян, А.В. Ханджян (СССР). - Опубл. 23.03.90, Бюл. №1. - 4 с.
5. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. В 2-х томах / Пер. с англ. - М.: Мир, 1983. - Т. 1. - 598 с.
6. Горошков Б.И. Радиозлектронные устройства. - М.: Радио и связь, 1985. - 400 с.

Ин-т радиофизики и
электроники НАН Армении

17.06.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 11, № 1, 1999, с. 110-114

УДК 624.131

ГИДРАВЛИКА

В.С. САРКИСЯН, А.Р. БАБАЯН, С.В. САРКИСЯН

О НАПОРНО-БЕЗНАПОРНОМ ДВИЖЕНИИ ПРИ ОТКАЧКЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ИЗ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ

Ստացված են անալիտիկ լուծումներ որոնք հնարավորություն են տալիս կանխատեսել ջրի հորիզոնի իջնումը (կամ էլքի փոփոխությունը) ժամանակի ցանկալի ցանկալի, ինչպես նաև ճնշումային - ոչ ճնշումային սահմանի կոորդինատները:

Получены аналитические решения, позволяющие определить изменение уровня подземных вод (или расход воды) в любой точке водоносного пласта, а также положение границы раздела.

Ил. 1, Библиогр. 2 назв.

Analytical solutions enabling to forecast groundwater level change (or water discharge) at any point of the water-bearing layer as well as interface position determination are obtained.

Ил. 1 Ref. 2

При интенсивной эксплуатации подземных вод у многих водозаборных скважин наблюдается резкое снижение уровня воды. Для отбора с заданным расходом со временем уровень воды в скважинах опускается ниже кровли пласта. В таких случаях у водозаборных скважин в области $x > x(1)$ это движение по-прежнему остается напорным (рис.).

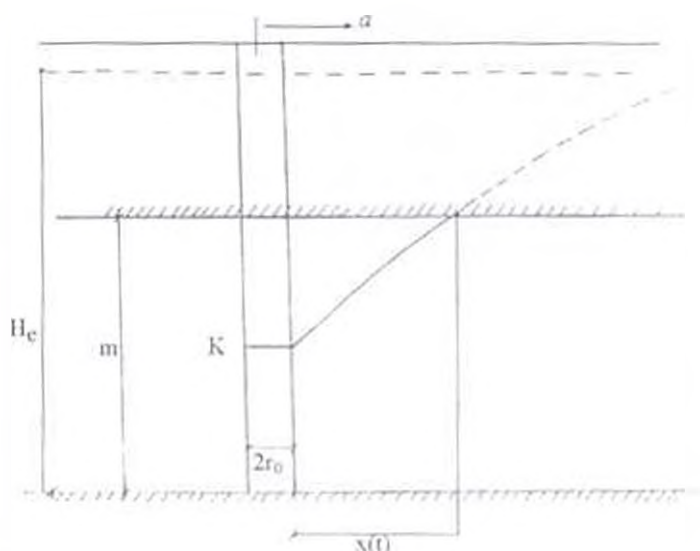


Рис. Схема к расчету скважин с учетом напорно-безнапорного режимов

Рассмотрим случай образования безнапорно-напорного движения в пласте при откачке воды из ряда скважин большой длины. Для упрощения решения задачи заменим действие дискретно размещенных скважин рядом прямолинейной водосборной галереи. Тогда для моментов времени $t < t_0$, когда понижение в скважинах $S_0 < (H_e - m)$, изменение уровня подземных вод в любой момент времени имеет вид

$$S_0 = \frac{q}{T} \sqrt{at} \cdot i\Phi^* \left(\frac{x}{2\sqrt{at}} \right), \quad i\Phi^*(x) = \frac{1}{\sqrt{x}} \exp(-x^2) - x\Phi^*(x),$$

$$\Phi^*(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-u^2) du,$$

где q - погонный расход; T - проводимость пласта; a - коэффициент пьезопроводимости.

Принимая $S = H_e - m$ и $x = 0$, определим длительность первой стадии действия ряда скважин:

$$t_0 = \frac{1}{a} \left[\frac{kmH_e(1-\bar{m})}{q} \right], \quad \bar{m} = \frac{m}{H_e}. \quad (1)$$

Для $t > t_0$ приток подземных вод к скважинам приобретает безнапорно-напорный характер. В этом случае распределение понижения в безнапорной ($0 < x < R$) и напорной ($R < x < \infty$) зонах пласта определяется решением системы дифференциальных уравнений вида

$$\frac{\partial^2 S_i}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial S_i}{\partial t}, \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

при следующих краевых условиях:

$$S_2(x, 0) = S_2(\infty, t) = 0, \quad (3)$$

$$\partial S_1(0, t) / \partial x = -q / 2km, \quad q = Q / \sigma, \quad (4)$$

$$S_1(R, t) = S_2(R, t) = H_c - m = \text{const}, \quad (5)$$

$$\partial S_1(R, t) / \partial x = \partial S_2(R, t) / \partial x. \quad (6)$$

где σ - расстояние между скважинами; Q - дебит одной скважины

Решение системы (2) представим в виде

$$S_1 = C_1 \sqrt{a_1 t} \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_1 t}} \right) + D_1, \quad (7)$$

$$S_2 = C_2 \sqrt{a_2 t} \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_2 t}} \right) + D_2, \quad (8)$$

Коэффициенты интегрирования $C_{1,2}$ и $D_{1,2}$ определяются из условий (3) - (5):

$$C_1 = q / km, \quad D_1 = H_c - m - A_1 \sqrt{a_1 t} \operatorname{erfc}(\alpha_1 \sqrt{a_1 t}), \quad (9)$$

$$C_2 = H_c - m / \sqrt{a_2 t} \cdot (\operatorname{erfc}(\alpha_1))^{\frac{1}{2}}, \quad D_2 = 0, \quad (10)$$

где

$$\alpha_1 = \alpha_1^{1/2} = R / 2\sqrt{a_2 t}, \quad a_0 = a_2 / a_1. \quad (11)$$

Подставляя значения $S_{1,2}$ из (7) и (8), а также $C_{1,2}$ и $D_{1,2}$ из (9) и (10) в уравнение (6), найдем закон движения границы областей безнапорного движения:

$$R = 2\alpha_1 \sqrt{a_1 t}, \quad (12)$$

$$\alpha_1 = \operatorname{Arc} \left[\operatorname{erfc} \left[\frac{k(1-m)H_c - m}{q \sqrt{a_1 t}} \right] \right], \quad (13)$$

Вводя значения $C_{1,2}$ и $D_{1,2}$ в (7) и (8), получим следующие формулы для определения понижений $S_{1,2}$:

$$S_1 = H_c(1-m) + \frac{q \sqrt{a_1 t}}{km} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_1 t}} \right) - \operatorname{erfc}(\alpha_1 \sqrt{a_1 t}) \right], \quad (14)$$

$$S_2 = H_c(1-m) \frac{\operatorname{erfc}(x / 2\sqrt{a_2 t})}{\operatorname{erfc}(\alpha_1)}, \quad (15)$$

где α_1 находится из (13).

Отметим, что при определении понижения уровня в самих скважинах необходимо к величине S_0 , вычисленной по (14) при $x=0$, добавить ΔS_0 , обусловленное дискретностью скважин

$$\Delta S_0 = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{\sigma}{2\pi r_0}. \quad (16)$$

Таким образом, понижение в самих скважинах имеет вид

$$S_0 = H_e(1-m) + \frac{q}{km} \sqrt{a_1 t} \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_1 t}} \right) + \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{\sigma}{2\pi r_0}, \quad (17)$$

где r_0 - радиус скважин.

Аналогичным образом учитывается понижение ΔS_1 , обусловленное кольматацией скважин.

Если откачка подземных вод из водосборной галереи производится при постоянном понижении уровня $S_1 = H_e - m$, то приток воды к галерее с момента времени $t > 0$, как и ранее, будет носить безнапорно-напорный характер. Решение задачи в этом случае можно представить в виде

$$\text{при } 0 < r < R(t) \quad S_1 = E_1 \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_1 t}} \right) + F_1, \quad (18)$$

$$\text{при } R < r < \infty \quad S_2 = E_2 \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_1 t}} \right) + F_2. \quad (19)$$

Коэффициенты интегрирования $E_{1,2}$ и $F_{1,2}$ определяются из условий

$$S_2(x, 0) = S_2(\infty, t) = 0, \quad (20)$$

$$S_1(0, t) = S_0 = \text{const}, \quad (21)$$

$$S_1(R, t) = S_2(R, t) = H_e - m = \text{const}, \quad (22)$$

а координата зоны безнапорного движения - из соотношения (13).

Вводя (18) и (19) в (20)-(22) и решая полученные уравнения относительно $E_{1,2}$ и $F_{1,2}$, получим

$$E_1 = \frac{S_0 - (H_e - m)}{\operatorname{erfc}[(\alpha a_0)^{1/2}]}, \quad \Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-u^2} du, \quad (23)$$

$$F_1 = S_0 - \frac{S_0 - (H_e - m)}{\operatorname{erfc}[(\alpha a_0)^{1/2}]}, \quad \alpha = \frac{R^2}{4a_1 t}, \quad a_0 = \frac{a_1}{a_2}, \quad (24)$$

$$E_2 = \frac{H_e - m}{\operatorname{erfc}(\alpha^{1/2})}, \quad F_2 = 0. \quad (25)$$

Подставляя значения $E_{1,2}$ и $F_{1,2}$ в (18) -(19), находим значения S_1 и S_2 :

$$S_1 = S_0 - [S_0 - (H_e - m)] \frac{\operatorname{erfc}(x/2\sqrt{a_1 t})}{\operatorname{erfc}[(\alpha a_0)^{1/2}]}, \quad \bar{m} = m/H_e, \quad (26)$$

$$S_2 = H_e(1 - \bar{m}) \frac{\operatorname{erfc}(x/2\sqrt{a_1 t})}{\operatorname{erfc}(\alpha^{1/2})} \quad (27)$$

Параметр α в этих формулах находится из следующего трансцендентного уравнения:

$$\alpha(a_0 - 1) - \ln \frac{\Phi'(\alpha^{1/2})}{\Phi[(\alpha a_0)^{-1/2}]} = \frac{1}{2} \ln a_0 + \ln \left(\frac{S_0}{H_0} \cdot \frac{1}{1-m} - 1 \right) \quad (28)$$

Задаваясь в (28) различными значениями S_0/H_0 , m и a_0 , построим зависимость $\alpha = f(a_0, S_0/H_0, m)$. По известным значениям S_0 , H_0 , m , a_0 находим величину α и, следовательно, координату границы безнапорного движения:

$$R = 2\sqrt{\alpha a_0 t},$$

где α определяется из (28).

