

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Журнал издаётся с 1947 г.
Выходит 6 раз в год на русском языке

Կ Ր Ա Յ Ր Ա Կ Ա Ն Կ Ո Ւ Ն Ր ՈՒ

Կասյան Մ. Վ. (պատ. խմբագր.), Աղանց Հ. Ն. (պատ. խմբագր. տեղակալ),
Ալեքսեևսկի Վ. Վ., **Անանյան Ա. Կ.**, Զաղոյան Մ. Ա., Հակոբյան Ռ. Ա.,
Սարգսյան Յու. Հ., Ստակյան Մ. Գ., Տեր-Ազարե Ի. Ա.,
Փինաջյան Վ. Վ. (պատ. խմբագր. տեղակալ),
Գլխավորմամբ ընդհանուր խմբագրական ջ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (ответ. редактор), Агланц Г. Т. (зам. ответ. редактора),
Алексеевский В. В., **Ананян А. К.**, Ахопян Г. Е., Зайоян М. А.,
Пинаджян В. В. (зам. ответ. редактора), Саркисен Н. А.,
Спакян М. Г., Тер-Азарьян Н. А.
Ответственный секретарь Степанян З. К.

ФАДЕЙ ТАЧАТОВИЧ САРКИСЯН (к шестидесятилетию со дня рождения)

18 сентября 1983 г. исполнилось шестьдесят лет со дня рождения академика АН Арм. ССР Фадея Тачатовича Саркисяна. Ф. Т. Саркисян родился в г. Ереване в 1923 г. В 1946 г. после окончания Ленинградской Военной академии связи им. С. М. Буденного он работал на различных руководящих должностях в системе министерства обороны СССР. В феврале 1963 г. Ф. Т. Саркисян назначается главным инженером, а затем директором Ереванского научно-исследовательского института математических машин.

Под его руководством в институте были проведены крупные организационные, научно-технические и производственные мероприятия, направленные на определение тематики института, повышение качества разработок и наращивание мощностей. Этим самым было положено начало новому этапу в росте и развитии ЕрНИИММ, который стал одним из крупнейших центров в стране в области создания электронных вычислительных машин (ЭВМ), комплексов и автоматизированных систем управления (АСУ). За короткое время в ЕрНИИММ были разработаны ЭВМ второго поколения: «Масис»; «Аракс»; «Раздан-3»; «Дини»; «Маршрут» и другие.

Талант ученого-руководителя и организатора Ф. Т. Саркисяна особенно проявился при создании в ЕрНИИММ семейства малых машин «Наири», нашедших широкое применение в народном хозяйстве страны, которые получили признание потребителей, неоднократно экспонировались на международных выставках и удостоивались высоких наград. За научный вклад и разработку новых принципов построения ЭВМ семейства «Наири» и их внедрение Саркисяну Ф. Т. присуждена Государственная премия СССР.

В 1969 г. Советским правительством было принято решение о создании Единой системы электронных вычислительных машин (ЕС



ЭВМ), и ЕрНИИММ была поручена почетная и трудная задача—разработка одной из моделей ЭВМ ЕС—ЭВМ ЕС-1030 («Ряд-1»), а в дальнейшем и ЭВМ ЕС-1045 («Ряд-2»). Под руководством Ф. Т. Саркисяна институт с честью выполнил эту задачу. ЭВМ семейства ЕС, разработанные ЕрНИИММ, экспортировались во многие страны, на международных ярмарках и выставках были награждены золотыми медалями и дипломами.

За разработку вычислительного комплекса системы «Марс», предназначенной для автоматизации управления производством на крупносерийных заводах, Ф. Т. Саркисян награжден Государственной премией Украинской ССР.

Наряду с достижениями в области создания средств вычислительной техники по личной инициативе Фадея Тачатовича и при непосредственном его руководстве коллектив института приступил к разработке нового направления по созданию больших АСУ. Являясь главным конструктором двух крупных разработок, он внес большой вклад в исследование теоретических основ АСУ. После завершения этих работ Ф. Т. Саркисяну была присуждена вторая Государственная премия СССР.