ЛИТЕРАТУРА

1. Веригин Н.Н., Васильев С.В., Саркисян В.С., Шержуков Б.Ш. Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород. - М.: Недра, 1977. - 271 с.
2. Васильев С.В., Веригин Н.Н., Глейзер Б.А. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем. - М.: Колос, 1970. - 440 с.

ЕрАСИ

03.03.1998

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 1, 1999, с. 114-119.

УДК 66.096.57

ГИДРАВЛИКА

Р.М. МИРЗАХАНЫАН, А.А. ГЮЛЬЗАДЯН

МЕТОДИКА РАСЧЕТА АППАРАТОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ В НИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Մեթոդիկան է փոխախալումի կորիզների ուղղանկյուն տափաստների հարկման եղանակը ներկայացնում «սլինկ տեսությունը - նեոտկ» երկփուլ համակարգերի շարժող կոնսերվացիոն պայքեր տեխնոլոգիական գործընթացներ իրականացնելու համար: Ապրանախ հարկմանը պարանկում է կոնսերվացիոն սլինկ տեսությունը: Կոնսերվացիոն մոնիթորինգը կոնսերվացիոն և ընթացող գործընթացների բոլոր ուղղանկյունությունը:

Представлена методика расчета вертикальных аппаратов переменного сечения для проведения в них различных технологических процессов, протекающих в движущемся потоке двухфазной системы "твердые частицы-жидкость". Профиль аппарата обеспечивает постоянную объемную концентрацию твердых частиц в потоке и высокую эффективность протекающих процессов.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 3 назв.

The method of vertical variable section apparatus calculation is presented. Criteria and the method for the stabilization system design providing requested dynamic features and suppression of network voltage ripples are proposed.

Fig. 3, Table 1. Ref. 3.

В различных отраслях промышленности широко распространены технологические процессы (растворение, экстракция, кристаллизация и др.) в вертикальном потоке двухфазной системы, состоящей из твердых частиц и жидкой среды. В [1, 2] показано, что для практического осуществления таких процессов наиболее эффективным является вертикальный аппарат переменного сечения, в котором двухфазная система (суспензия) движется снизу вверх с постоянной концентрацией частиц в гидросмеси.

Целью настоящей работы является разработка методики расчета аппаратов для проведения в них массообменных и химических процессов с учетом изменения характеристик твердых частиц и жидкости в течение процесса. При этом учитывается, что во время процесса из твердых частиц часть вещества переходит в раствор, и частицы, разрушаясь, образуют новую твердую фазу с иными характеристиками. Изменения параметров частиц и жидкости представляются в зависимости от времени протекания процессов.

В аппарат (рис. 1) снизу непрерывно поступает суспензия с определенной постоянной концентрацией твердой фазы. Массообменные и химические процессы протекают между фазами и поднимающейся суспензией. Обработанная суспензия удаляется из верхней части аппарата.

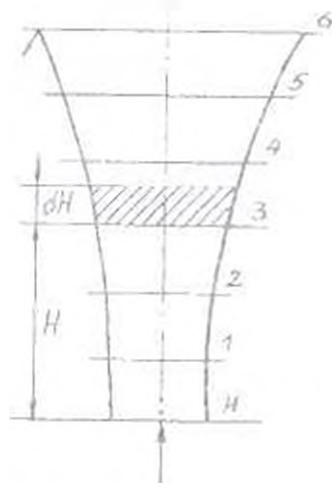


Рис. 1. Схема аппарата переменного сечения

Расчет аппарата сводится к определению его высоты и профиля с учетом известных исходных данных. Элементарная высота dH аппарата (рис. 1) определяется по уравнению

$$dH = (n - C) / dt, \quad (1)$$

где $\dot{v}$ - скорость движения суспензии, м/с; C - скорость стесненного падения частиц, м/с; dt - время пребывания частиц в элементарном участке, с.

Скорость суспензии $\dot{v}$ определяется в виде

$$\dot{v} = Q + W / F, \quad (2)$$

где Q и W - объемный расход жидкой и твердой фазы, м³/с; F - площадь поперечного сечения аппарата, м².

Скорость стесненного падения частиц C , если принять их сферическими, определяется по уравнению [3]

$$C = KC_0(1 - \varphi)^n. \quad (3)$$

Здесь C_0 - скорость свободного падения одиночной сферической частицы, м/с.

Скорость C_0 имеет три области: ламинарную, переходную и турбулентную, определяемые критерием Рейнольдса

$$Re = C_0 D \rho / \mu, \quad (4)$$

где D - диаметр сферической частицы, м; ρ - плотность жидкости, кг/м³; μ - вязкость жидкости, Па·с.

Скорость C_0 определяется по формуле Тодеса

$$Re = Ar / 18 + 0.575 \sqrt{Ar}. \quad (5)$$

Критерий Архимеда Ar зависит от параметров частиц и жидкости

$$Ar = D^3 \rho g (\rho_T - \rho) / \mu^2, \quad (6)$$

где ρ_T - плотность твердых частиц, кг/м³; g - ускорение силы тяжести, м/с².

Показатель степени n и коэффициент K , входящие в (3), определяются в виде [3]: для ламинарной области - $Re < 0.5$, $n = 4.72$; турбулентной - $Re > 750$, $n = 2.58$; переходной - $0.5 < Re < 75$, $n = 4.49 - 0.77 \lg Re$, $75 < Re < 750$, $n = 3.93 - 0.47 \times \lg Re$. Для всех областей $K = 0.5 - 0.1n$.

Величина φ , входящая в уравнение (3), представляет собой объемную концентрацию твердой фазы в суспензии и определяется в виде [1, 2]

$$\varphi = \dot{v} \varepsilon / (\dot{v} - C), \quad (7)$$

где ε - объемная концентрация твердой фазы в расходе суспензии:

$$\varepsilon = W / (W + Q). \quad (8)$$

Высота участка аппарата H от нижнего (начального) до данного сечения (рис.1) определяется интегрированием уравнения (1)

$$H = \int_0^t (\dot{v} - C) dt \quad (9)$$

Правая часть этого уравнения легче всего интегрируется графически при известной зависимости скоростей $\dot{v}$ и C от времени t .

Следует отметить, что часть приведенных уравнений справедлива для моодисперсных сферических частиц. При

необходимости можно учитывать бесформенность и полидисперсность твердой фазы, однако это не может существенно повлиять на результаты расчетов.

В качестве примера приведем расчет аппарата переменного сечения для проведения в нем гипотетического технологического процесса при постоянной концентрации твердой фазы $\varphi = 0,3$ и концентрации твердой фазы в расходе в начальном сечении аппарата $\varepsilon_n = 0,1$. При выборе этих величин должно соблюдаться условие $\varepsilon_n < \varphi < 0,5$. Остальные исходные данные, относящиеся к начальному сечению аппарата, следующие: $D_n = 0,25$ мм, $\rho_{rn} = 3000$ кг/м³, $\mu_n = 1 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $\rho_n = 1000$ кг/м³, $Q_n = 0,01$ м³/с. Известны также время пребывания твердых частиц в аппарате $\tau = 7200$ с и графические зависимости диаметра частиц D , плотности частиц ρ_r , вязкости μ и плотности жидкости ρ от времени (рис. 2). Концентрация твердых частиц в расходе суспензии ε в данном сечении аппарата определяется по уравнению

$$\varepsilon = \varepsilon_n D^3 / D_n^3 \quad (10)$$

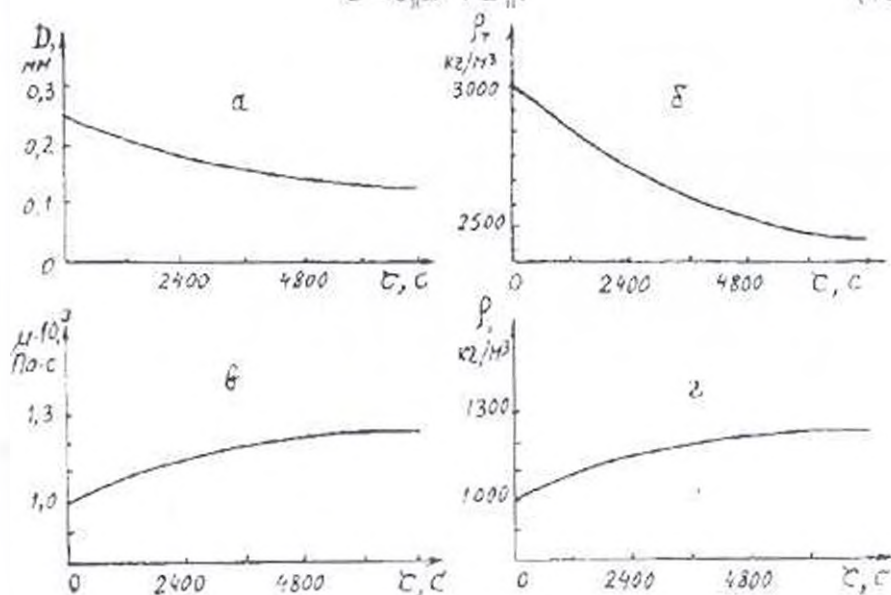


Рис. 2 Зависимости диаметра частиц D (а), плотности частиц ρ_r (б), вязкости жидкости μ (в) и плотности жидкости ρ (г) от времени τ

Расчет аппарата производится по следующей последовательности:

1. Определяется расход твердой фазы в начальном сечении аппарата на основе (8): $W_n = \varepsilon_n Q_n / (1 - \varepsilon_n) = 0,00111$ м³/с.