Ф. Т. Саркисян известен в стране как крупный специалист в области вычислительной техники и АСУ; он—автор более 70 научных работ по вопросам проектирования ЭВМ, автоматизированных систем, а также надежности и экономической эффективности ЭВМ. В 1968 г. он успешно защитил кандидатскую диссертацию, а в 1975 г.—докторскую. В 1972 г. Ф. Т. Саркисян избран членом-корреспондентом, а в 1977 г.—действительным членом АН Арм. ССР.

Много сил и энергии Фадей Тачатович отдавал делу подготовки и воспитания высококвалифицированных специалистов. Под его руководством и при его непосредственном участии свыше 80 ведущих специалистов успешно защитили кандидатские диссертации. Ф. Т. Саркисян неоднократно в составе Советских делегаций представлял отечественную науку и технику во многих странах.

За большие заслуги в деле создания и применения современных средства вычислительной техники Ф. Т. Саркисян награжден орденами Ленина, Октябрьской революции, Трудового Красного Знамени, медалями, Почетными грамотами и дипломами.

Свою научно-организаторскую деятельность Ф. Т. Саркисян сочетает с большой общественно-политической работой.

В 1977 г. Саркисян Ф. Т. был назначен Председателем Совета Министров Армянской ССР. На этом высоком посту с новой силой развернулись его незаурядные способности, неугасающая энергия, целенаправленность и настойчивость в постановке и решении задач, имеющих первостепенное значение для дальнейшего социального и экономического развития республики.

Ф. Т. Саркисян член КПСС с 1945 г. Избирался делегатом XXIII, XXV и XXVI съездов КПСС, а также депутатом Верховного Совета Арм. ССР и Верховного Совета СССР.

Мы знаем Фадея Тачаговича как отличного руководителя, талантливого организатора, сердечного товарища, строгого и справедливого, беззаветно преданного делу партии и народа государственного и общественного деятеля.

Свое шестидесятилетие Ф. Т. Саркисян встречает в расцвете таланта, полный новых творческих сил и замыслов. Пожелаем ему здоровья и дальнейших успехов в его плодотворной работе на благо нашей социалистической Родины.

М. А. СЕМЕРДЖИАН.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

И. И. ЯНКОВ, Г. Д. ПЕТРОСЯН, М. Г. СТАКЯН

ПОВЫШЕНИЕ ИЗГИБНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИНЫ
ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Высокая эффективность поверхностного пластического деформирования (ППД) для повышения изгибной выносливости деталей машины связана с благоприятным воздействием остаточных напряжений сжатия, глубина залегания которых, а также величина и характер их распределения по сечению детали зависят от многих факторов, действующих при упрочняющей обкатке шариками или роликами. Эффект повышения изгибной выносливости деталей машины при наличии высокой концентрации напряжений проявляется за счет торможения развития усталостных трещин [1].

В основе природы возникновения при ППД остаточных напряжений и повышения твердости металла лежат одни и те же процессы пластической деформации, поэтому можно предполагать, что между ними существует определенная связь. В настоящей работе изучен механизм упрочнения и разупрочнения металлов и на основе этого рассмотрено повышение изгибной выносливости деталей от вариации твердости при ППД.

Для получения качественного упрочнения ППД деталей машины необходимо учитывать способность металла к упрочнению, которая может быть оценена безразмерным показателем n из известной формулы Мейера, которая связывает усилие деформирования F с диаметром отпечатка d при статическом издавливании шарика:

$$F = na^2, \quad (1)$$

где a — коэффициент, зависящий от свойств металла и диаметра шарика $D_{ш}$. В тех случаях, когда упрочняющая обработка ППД является финишной операцией, а поверхность детали должна иметь максимальную твердость — $n \approx 2$. В этом случае формула (1) имеет вид:

$$F = a_m d^2, \quad (2)$$

$$a_m = \frac{a_1}{D_{ш}^{n-1}}, \quad (3)$$

где a_m — давление на шарик любого диаметра при пластическом отпечатке $d=1$ мм на полностью наклепанном металле; a — коэффициент, не зависящий от $D_{ш}$.

Из формулы (3) следует, что при полном наклепе должно соблюдаться условие $a_0 \approx a_m$. Для проверки этого положения использовали метод сжатия цилиндрических образцов с соотношением диаметра к высоте $D_0/H_0=0,5$ на пятидесятитонном прессе ГРМ-1. Результаты опытов для сталей 1Х18Н9Т и ШХ15 представлены на рис. 1, откуда видно, что характер изменения a_0 зависит от структуры испытываемых металлов:

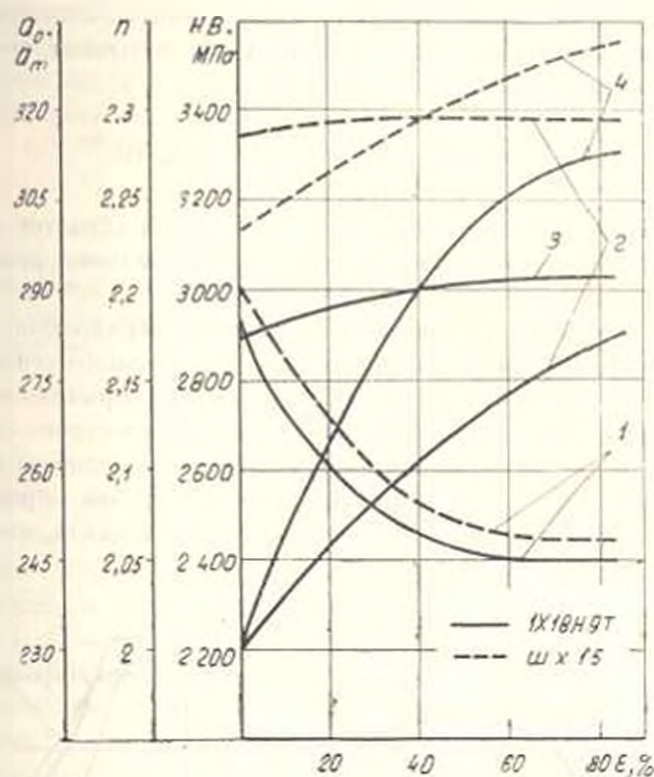


Рис. 1. Изменение показателей твердости в зависимости от относительной деформации сжатия δ : 1 — n ; 2 — a_0 ; 3 — a_m ; 4 — HB .

стали ферритно-перлитного класса, имеющие кубическую объемно-центрированную кристаллическую решетку, по сравнению со сталями аустенитного класса (гранецентрированная кристаллическая решетка) получили меньшее упрочнение. Для первых, в состоянии нормализации или термического улучшения величина a_0 практически остается постоянной, поэтому можно принять, что при полном наклепе $a_0 \approx a_m$. Для вторых величину a_m можно определить из выражения

$$a_m = a_0 \cdot 10^{0,4(a_0 - 230)} \quad (4)$$

Максимальная твердость поверхностного слоя после упрочнения по Мейеру с достаточным для практического применения приближением можно принять равной твердости по Бринеллю или Виккерсу $HM \approx HV \approx HB$ и следовательно

$$HM_{max} = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (5)$$

Согласно (2) и (5), окончательно получим:

$$HM_{\max} = \frac{4}{\pi} a_m. \quad (6)$$

Аналогично (6), для сталей ферритно-перлитного и аустенитного классов максимальную твердость поверхностного слоя, которая может быть достигнута при упрочнении ППД, рассчитывают, соответственно, по формулам:

$$HV_{\max} = \frac{4}{\pi} a_0; \quad HV_{\max} = \frac{4}{\pi} a_0 \cdot 10^{1,5(a-0,5)}. \quad (7)$$

На величину твердости поверхностного слоя и характер протекания упрочняющих процессов существенным образом влияют режимы обработки и геометрические параметры инструмента.