2. Определяется скорость стесненного падения частиц C_n в начальном сечении аппарата на основе (6), (5), (4) и (3):

$Ar_n = 306.25$; $Re_n = 10.91$; $C_{nn} = 0.04365 \text{ м/с}$; $n = 3.6908$;
 $K = 0.8691$; $C_n = 0.01017 \text{ м/с}$.

3. Определяется скорость суспензии ϑ_n в начальном сечении аппарата на основе (7): $\vartheta_n = 0.01526 \text{ м/с}$.

4. Определяются начальное сечение аппарата F_n на основе (2) и начальный диаметр аппарата d_n : $F_n = (Q_n + W_n) / \vartheta_n = 0.728 \text{ м}^2$,
 $d_n = 0.963 \text{ м}$.

5. Для графического интегрирования правой части уравнения (9) и определения профиля аппарата составляется таблица, в которой приводятся значения необходимых величин для различных сечений аппарата, разделенного на 6 участков (рис. 1). Промежутки времени прохождения частиц между сечениями принимаются одинаковыми и равными 1200 с. Параметры частиц и жидкости в различных сечениях аппарата определены по графикам рис. 2 и приведены в столбцах 2-5 таблицы.

Таблица

Результаты расчета аппарата

Сечение	D , мм	ρ , кг/м ³	$\mu \cdot 10^3$, Па·с	ρ , кг/м ³	τ , с	$C \cdot 10^3$, м/с	$n \cdot 10^3$, м/с	d , м	H , м
Н	0,250	3000	1,00	1000	0	10,17	15,26	0,9630	0
1	0,210	2800	1,10	1100	1200	5,820	7,253	1,3969	3,120
2	0,180	2650	1,15	1150	2400	3,805	4,346	1,8046	4,290
3	0,160	2500	1,20	1200	3600	2,528	2,770	2,2604	4,734
4	0,145	2420	1,225	1225	4800	1,872	2,002	2,6588	4,956
5	0,136	2380	1,24	1240	6000	1,549	1,637	2,9403	5,086
6	0,130	2350	1,25	1250	7200	1,351	1,417	3,1600	5,178

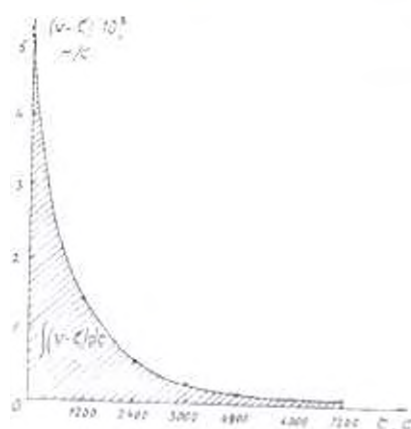


Рис. 3. Графическое определение
интеграла $\int_0^{\tau} (v - c) dz$

В строке Н таблицы приведены расчеты начального сечения аппарата по данным пунктов 1-4. При расчетах принимается, что объемный расход суспензии $(Q+W)$ по высоте аппарата не меняется.

Приводится графическое определение интеграла уравнения (9) (рис. 3). На графике показаны точки зависимости разности скоростей $(\vartheta - c)$ от времени τ для различных сечений аппарата. Площади ниже кривой зависимости $(\vartheta - c)$ от τ представляют собой значения

интеграла $\int (v - c) dt$, т.е. значения высот соответствующих участков

аппарата. В последнем столбце таблицы приведены значения высоты H от начального до данного сечения аппарата. В предпоследнем столбце таблицы приведены значения диаметров соответствующих сечений аппарата. Для рассчитанного примера общая высота аппарата составляет $H=5,158$ м при изменении его диаметра от $d_1=0,963$ м до $d=3,16$ м. Приведенная методика может быть успешно применена при расчете и проектировании аппаратов для осуществления в них разнообразных реальных процессов, в частности, процесса обогащения железной руды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаспарян А.М., Меликян Э.А. О некоторых процессах химической технологии в потоке суспензии // ДАН АрмССР - 1961. - Т. 33, №1 - С. 7-11.
2. Гаспарян А.М., Меликян Э.А. Некоторые вопросы гидродинамики при массообмене в двухфазном потоке // ЖПХ. - 1963. - Т. 36, №3. - С. 594-604.
3. Гаспарян А.М., Замятин А.А. Стесненное падение частиц // Изв. АН АрмССР, Сер. ТН. - 1959. - Т. 12, №4 - С. 23-25.

ГИУА

20.02.1998

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. 13, №1, 1999, с. 119-123

УДК 626.823

ГИДРАВЛИКА

Э.П. АЦИЯНЦ

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОНИЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ТРУБОПРОВОДЕ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ПОТЕРЕ ПРИВОДА НАСОСА

Առաջարկվում է նվազագույն ձևով հաշվարկի մեթոդով սեղող պոմպի համակարգում սխաղ խողովակաչափի սկզբում պոմպի տեսություն ժամանակ՝ Փորձի տվյալներով հաստատել նաև առաջարկված լատեններով հաշվարկի տվյալների հետ:

Разработан аналитический метод расчета понижения давления в напорном трубопроводе насосной установки при потере привода насоса. Результаты расчета сопоставлены с соответствующими экспериментальными данными.

Ил. 2. Библиогр. 6 назв.

интеграла $\int (v - c) dt$, т.е. значения высот соответствующих участков

аппарата. В последнем столбце таблицы приведены значения высоты H от начального до данного сечения аппарата. В предпоследнем столбце таблицы приведены значения диаметров соответствующих сечений аппарата. Для рассчитанного примера общая высота аппарата составляет $H=5,158$ м при изменении его диаметра от $d_1=0,963$ м до $d=3,16$ м. Приведенная методика может быть успешно применена при расчете и проектировании аппаратов для осуществления в них разнообразных реальных процессов, в частности, процесса обогащения железной руды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаспарян А.М., Меликян Э.А. О некоторых процессах химической технологии в потоке суспензии // ДАН АрмССР - 1961. - Т. 33, №1 - С. 7-11.
2. Гаспарян А.М., Меликян Э.А. Некоторые вопросы гидродинамики при массообмене в двухфазном потоке // ЖПХ. - 1963. - Т. 36, №3. - С. 594-604.
3. Гаспарян А.М., Замятия А.А. Стесненное падение частиц // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1959. - Т. 12, №4 - С. 23-25.

ГИУА

20.02.1998

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. 13, №1, 1999, с. 119-123

УДК 626.823

ГИДРАВЛИКА

Э.П. АЦИЯНЦ

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОНИЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ТРУБОПРОВОДЕ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ПОТЕРЕ ПРИВОДА НАСОСА

Առաջարկվում է նվազագույն ձևով հաշվարկի մեթոդով սեղող պոմպի համակարգում սխաղ խողովակաչափի սկզբում պոմպի տեսություն ժամանակ՝ Փորձի տվյալներով հաստատել նաև առաջարկված լատիսկներով հաշվարկի տվյալների հետ:

Разработан аналитический метод расчета понижения давления в напорном трубопроводе насосной установки при потере привода насоса. Результаты расчета сопоставлены с соответствующими экспериментальными данными.

Ил. 2. Библиогр. 6 назв.

An analytical method of pressure reduction design in pumping plant pipeline with power pump loss is developed. The design results are compared with corresponding experimental data.

177 2. Ref. 6

При проектировании напорных трубопроводов насосных станций необходимо иметь сведения о давлениях, возникающих в трубопроводе при переходных процессах. Как известно, переходной процесс может возникнуть в результате внезапного прекращения электропитания двигателей насосов и понижения давления, которое, в свою очередь, может привести к образованию разрывов сплошности течения, что является причиной последующего значительного его повышения.

В настоящее время наибольшее распространение получили численные методы расчета гидравлического удара в насосных установках [1,2], имеющие определенные недостатки. По сравнению с ними аналитические методы расчета значительно проще, дешевле и позволяют провести детальный анализ явления гидравлического удара.

Целью настоящей работы является разработка аналитического метода расчета понижения давления в начале трубопровода при потере привода насоса.

В [3,4] отмечается, что ряд основных показателей процесса потери привода насоса является главным образом функцией лишь постоянной инерции агрегата и водовода. Это утверждение справедливо лишь в случае возникновения в напорных трубопроводах непрямых гидравлических ударов. В случае же прямых гидравлических ударов неучет упругих свойств трубопровода и жидкости может привести к грубым ошибкам в расчетах.

В качестве примера (рис.1) приведена осциллограмма понижения давления у насоса Мхчинской насосной станции при внезапной его остановке. Длина магистрального трубопровода $L=5450$ м, скорость распространения волны гидравлического удара $a=850$ м/с. Как видно, при потере привода насоса время резкого понижения давления до определенной величины меньше фазы удара. Следовательно, в трубопроводе имеет место явление прямого гидравлического удара. Приведена также расчетная "кривая 1" понижения давления, при вычислении которой не учтены упругие свойства трубопровода и жидкости. Как видно из сопоставления, расчетная кривая существенно отличается от экспериментальной. Таким образом, в длинных трубопроводах больших диаметров при расчете переходных процессов необходимо учитывать упругость жидкости стенок и трубопровода.

Для аналитического решения задачи используются следующие зависимости:

1. Зависимость между изменением напора и расхода воды в магистральном трубопроводе при прямом гидравлическом ударе:

$$H_1 - H = \frac{za(Q_0 - Q)}{gA}, \quad (1)$$

где H_1 - напор, развиваемый насосом при установившемся движении;

Q_0 - расход воды, подаваемой насосом при напоре, равном H_1 ;

H и Q - напор и расход воды при переходном процессе; A - площадь сечения магистрального трубопровода; i - число насосов, подающих воду в трубопровод; g - ускорение силы тяжести.

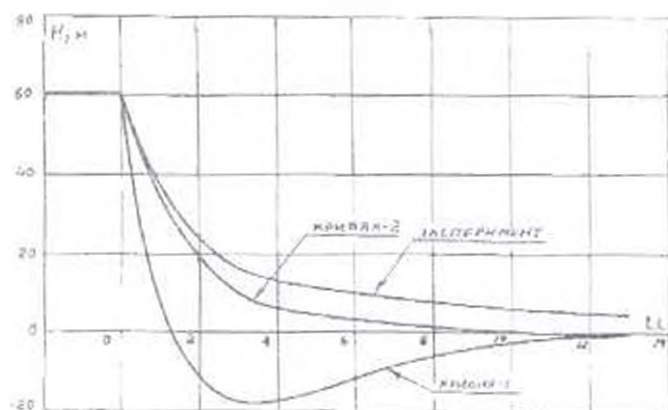


Рис. 1. Кривые понижения напора у насоса

2. Напор, развиваемый насосом при потере привода [1]:

$$\frac{H}{\beta^2} = K_1 \left(\frac{Q}{\beta} \right)^2 + K_2 \left(\frac{Q}{\beta} \right) + K_3, \quad (2)$$

где β - относительное число оборотов электродвигателя. $\beta = n / n_n$, n_n - номинальное число оборотов; K_1, K_2, K_3 - коэффициенты аппроксимации напорной характеристики насоса $Q-H$.

Зависимости (1) и (2) позволяют определить расход Q как функцию от β с учетом влияния упругих свойств трубопровода.

$$Q(\beta) = -\frac{1}{2K_1} \left(K_2 \beta - \frac{aZ}{gA} \right) + \sqrt{\left[\frac{1}{2K_1} \left(K_2 \beta - \frac{aZ}{gA} \right) \right]^2 + \frac{1}{K_1} \left(H_0 - \frac{aZQ_0}{gA} - K_3 \beta^2 \right)} \quad (3)$$

Определяя из (3) Q при различных значениях β и подставляя их в (2), устанавливается изменение напора в начале трубопровода: $H = f(\beta)$.

Изменение относительного числа оборотов в зависимости от времени t в интервале $1 > \beta > 0.5$ рекомендуется определять по формуле [5]

$$\beta = T_u / T_p + 1, \quad (4)$$

где $T_u = \frac{GD^2 n_n^2}{365 N_n}$ - постоянная инерции насосного агрегата; GD^2 - $kH \cdot m^2$ - маховой момент насосного агрегата; N_n - мощность, развиваемая двигателем при установившемся режиме работы.

При значениях $\beta < 0.5$ изменение его в зависимости от времени определяется из уравнения движения агрегата [1]

$$\frac{d\beta}{dt} = -\frac{375}{GD^2 n_0} M, \quad (5)$$

где M - момент сопротивления насоса, определяемый из полной характеристики насоса [1] при малых значениях β

$$\frac{M}{Q} = K_1 + K_2 \left(\frac{\beta}{Q} \right), \quad (6)$$

K_1 и K_2 - коэффициенты аппроксимации моментной характеристики.

Подставляя (6) в (5), получим дифференциальное уравнение

$$\frac{d\beta}{dt} = -(K_1 \beta^2 + K_2 \beta Q), \quad (7)$$

где $K_1 = \frac{375 K_1}{GD^2 n_0}$, $K_2 = \frac{375 K_2}{GD^2 n_0}$

Для определения значений β в зависимости от времени в интервале $0 < \beta < 0.5$ необходимо зависимость (3) подставить в (7) и проинтегрировать ее. Однако такой способ значительно усложняет вычисления. Для этого целесообразно функцию (3) представить в упрощенном виде. Например, для насоса марки 24НДС эту функцию приближенно можно представить в виде линейной:

$$Q(\beta) = 0.375 - 1.25\beta. \quad (8)$$

Подставляя (8) в (7) и интегрируя уравнение при начальных условиях $t = T_0$, $\beta = 0.5$, получим

$$t = T_0 + \frac{1}{0.375 K_2} \ln \frac{0.375 K_1 + \beta(K_1 + 1.25 K_2)}{\beta(K_1 + 1.25 K_2) + 0.75 K_2}. \quad (9)$$

Полученные выше зависимости справедливы для промежуточного времени $0 < t \leq 2l/a$.

На рис.1 приведена расчетная "кривая 2" понижения напора, построенная по полученным формулам с использованием следующих значений расчетных параметров: $Q_0 = 2.3 \text{ м}^3/\text{с}$, $H_p = 61 \text{ м}$, $n = 850 \text{ об/мин}$, $N = 1570 \text{ кВт}$, $n_c = 750 \text{ об/мин}$, $z = 1$, $GD^2 = 19.62 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$, $T_0 = 2 \text{ с}$, $A = 2.54 \text{ м}^2$, $K_1 = -8$, $K_2 = 6$, $K_3 = 93$, $K_4 = -260$, $K_5 = 1530$, $K_6 = -0.065$, $K_7 = 0.382$.

Как видно, "кривая 2" значительно лучше совпадает с экспериментальной. Одной из причин расхождения расчетных и экспериментальных данных может явиться несоответствие действительной характеристики насоса и характеристики, принятой при расчете.

На рис. 2 приведена осциллограмма изменения числа оборотов β насосного агрегата марки 24НДС при отключении электропитания двигателя. Показаны расчетные значения β , определенные по формуле (9). Как видно, результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными.

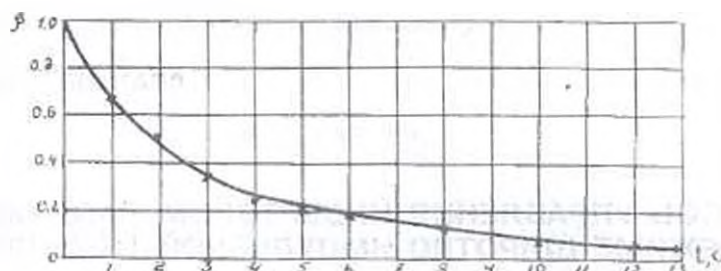


Рис. 2. Экспериментальная осциллограмма снижения относительного числа оборотов насоса - β . * - расчетные значения

Таким образом, с помощью полученных зависимостей можно определить первоначальное граничное условие в начале магистрального трубопровода при решении задачи гидравлического удара. Следует отметить, что при дальнейшем решении задачи граничные условия в начале водовода могут меняться несколько раз [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по применению гидротехнической трубопроводной арматуры на внутрихозяйственной оросительной сети / В/О "Союзводпроект" - М., 1983. - 171 с.
2. Хусанов М.А., Фан Ши Хуан. Исследование переходных процессов в насосных установках при переводе их из насосного в турбинный режим. Сб. тр. / ТашГТУ. - Ташкент, 1991. - С.
3. Аршеневский Н.Н., Поспелов Б.Б. Переходные процессы крупных насосных станций. - М.: Энергия, 1980. - 112 с.
4. Карелин В.Я. и др. Исследование переходных процессов и явлений нестационарности с целью совершенствования конструктивных решений ГЭС, ГАЭС и насосных станций // Гидротехническое строительство. - 1983. № 8. - С. 8-11.
5. Указания по защите водоводов от гидравлического удара / Л.Ф. Мошнин, Е.Т. Тимофеева / ВОДГЕО - М., 1961 - 227 с.
6. Ащиянц Э.П. Гидравлический удар в простом нагнетательном трубопроводе при понижении давления // Мат. науч.-техн. конф. молодых науч. работников и специалистов Минводхоза АрмССР. - Ереван: Айдастан, 1977. - С. 138-141.

НПО водных проблем
и гидротехники РА

02.03.1998

Э.В. БАРСЕГЯН

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕРТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ В РЕЖИМЕ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Դիտարկվում է ելքային լարման հաճախային բաղադրիչի ֆիկսացիայի մեթոդ, որը պայմանավորված է զանգի և կերպափոխիչի սեփական հաճախությունների տարբերությամբ: Վերջինս աշխատում է լայնա-իմպուլսային մոդուլման սկզբունքով, որոնք ելքային սինուսոիդալ ազդանշանի զտումը իրագործում է երկրափոխիչային ազդանշան ներմուծող շփման (հշտման) ճանապարհով:

Рассматривается способ подавления низкочастотной составляющей в выходном напряжении, обусловленной разностью частот питающей сети и собственной частоты инвертора, работающего по принципу широтно-импульсной модуляции. Фильтрация выходного синусоидального сигнала осуществляется схемой управления путем введения поправки в опорный сигнал.

Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

A method of suppressing low-frequency component in output voltage conditioned by the frequency difference of a power supply and a natural frequency of the inverter working in accordance with the pulse-width modulation principle is considered. The filtration of the output sinusoidal signal is realized by the controlling circuit by reference signal correction.

Ил. 2. Ref. 3.

При разработке инверторов напряжения, когда предъявляются жесткие требования к форме выходного синусоидального сигнала, к стабильности по частоте и напряжению, возникает проблема, связанная с появлением низкочастотной составляющей в выходном напряжении, обусловленная близостью частот питающей сети ω , и собственной частоты ω_n инвертора. Для получения качественных выходных характеристик инверторов лучшие результаты дают смешанные способы стабилизации: как по входному напряжению, так и по воздействию на спектральный состав напряжения (внутреннее регулирование) [1]. Функциональная схема инвертора (рис. 1) работает следующим образом. Выпрямленное напряжение сети поступает на регулируемый импульсный стабилизатор напряжения, который запитывает напряжением U_1 силовой коммутатор, собранный на транзисторных ключах К1-К4. В диагональ моста коммутатора включена первичная обмотка выходного трансформатора с фильтром. Стабилизация выходного напряжения осуществляется двумя контурами регулирования. Сигнал обратной связи для первого контура берется с действующего значения выходного напряжения, сравнивается с опорным напряжением и подается на регулируемый импульсный стабилизатор напряжения [2], в состав которого входит фильтр. Управляя выходным напряжением импульсного стабилизатора, осуществляется стабилизация выходного напряжения

инвертора. При этом схема управления выдает по соответствующему алгоритму на ключи К1-К4 импульсы ШИМ для формирования синусоидального напряжения на обмотках выходного трансформатора с помощью LC-фильтра.