На рис. 2 показано изменение твердости поверхностного слоя образцов из стали 40 и 45 в зависимости от нормального усилия обкатывания шариком $D_{ш} = 10$ и 15 мм. С увеличением нормального усилия и после достижения максимума твердости поверхностного слоя, который соответствует расчетным значениям $HV_{\max}$, начинается процесс его разупрочнения при дальнейшем увеличении нагрузки происходит отслаивание переупрочненных и охрупченных зон металла, что вызывает падение твердости поверхностного слоя.

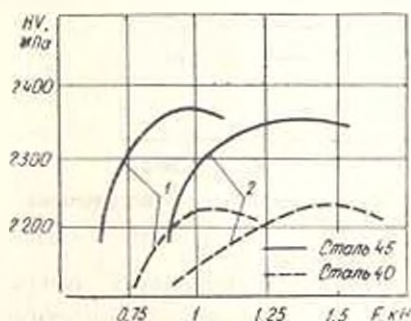


Рис. 2. Изменение поверхностной твердости в зависимости от нормального усилия обкатывания шариками: 1 — $D_{ш} = 10$ мм; 2 — $D_{ш} = 15$ мм.

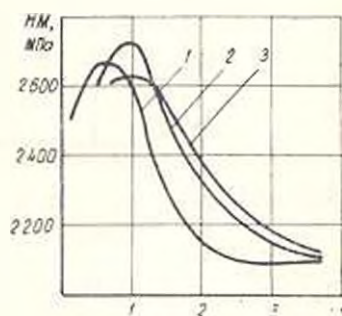


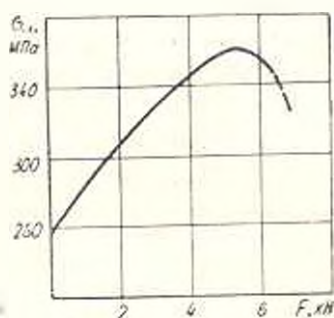
Рис. 3. Изменение твердости по глубине распространения пластической деформации и зависимости от усилия обкатывания роликом (контурный диаметр $D_{рл} = 30$ мм, профильный радиус $r = 1,25$ мм).

Из-за наличия градиента твердости в подповерхностных слоях по мере увеличения нормального усилия глубина распространения пластических деформаций возрастает и там же с некоторым сдвигом происходит повышение твердости до максимального значения и последующее ее снижение. На рис. 3 показано распределение твердости по глубине упрочненного слоя после обкатывания роликом образцов из стали 40Х диаметром 18 мм: после достижения максимальной твердости при уси-

лин обкатывания $F=5,2$ кН сопротивление деформированию возрастает за счет увеличения зоны максимального упрочнения и толщины поверхностно-упрочненного слоя. Анализ кривых на рис. 2, 3 показывает, что в трехмерном пространстве «глубина слоя — нормальное усилие — твердость» существует такое оптимальное сочетание параметров, при котором эффект упрочнения максимальный.

Таким образом, процесс упрочнения металлов ПВД состоит из двух периодов: а) достижения максимальной твердости на поверхности и б) упрочнения металла до максимальной твердости на определенной глубине упрочненного слоя.

Рис. 4. Изменение предела выносливости образцов из стали 40Х в зависимости от усилия обкатывания роликом (режимы упрочнения и инструмент аналогичны рис. 3).