Рис. 1

Если напряжение U_k , подаваемое на силовой коммутатор, представить в виде суммы постоянного действующего напряжения U_s и переменного ΔU , определяемого величиной пульсаций $U_k = U_s + \Delta U$, то, ограничиваясь первой гармоникой частоты сети ω_1 (при двухполупериодном выпрямлении - $2\omega_1$), можно написать

$U_k = U_s + \frac{U_s}{n} \sin \omega_1 t$, где n - число, зависящее от качества входного фильтра и величины нагрузки. Тогда выходное напряжение инвертора будет пропорционально выражению $U_s \sin \omega_0 t$, где ω_0 - собственная частота инвертора. После преобразований получим

$$\left(U_s + \frac{U_s}{n} \sin \omega_1 t \right) \sin \omega_0 t = U_s \sin \omega_0 t + \frac{U_s}{n} \sin \omega_1 t \sin \omega_0 t.$$

Поскольку $\sin \omega_1 t \sin \omega_0 t = \frac{1}{2} [\cos(\omega_1 - \omega_0)t - \cos(\omega_1 + \omega_0)t]$, то в

выходном сигнале присутствуют как суммарная, так и разностная частоты, которые подавить выходным фильтром не удастся. Так как стабилизация осуществляется по действующему значению выходного напряжения с определенным временем интегрирования (по крайней мере, равным нескольким периодам формируемой синусоиды), то для устранения этих разностных частот предлагается ввести второй контур регулирования, воздействующий на спектральный состав ШИМ (рис.2).

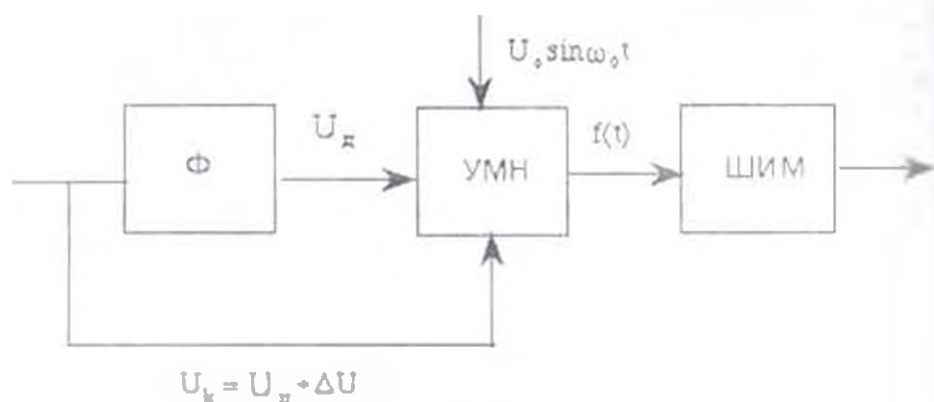


Рис. 2

Целью работы схемы рис. 2 является выработка такого напряжения $f(t)$, где бы содержалась информация о форме подаваемого на вход коммутатора напряжения U_k . Представив напряжение U_k в виде суммы действующего напряжения U_n и переменного ΔU с периодом, зависящим от частоты сети $U_k = U_n + \Delta U$, можно написать условие $(U_n + \Delta U) \sin(\omega_0 t) = U_n \sin(\omega_0 t)$, откуда $f(t) = U_n \sin(\omega_0 t) / (U_n + \Delta U)$, где ω_0 - собственная частота инвертора, U_n - амплитудное значение напряжения опорной синусоиды. То есть в опорную синусоиду вносится поправка на $k = U_n / (U_n + \Delta U) = 1 / (1 + \Delta U / U_n)$.

Отфильтровав напряжение U_n (производя соответствующее масштабирование резистивным делителем) на выходе фильтра Φ , получим значение U_n . Умножив опорный сигнал $U_n \sin(\omega_0 t)$ на $k = U_n / (U_n + \Delta U) = 1 / (1 + \Delta U / U_n)$ с помощью перемножителя [3], получим значение $f(t)$, которое в качестве нового опорного сигнала поступает на вход преобразователя ШИМ. В остальном схема работает обычным способом. Таким образом, удастся в значительной степени улучшить выходные характеристики, не увеличивая расчетное произведение индуктивности на емкость входного фильтра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированное электропитание / С.С. Букреев, А.А. Головацкий, Г.Н. Гулякович и др.; Под ред. Ю.И. Конева. - М.: Радио и связь, 1983. - 190 с.
2. Алексеев А.Г., Коломбет Е.К., Стародуб Г.И. Применение прецизионных аналоговых микросхем. - М.: Радио и связь, 1985. - 227 с.
3. Соколов С. Аналоговые интегральные схемы / Пер. с англ. - М.: Мир, 1988. - 547 с.

Ю.М. ШАХНАЗАРЯН, Р.Г. ТУМАНЯН

СИММЕТРИЧНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СТАБИЛИЗАЦИИ ТОКА В ОДНОЙ ИЗ ФАЗ

Դիտվում է եռափազ ոչ սխեմորեն ուղղորդվող չորս անոմեց չեզոք ցանցի էլեմենտները և էլեմենտները ազատվելով ֆուգերում ոչ սխեմորեն են. ցանցի մասին հայտնի է միայն երկուսից մեկ ֆազի դիմադրության անհայտներից. Ցուցվում է, որ չեզոք կետերի լարված չեզոքի հավասար է զրոյական հաջորդականության բաղադրիչների բաժանմանը:

Рассматривается трехфазная цепь без нейтрального провода с несимметричным приемником энергии. Напряжения и токи в фазах приемника несимметричны, причем ток в одной из фаз не зависит от величины сопротивления этой фазы. Показано, что напряжение смещения нейтрали равно величине напряжения составляющей нулевой последовательности, взятой с обратным знаком.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 2 назв.

An asymmetric circuit receiver without a neutral wire is studied. Voltages and currents of the receiver's circuit are asymmetric, and the current of one of the phases is independent of the resistance value of that phase. It is shown that voltage displacement of neutral points is equal to the zero sequence voltage with the opposite sign.

Ил. 3. Table 1. Ref. 2.

Рассматривается несимметричный режим работы трехфазной цепи при соединении фаз приемника по схеме "звезда" без нейтрального провода (рис.1). Схема состоит из резистора в фазе А, величина которого меняется в диапазоне $0 \leq R \leq \infty$. Сопротивления двух других фаз - реактивные. Причем в одной из фаз расположена катушка индуктивности, а в другой - конденсатор, реактивные сопротивления которых одинаковы $X_L = X_C = X$. При этом активными составляющими сопротивлений катушки и конденсатора пренебрегаем.

При изменении сопротивления R_A ток I_A в этой фазе не зависит от его величины [1]. Напряжение смещения нейтрали равно

$$U_N = \left(1 - \sqrt{3} \frac{R_A}{X}\right) U_A \quad (1)$$

Направим вектор напряжения фазы А источника по оси действительных ($U_A = U_{\text{д}}$). При неизменных по величине U_A и X уравнение (1) представляет собой линейную зависимость U_N от R_A , откуда видно, что вектор U_N при принятых условиях также совпадает с осью действительных.

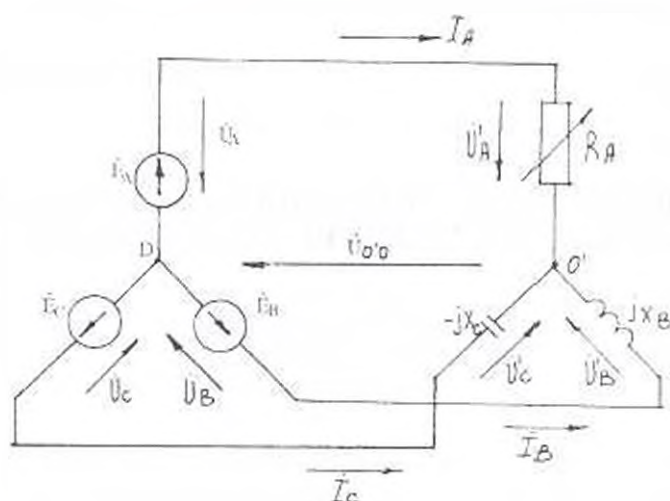


Рис. 1

Фазные напряжения нагрузки определяются в виде

$$\begin{cases} \underline{U}'_A = \sqrt{3} \frac{R_A}{X} \underline{U}_A, \\ \underline{U}'_B = \left(-\frac{3}{2} + \sqrt{3} \frac{R_A}{X} \right) \underline{U}_A - j \frac{\sqrt{3}}{2} \underline{U}_A, \\ \underline{U}'_C = \left(-\frac{3}{2} + \sqrt{3} \frac{R_A}{X} \right) \underline{U}_A + j \frac{\sqrt{3}}{2} \underline{U}_A. \end{cases} \quad (2)$$

где $\underline{U}_A$, $\underline{U}_B = a \underline{U}_A$ и $\underline{U}_C = a^2 \underline{U}_A$ - фазные напряжения источника, представляющие симметричную систему; $a = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}$ - фазный множитель трехфазной системы.