В первый период упрочнения рост остаточных напряжений и твердости поверхностного слоя протекает синхронно. В дальнейшем, по мере увеличения усилия обкатывания твердость поверхностного слоя падает, а величина остаточных напряжений и ширина зоны их распространения растут. Изменение остаточных напряжений при этом носит возрастающе-убывающий характер [2] и имеет максимум на некоторой глубине пластического деформирования, которая зависит от усилия деформирования, параметров индентора, химического состава и механических свойств упрочненного материала. Твердость в этой области меняется аналогичным образом и наблюдается соответствие максимумов остаточных напряжений и сжатия и твердости, которое, в конечном итоге, может привести к повышению сопротивления усталости металла. Для подтверждения этого вывода проведены испытания тех же упрочненных образцов из стали 40Х на усталость при изгибе. Из рис. 4 видно, что изменение величины предела выносливости аналогично остальным показателям прочности: максимальное повышение составляет, примерно, 40% и это соответствует значению усилия деформирования, равному 5,2 кН.

Увеличение изгибной выносливости, обусловленное наличием остаточных напряжений сжатия и благоприятным комплексом свойств деформированного слоя, достигается за счет сопротивления поверхностных слоев материала зарождению усталостных трещин докритической длины и эффективного торможения трещины закритической длины в пределах зоны максимального упрочнения детали.

На основании проведенного исследования разработан технологический процесс упрочнения штоков штамповочных молотов диаметром

200 мм, изготовленных из стали 38ХНЗМФА, которые после термического улучшения приобретают при достаточной вязкости более высокую прочность, чем обычные конструкционные стали. Анализ долговечности этих штоков на Миномком заводе шестерен показал, что около 80% поломок имеют усталостный характер и являются следствием действия значительных перегрузок, превосходящих сопротивление штока разрушению. Применение ППД в сочетании с термической обработкой позволяет получить необходимую степень и глубину наклепа металла и остаточные сжимающие напряжения [3]. Процесс термообработки включает закалку и высокий отпуск, который обеспечивает получение сорбитной структуры стали и позволяет производить последующую чистовую токарную обработку.

Для обкатки штоков штамповочных молотов использовалось однороликовое приспособление с контурным диаметром ролика $D_{рх} = 105$ мм и профильным радиусом $r = 5$ мм.

Усиление обкалывания рассчитывали по формуле [4]:

$$F = k \cdot a_0 \cdot 0,8^x \cdot D_{пр}^{(2-0,5x)}, \quad (8)$$

где $D_{пр} = 30$ мм — приведенный диаметр ролика; $k = 0,7-0,8$ — коэффициент, учитывающий упрочку деформации металла. Для стали 38ХНЗМФА: $n = 2,15$; $a_0 = 218$.

Проведены сравнительные эксплуатационные испытания партий упроченных и неупроченных штоков и согласно методике [5] определены их долговечности (в часах). Математическая обработка результатов испытаний произведена согласно [6].

Учитывая неизбежное рассеяние долговечности, сопутствующее усталостным испытаниям и зависящее от условий работы и других неконтролируемых факторов, целесообразно для сравнительных эксплуатационных испытаний выявить вид эмпирической функции распределения, определив ее основные статистические характеристики. Для этого составлены алгоритм и программа вычислительных операций и задача реализована на ЭВМ ЕС 1020. Понесовые вычисления и графические построения показали, что опытные данные лучше всего описываются логарифмически нормальным законом распределения (рис. 5). Оценка принадлежности резко выделяющихся результатов к данной совокупности (для упроченных штоков — $x_{13} = x_{max} = \lg H_{max} = 2,9377$) произведена согласно критерию Романовского [6], для чего вычислены выборочное среднее значение $\bar{x}$ и среднеквадратическое отклонение s (без учета члена x_{max}) и проверено выполнение условия, при котором исключается или корректируется x_{max} :

$$\frac{x_{max} - \bar{x}}{s} > t_{\alpha}, \quad (9)$$

где t_{α} зависит от уровня доверительной вероятности P и числа степеней свободы $k = n - 1$ (n — число членов вариационного ряда). Для

нашего случая при $P = 95\%$ и $n = 14$ — $t_s = 2,2$, а $\frac{x_{\max} - \bar{x}}{s} = 3,36 > 2,2$; на рис. 5 показана корректировка члена x_{15} .