Токи в фазах имеют вид

$$\begin{cases} I_A = \sqrt{3} \frac{U_A}{X}, \\ I_B = -\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{U_A}{X} + j \left(\frac{3}{2X} - \sqrt{3} \frac{R_A}{X^2} \right) \underline{U}_A, \\ I_C = -\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{U_A}{X} - j \left(\frac{3}{2X} - \sqrt{3} \frac{R_A}{X^2} \right) \underline{U}_A. \end{cases} \quad (3)$$

Как видно из системы уравнений (2), вектор $\underline{U}'_A$ при одних и тех же условиях линейно зависит от R_A и направлен по оси действительных величин. При этом напряжения $\underline{U}'_B$ и $\underline{U}'_C$ представляются комплексно-сопряженными векторами с постоянными коэффициентами линейно зависимой от R_A мнимой и

действительной частей. Геометрические места концов векторов $\underline{U}_A$ и $\underline{U}_C$ - прямые, параллельные оси действительных на расстоянии $\pm 3/2$ от нее.

Ток фазы А при этом остается неизменным по величине, независимо от R_A , токи $\underline{I}_B$ и $\underline{I}_C$ представляются комплексно-сопряженными векторами с постоянными коэффициентами действительной и линейно зависящей от R_A мнимой частей. Геометрические места концов векторов $\underline{I}_B$ и $\underline{I}_C$ - прямые, параллельные оси мнимых на расстоянии $\sqrt{3}U_A/2x$ от нее.

Разложив несимметричную систему напряжений $\underline{U}_A$, $\underline{U}_B$ и $\underline{U}_C$ токов $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ на симметричные составляющие, получим

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_A, \quad \underline{U}_2 = 0, \quad \underline{U}_0 = -\underline{U}_A \left(1 - \sqrt{3} \frac{R_A}{X} \right), \quad (4)$$

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_A}{X} R_A, \quad \underline{I}_2 = -\frac{\underline{U}_A}{X} R_A + \frac{\sqrt{3}}{X} \underline{U}_A, \quad \underline{I}_0 = 0. \quad (5)$$

Из выражений (1), (4), и (5) следует:

- напряжение $\underline{U}_N$ совпадает по фазе с $\underline{U}_A$ при $0 \leq R_A < \sqrt{3}x/3$, $R_A = \sqrt{3}X/3$, $\underline{U}_N = 0$, если же $R_A > \sqrt{3}X/3$, напряжение $\underline{U}_N$ находится в противофазе с $\underline{U}_A$.

- составляющие прямой последовательности $\underline{U}_1$ и $\underline{I}_1$ совпадают по фазе с вектором $\underline{U}_A$, независимо от величины R_A ;

- вектор напряжения нулевой последовательности равен по модулю вектору $\underline{U}_N$ и противоположен ему по фазе;

- при $R_A = 0$ фазные токи представляют собой систему обратной последовательности ($\underline{I}_1 = 0$, $\underline{I}_2 = \sqrt{3}\underline{U}_A/x$); при этом фазные напряжения нагрузки равны $\underline{U}_A = 0$, $\underline{U}_B = \sqrt{3}\underline{U}_A \exp(-j150^\circ)$, $\underline{U}_C = \sqrt{3}\underline{U}_A \exp(j150^\circ)$;

- при $R_A = \sqrt{3}X$ система фазных токов симметричная ($\underline{I}_A = \underline{I}_1$, $\underline{I}_2 = 0$); при этом фазные напряжения нагрузки несимметричны;

- вектор тока $\underline{I}_1$ при $0 \leq R_A < \sqrt{3}X$ совпадает по фазе с вектором $\underline{U}_A$, а при $R_A > \sqrt{3}X$ находится в противофазе с ним;

- зависимости $\underline{I}_1(R_A)$ и $\underline{I}_2(R_A)$ линейные;

- при разрыве цепи R_A ($R_A = \infty$) условие постоянства тока $\underline{I}_A$ нарушается, наступает резонанс напряжений в цепи $L-C$.

Зависимости симметричных составляющих и полных значений напряжения и тока для фазы А от относительного сопротивления $R_A = R_A/X$ (при постоянных значениях $\underline{U}_A$ и X) приведены на рис.2 и 3. В табл. приведены результаты расчета примера при

значениях $U_0 = 220$ В, $X = 50$ Ом и дискретном изменении R_A от 0 до $R_A = \sqrt{3}X = 86,6$ Ом.

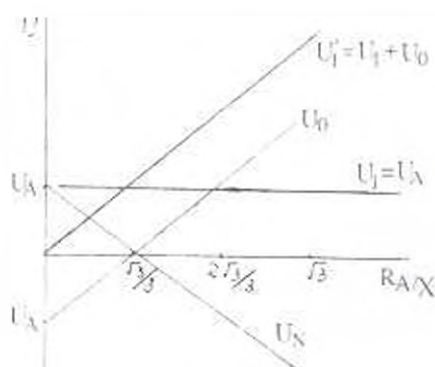


Рис. 2

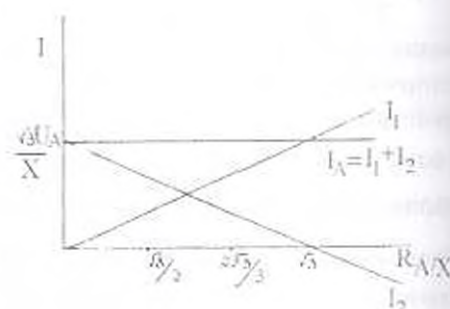


Рис. 3

Приведенные выражения и зависимости показывают возможность изменения в широком диапазоне режимных параметров рассматриваемой схемы. Схема может быть использована в системах автоматики, регулирования и в сварочном производстве при соответствующих блокировках, исключающих чрезмерные перенапряжения.

Таблица

R_A Ом	U_0 В	U_2 В	U_0 В	U_2 В	I_A А	I_0 А	I_2 А	U_0 В	U_2 В	U_A В
0	220	0	$380 \times$ $\exp(-j150^\circ)$	$380 \times$ $\exp(j150^\circ)$	7,62	$7,62 \times$ $\exp(-j240^\circ)$	$7,62 \times$ $\exp(j240^\circ)$	220	0	-220
10	144	76	$317 \times$ $\exp(-j143^\circ)$	$317 \times$ $\exp(j143^\circ)$	7,62	$6,34 \times$ $\exp(-j233^\circ)$	$6,34 \times$ $\exp(j233^\circ)$	220	0	-144
29	0	220	$220 \times$ $\exp(-j120^\circ)$	$220 \times$ $\exp(j120^\circ)$	7,62	$4,4 \times$ $\exp(-j210^\circ)$	$4,4 \times$ $\exp(j210^\circ)$	220	0	0
43,3	-110	330	$190,5 \times$ $\exp(-j90^\circ)$	$190,5 \times$ $\exp(j90^\circ)$	7,62	$3,8 \times$ $\exp(-j180^\circ)$	$3,8 \times$ $\exp(j180^\circ)$	220	0	110
50	-160	380	$197 \times$ $\exp(-j75^\circ)$	$197 \times$ $\exp(j75^\circ)$	7,62	$3,94 \times$ $\exp(-j165^\circ)$	$3,94 \times$ $\exp(j165^\circ)$	220	0	160
57,9	-220	440	$220 \times$ $\exp(-j60^\circ)$	$220 \times$ $\exp(j60^\circ)$	7,62	$4,4 \times$ $\exp(-j150^\circ)$	$4,4 \times$ $\exp(j150^\circ)$	220	0	220
86,6	-440	660	$380 \times$ $\exp(-j30^\circ)$	$380 \times$ $\exp(j30^\circ)$	7,62	$7,62 \times$ $\exp(-j120^\circ)$	$7,62 \times$ $\exp(j120^\circ)$	220	0	440

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 440 с.
2. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 528 с.

ГИУА

20.10.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LII, № 1, 1999, с. 131-133

УДК 389:658.56

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

З.А. БАБАЯН

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНВЕЙЕР ДЛЯ ПОЛИРОВКИ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПЛИТ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЛЕСКОМЕРА НИИКС БМ-3

Փայլաչափի ստեղծումը կնքարավոր դարձրեց ողորկող-իզկող հաստացի հիմքի վրա սալիկների ողորկման ավտոմատացված հասարային գծի նախագծումը, որը թույլ է տալիս սալիկների ողորկման-իզկման գործընթացը և նրանց մակերևույթի որակի վերսկսումն իրադրել ավտոմատացված Անուի հերված 1 ավտոմատացված հոսարային գծի (նկ.) կառուցվածքի և գործողության սկզբունքի նկարագրությունը:

Разработан автоматизированный конвейер для полировки плит на базе шлифовально-полировального станка, позволяющего выполнять процесс шлифовки - полировки плит и обеспечить контроль качества их поверхности в автоматизированном режиме. Дано описание конструкции и предложен принцип действия автоматизированного конвейера (рис.) [1]

Ил. 1. Библиогр. 1 назв.

With the advent of the lustremeter the development of an automated conveyor made it possible to polish slabs on the grinding-polishing machine permitting to conduct the grinding-polishing process for the slabs and control of their surface quality in automated conditions. The description of the construction is given and the automated conveyor principle is proposed.

Ил. 1, Ref 1.

С созданием блескомера стала возможной разработка автоматизированного конвейера для полировки плит на базе шлифовально-полировального станка, позволяющего выполнять процесс шлифовки-полировки плит в автоматизированном режиме и контролировать степень полированности с помощью блескомера НИИКС БМ-3 [1].

В комплект оборудования шлифовально-полировального конвейера в условиях непрерывно-конвейерной обработки входят: транспортер с приводом, шлифовальные и полировальные рабочие головки с линией сжатого воздуха и системой для очистки поверхности плит, а также приемник-накопитель готовой продукции. Автоматизированный контроль качества полированности

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 440 с.
2. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 528 с.

ГИУА

20.10.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LII, № 1, 1999, с. 131-133

УДК 389:658.56

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

З.А. БАБАЯН

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНВЕЙЕР ДЛЯ ПОЛИРОВКИ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПЛИТ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЛЕСКОМЕРА НИИКС БМ-3

Փայլաչափի ստեղծումը կնքարավոր դարձրեց ողորկող-իզկող հաստոցի հիմքի վրա սալիկների ողորկման ավտոմատացված հասարային գծի նախագծումը, որը թույլ է տալիս սալիկների ողորկման-իզկման գործընթացը և նրանց մակերևույթի որակի վերսկսումն իրադրել ավտոմատացված Անուի Բերված I ավտոմատացված հոսարային գծի (նկ.) կառուցվածքի և գործողության սկզբունքի նկարագրությունը:

Разработан автоматизированный конвейер для полировки плит на базе шлифовально-полировального станка, позволяющего выполнять процесс шлифовки - полировки плит и обеспечить контроль качества их поверхности в автоматизированном режиме. Дано описание конструкции и предложен принцип действия автоматизированного конвейера (рис.) [1]

Ил. 1. Библиогр. 1 назв.

With the advent of the lustremeter the development of an automated conveyor made it possible to polish slabs on the grinding-polishing machine permitting to conduct the grinding-polishing process for the slabs and control of their surface quality in automated conditions. The description of the construction is given and the automated conveyor principle is proposed.

Ил. 1, Ref 1.

С созданием блескомера стала возможной разработка автоматизированного конвейера для полировки плит на базе шлифовально-полировального станка, позволяющего выполнять процесс шлифовки-полировки плит в автоматизированном режиме и контролировать степень полированности с помощью блескомера НИИКС БМ-3 [1].

В комплект оборудования шлифовально-полировального конвейера в условиях непрерывно-конвейерной обработки входят: транспортер с приводом, шлифовальные и полировальные рабочие головки с линией сжатого воздуха и системой для очистки поверхности плит, а также приемник-накопитель готовой продукции. Автоматизированный контроль качества полированности

поверхности плит на конвейере целесообразно производить бесконтактным способом. Это позволит останавливать конвейер при полировании для проведения контрольных измерений.

Средством измерений в данном случае может служить специально приспособленный для этой цели блескомер НИИКС БМ-3 с гониофотометрическими датчиками. Такой блескомер может определять степень полированности поверхности по отражению рассеянного света. Над транспортером должны быть установлены оптические датчики этого блескомера. Схема расположения оптических датчиков блескомера над транспортером "шахматная", что позволяет полностью перекрыть максимальную ширину заготовки, обрабатываемой на конвейерном станке.

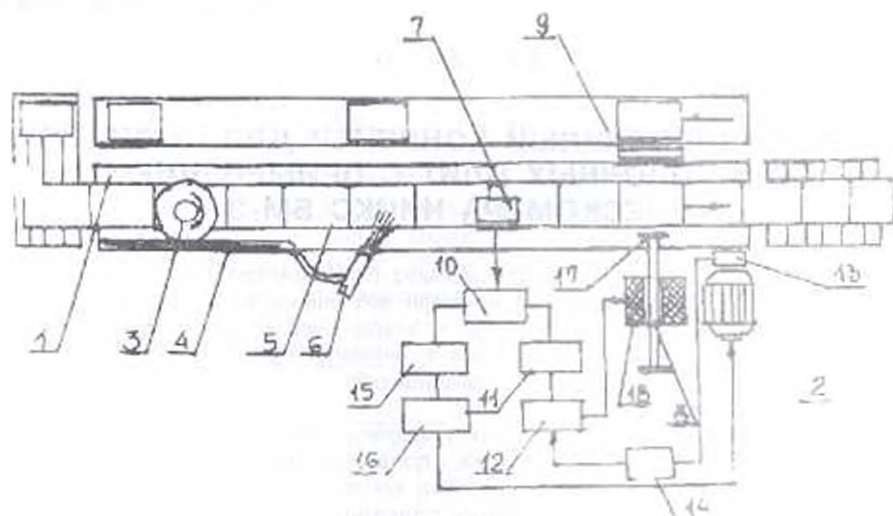


Рис. Принципиальная блок-схема автоматизированного конвейера для полировки облицовочных плит

Блескомер связан с "толкателем брака", т.е. устройством для вывода бракованных плит из зоны обработки и возврата их на повторную полировку; "толкатель" выполнен из металлического стержня с плоским основанием, проходящим через электромагнит. Конвейер работает следующим образом (рис.): облицовочные плиты 5 подлежащие шлифовке - полировке, укладываются на транспортер 1 и перемещаются в зону обработки под шлифовальные и полировальные головки 3 (на схеме показана одна такая головка из самом деле их 8). Рабочие головки, снабженные соответствующим шлифовальным и полировальным инструментом, производят последовательную обработку лицевой поверхности плиты, в результате чего она приобретает зеркальную (полированную) фактуру. Затем поверхность плит очищают струей сжатого воздуха, подаваемого через сопло 6 по воздухопроводу 4. Далее очищенная лицевая поверхность плиты проходит под световым банком оптических датчиков блескомера 7, управляющий сигнал от которого проходит через усилитель 10, систему импульсно-фазового управления 15 и тиристорный усилитель 16 и поступает на регулируемый привод 2 транспортера 1 для изменения скорости

движения транспортера в зависимости от качества полированной поверхности плит, полученного при помощи блескомера. Блескомер 7 связан с толкателем брака 8, который передвигает забракованную плиту 5 на дополнительный транспортер 9 с обратным движением. Происходит это следующим образом. Сигнал от блескомера поступает на усилитель 10, далее на пороговое устройство 11 и реле времени 12, которое подготавливает цепь и включает толкатель брака. Этот процесс происходит в то время, когда поступает сигнал с датчика скорости 13 через блок управления 14, в результате чего срабатывает магнит 18 с толкателем 8 (толкатель состоит из металлического стержня с плоским основанием 17). После передвигания бракованной плиты на дополнительном параллельном транспортере толкатель брака отключается. Таким образом, плита поступает на дополнительную полировку.

Характерной особенностью описанного оборудования является то, что при обработке на нем автоматически регулируется качество лицевой поверхности плит. При этом забракованное изделие на месте может быть переработано в качественное, т.е. создается бездефектная технология готовых плит. Естественно, что перед началом работы система автоматического регулирования как скорости движения транспортера, так и отбраковки плит должна быть отрегулирована по нижней границе минимально допустимого блеска полированной поверхности плит в зависимости от вида обрабатываемого камня.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бабаян З.А.** Методы повышения качества облицовочных плит из природного камня с разработкой методов и средств контроля: Дис. ... канд. техн. наук / Грузинский техн. ун-т. - Ереван. 1990. - С. 61-63.

ЗАО "Камень и силикаты"

10.10.1997

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ ՈՒԹ Յ ՈՒՆ

Մանուկյան Ն.Վ., Աղբալյան Ս.Գ., Աղբալյան Ա.Ս., Ղազարյան Ա.Ն. Տաք արտամղմամբ ստացված փոքր տրամաչափի ալմաստային զայլիկոնների աշխատանակության հետազոտումը	3
Հովսեփյան Գ.Ս. Ջոդման եղանակի ազդեցությունը կարծր- համառվածքե կոորդ գործիքների որակի վրա	9
Սիմոնյան Ա.Մ., Վալեսյան Ս.Շ. Կոմպոզիտների պոլիմերիզացիայի ընթացքում ղեկավարվող ինքնամամլման համար կալակների կոնստրուկցիան	14
Անտոնյան Ա.Շ. Կապանի լեռնահարստացուցիչ կոմբինատի հարստացման գործընթացի էլքային պարամետրերի վրա ազդող մանրագրման պարամետրերի ինֆորմացիոն կարևորությունը	20
Կուզանյան Ա.Ս., Հարությունյան Ս.Ռ., Գյուլամիրյան Ա.Լ., Հովհաննիսյան Կ.Լ. $CuNdAlO_4$ տակդիրների վրա Bi պարունակող բարձրքանակապիտանային գերհաղորդիչ թաղանթների սինթեզումը	24
Ղուկոյան Լ.Տ., Մելիքյան Գ.Պ. Կարծր վառելիքների ոգտագործման արդյունավետության չափանիշները և հաշվարկային տրամաբանական սխեմաները	28
Ղազարյան Է.Վ., Համբարյան Վ.Կ., Ղազարյան Գ.Ա., Վրթանեսյան Կ.Գ., Ղազարյան Դ.Է. Ջրատարացուցիչ սարքերի արեզակնային էներգիայի կոնկտորների բնութագրերի պարամետրերի օպտիմալացում	33
Խաչատրյան Կ.Վ. Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված ռեժիմի ոչ գծային հանրահաշվական հավասարումների համակարգի լուծումը Նյուտոն-Ռաֆսոնի մեթոդով	38
Կարիմյան Ա.Ս. Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի թույլտրելի կայունացված ռեժիմի հաշվարկը Y տեսքով ցանցի վիճակում	43
Այվազյան Ռ.Ս. Խտալիզային ձեռքաթորման (կրեկինգ) թելան պալատային (զուգային) (ԿԿԹԿ) պարունակող փորձնական դիզեյնային վառելանյութի ստեղծային փորձարկումները	50
Մինասյան Ս.Ա. Էլեկտրական բեռի գրաֆիկների կարգավորմանը անդրադրեն մասնակցող ՁԷԿ-երի վառելիքի սեռակարար ծախսի հաշվման մեթոդիկան	55
Արեշյան Գ.Լ., Աստվածատրյան Ս.Ե. Անցումային սրբոցները ֆերիտային կերպավորիչում մուտքի նմանակի ազդանշանի լավորթեանական - իմպուլսային կերպավորիման ռեժիմում	59
Մովսիսյան Վ.Մ. Ռեզոնանսային սիսլի երկրորդային էլեկտրոնման աղյուսի ելքային լարման կայունացման համակարգի նախագծում	66
Կիրակոսյան Գ.Հ., Համբարյան Ա.Ռ., Հակոբյան Ա.Ռ., Շաբոյան Ա.Ս. Ուժային տրանզիտորների կոլեկտուրային տիրույթում ոչ հիմնական լիզրակիրների կանսի սնտոությունը	70

Մկրտչյան Ս.Տ., Նազարյան Կ.Մ. Կառավարվող զրաւան և բացասական կշիռներով ֆորմալ նեյրոնի իրագործումը ԿՄԳԿ տրանզիստորներով	76
Քրուտյան Վ.Կ., Բաղալյան Ա.Ռ. Տալաձական պարամետրերով գծային հասակարգերի մոդալ կառավարումը	81
Սիմոնյան Ս.Տ., Ավետիսյան Ա.Գ. Ոչ ավտոնոմ մատրիցների որոշիչի հաշվումը ԴԹ-ֆորմալիզմի հիման վրա	88
Բարսեղյան Վ.Ռ. Տիեզերական սարքերի օպտիմալ պատասխանի ղեկավարումը	94
Մխիթարյան Վ.Ա. Կառավարման դինամիկ մոդելների օպտիմալ լուծման ալգորիթմներ	101
Սիմոնյան Ռ.Տ., Վեզիրյան Է.Գ., Մարտիրոսյան Օ.Ա. Ինֆրակալմիր տիրույթի ելկարուսթյան ընդունիչ սարքերը տրամաշավող հարմարումք	107
Սարգսյան Վ.Ս., Բաբայան Ա.Ռ., Սարգսյան Ս.Վ. Ջրատար ինրիգոնից ստորեկերյա ջրերի արտամղումով պայմանավորված ձնշումային-ուչ ձնշումային շարժման մոսին	110
Միրզախանյան Ռ.Մ., Գյուլզադյան Ա.Ա. Փոփոխական կտրվածքի ապաբասների հաշվման եղանակ՝ տեխնոլոգիական զործընթացների իրականացման համար	114
Աշխյանց Է.Պ. Խողովակաշարում ձնշման անկման որոշումը անալիտիկ եղանակով պոմպի շարժիչի հոսանքազրկման ժամանակ	119
Բարսեղյան Է.Վ. Լայնա-խմպուլասային մոդայման ուեծիմում լարման կերպախիլիսի ղեկավարման եղանակ	124
Շահնազարյան Յու.Մ., Թումանյան Ռ.Գ. Եռաֆազ շղթայի սիմետրիկ բաղադրիչները՝ ֆազերից մեկի հոսունքի կայունացման ղեկարում	127
Բաբայան Զ.Ա. Երեսուպոտուման սալիկների փայլեցվածության արսումսող կոնվեյեր՝ ՆՎԿԱ-ԳԴ-3 փայլաչափիչի կիրառումով	131

СОДЕРЖАНИЕ

Манукян Н.В., Агбальян С.Г., Агбальян А.С., Казарян А.Н. Исследование работоспособности алмазных сверл малого диаметра, полученных экструзией	3
Овсепян Г.С. Влияние способов пайки на качество твердосплавного режущего инструмента	9
Симонян А.М., Валесян С.Ш. Конструкции оправок для регулируемого самопрессования композитов в процессе полимеризации	14
Антонян А.Ш. Оценка информационной важности параметров измельчения, характеризующих показатели обогащения Капанского горно-обогатительного комбината	20
Кузаныан А.С., Арутюнян С.Р., Гюламирян А.Л., Ованесян К.Л. Синтез Вt-содержащих высокотемпературных сверхпроводящих пленок на подложках CaNdAlO_4	24
Кулоян Л.Т., Меликян Г.П. Критерии эффективности использования твердых горючих и расчетные логические схемы	28
Казарян Э.В., Амбарян В.К., Казарян Г.А., Вртанесян К.Г., Казарян Д.Э. Оптимизация параметров характеристик коллектора солнечной энергии для водонагревательных установок	33
Хачатрян К.В. К решению системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима электро-энергетических систем методом Ньютона-Рафсона	38
Каримян А.С. Расчет допустимого установившегося режима электроэнергетической системы при Y-форме задания состояния сети	43
Айвазян Р.С. Результаты испытаний опытного дизельного топлива, содержащего легкий газойль каталитического крекинга (ЛГКК)	50
Минасян С.А. Методика расчета удельного расхода топлива на ТЭС, активно привлекаемых к регулированию графика электрических нагрузок	55
Арешян Г.Л., Аствацатрян С.Е. Динамические процессы в ферритовых преобразователях (ФП) в режиме преобразования аналогового сигнала в широтно-модулированный	59
Мовсесян В.М. Проектирование системы стабилизации выходного напряжения источников вторичного электропитания резонансного типа	66

Киракосян Г.Г., Амбарян А.Р., Акопян А.Р., Шабоян А.С. Время рекомбинации неосновных носителей тока в коллекторной области силовых транзисторов	70
Мкртчян С.О., Назарян К.М. Реализация формального нейрона управляемыми положительными и отрицательными весами с использованием КМОП транзисторов	76
Брутян В.К., Бадалян А.Р. Модальное управление линейных систем с распределенными параметрами	81
Симонян С.О., Аветисян А.Г. Вычисление определителей неавтономных матриц на основе ДТ-формализма	88
Барсегян В.Р. Оптимальное стохастическое управление сближением космических аппаратов	94
Мхитарян В.А. Алгоритмы оптимизации в динамических моделях управления	101
Симонян Р.А., Везирян Э.Г., Мартиросян О.А. Калибрующее устройство для приемников излучения инфракрасного диапазона	107
Саркисян В.С., Бабаян А.Р., Саркисян С.В. О напорно-безнапорном движении при откачке подземных вод из водоносных горизонтов	110
Мирзаханян Р.М., Гюльзаян А.А. Методика расчета аппаратов переменного сечения для осуществления в них технологических процессов	114
Ащиянц Э.П. Аналитический метод определения понижения давления в трубопроводе насосной установки при потере привода насоса	119
Барсегян Э.В. Способ управления инвертором напряжения в режиме широтно-импульсной модуляции	124
Шахназарян Ю.М., Туманян Р.Г. Симметричные составляющие трехфазной цепи при стабилизации тока в одной из фаз	127
Бабаян Э.А. Автоматизированный конвейер для полировки облицовочных плит с применением блескомера НИИКС БМ-3	131

CONTENTS

Manoukyan N.V., Aghbalyan S.G., Aghbalyan A.S., Ghazaryan A.N. Study of Small Sized Diamond Drill Efficiency Obtained by Extrusion	3
Hovsepyan G.S. The Effect of Soldering Methods on the Quality of Hard Alloy Cutting Tool	9
Simonyan A.M., Valesyan S.Sh. Construction Rims for Regulating Self-Pression of Composites During Polymerization	14
Antonyan A.Sh. Information Significance Assessment of Grinding Parameters Characterizing Kapan Mine Enrichment Plant Indices	20
Kuzanyan A.S., Harutunyan S.R., Gyulamiryan A.L., Hovhanessyan K.L. Bi-Containing High-Temperature Superconducting Film Synthesis on CaNdAlO_4 Substrates	24
Ghouloyan L.T., Melikyan G.P. Solid Fuel Usage Efficiency Criteria	28
Kazaryan E.V., Hambaryan V.K., Kazaryan G.A., Vrtanessyan K.G., Kazaryan D.E. Solar Energy Collector Parameter Optimization for Water Heaters	33
Khachatryan K.V. Simultaneous Nonlinear Algebraic Equation Solution in Steady-State Conditions for Electric Power Systems by Newton-Rafson Method	38
Karimyan A.S. Admissible Steady-State Conditions Design in Electric Power System with Y-form Network State	43
Ayvazyan R.S. Results of Pilot Diesel Fuel Tests Containing Light Gas Oil for Catalytic Cracking	50
Minassyan S.A. Design Procedures of Specific Fuel Consumption at Thermoelectric Plants Actively Included in the Electric Loading Mode Control	55
Areshyan G.L., Astvatsatryan S.E. Dynamic Processes in Ferrite Converters in Analogue Signal Conversion to Pulse-Width Modulation Conditions	59
Movsessyan W.M. Design for Resonant Invertor-Based Power Supply Output Voltage Stabilization System	66
Kirakossyan G.G., Hambaryan A.R., Hakobyan A.R., Shaboyan A.S. Charge Carrier Recombination Time in Transistor Collector Zone	70
Mkrtchyan S.H., Nazaryan K.M. Formal Neuron Implementation Problems with Controlled Input Weights by CMOS Transistors	76

Broutyan V.K., Badalyan A.K. Linear Modal Control with Distributed Parameter Systems	8 1
Simonyan S.H., Avetissyan A.G. Nonautonomous Matrix Determinant Computation Based on DT-Transforms	8 8
Barseghyan V.R. Optimal Stochastic Control by Space Aircraft Approachment	9 4
Mkhitaryan V.A. Optimization Algorithms in Dynamic Control Models ..	1 0 1
Simonyan R.H., Veziryan E.G., Martirosyan O.A. Calibrating Device for Infrared Range Detectors	1 0 7
Sarkissyan V.S., Babayan A.R., Sarkissyan S.V. Head— Head Free Movement During Groundwater Pumping-Out	1 1 0
Mirzakhanyan R.M., Gyulzadyan A.A. Method of Variable Section Apparatus Calculation for Technological Process Realization	1 1 4
Ashchiyants E.P. Analytical Method of Pressure Reduction Determination in Pumping Plant Pipeline with Power Pump Loss	1 1 9
Barseghyan E.V. Voltage Inverter Controlling Method in Pulse-Width Modulation Conditions	1 2 4
Shakhnazaryan Yu.M., Tumanyan R.G. Symmetric Components of the Three-Phased Circuit in Case of Stabilizing the One-Phase Current	1 2 7
Babayan Z.A. Automatic Conveyor for Polishing Slabs Applying NIKS MB-3 Lustrometer	1 3 1