Как видно, опытные данные на логарифмически нормальной вероятностной бумаге удовлетворительно аппроксимируются прямой линией

$$x = \bar{x} + u \cdot s \quad (10)$$

(u — квантиль нормального распределения), которая и является эмпирической функцией распределения $\lg H$. Для расчетного подтверж-

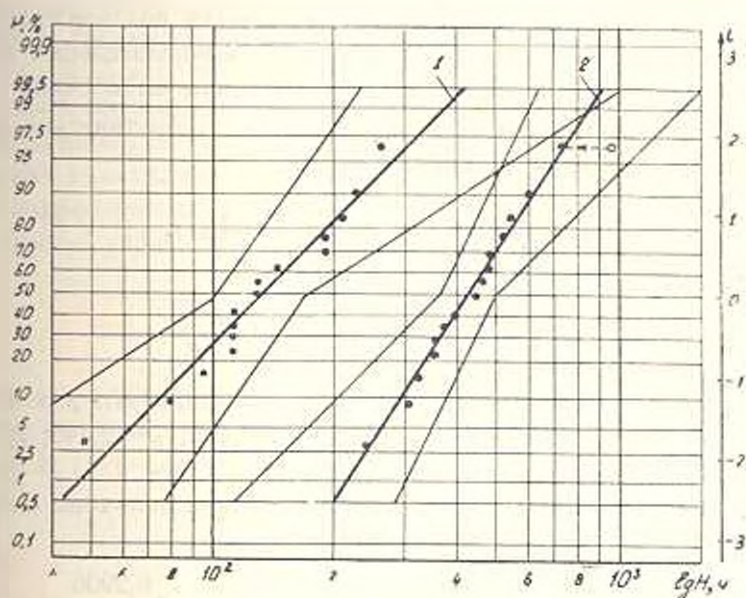


Рис. 5. Эмпирические функции распределения долговечностей и 95% ные доверительные границы: 1 — неупрочненные штоки; 2 — упрочненные штоки.

дения принадлежности вариационных рядов выбранному закону распределения (при $n < 25$) определены выборочные числовые характеристики:

$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$ — среднее значение; $s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$ — средне-

квадратическое отклонение; $A = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3}{ns^3}$, $E = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^4}{ns^4} - 3$ —

показатели асимметрии и эксцесса: $s_A = \sqrt{\frac{6(n+1)}{(n-1)(n+3)}}$,

$s_E = \sqrt{\frac{24(n-2)(n-3)n}{(n-1)^2(n+3)(n+5)}}$ — среднеквадратические отклонения

A и E , и проверено выполнение условий:

$$\left| \frac{A}{s_A} \right| < 3; \quad \left| \frac{E}{s_E} \right| < 3. \quad (11)$$

Результаты расчетов приведены в таблице.

Штоки	$\bar{x}$	s	A	E	s_A	s_E	$\left \frac{A}{s_A} \right $	$\left \frac{E}{s_E} \right $
Неупрочненные	2,1186	0,1907	-0,4217	0,3036	0,5401	0,8921	0,781	0,408
Упрочненные	2,6275	0,1259	-0,0763	-0,7972	0,5401	0,8921	0,142	0,894

Абсолютные значения A и E существенно не отличаются от их среднеквадратических отклонений s_A и s_E , поэтому гипотеза нормального распределения логарифмов долговечностей подтверждается.

Для повышения точности и надежности вычислительных операций необходимо определить доверительные интервалы выборочных характеристик $\bar{x}$ и s , внутри которых находятся их теоретические значения a и σ для генеральной совокупности:

$$\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} t_{\alpha, k} < a < \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} t_{\alpha, k};$$

$$sz_1 \sqrt{\frac{n-1}{n}} < \sigma < sz_2 \sqrt{\frac{n-1}{n}},$$
(12)

где $t_{\alpha, k}$, z_1 , z_2 — критерий Стьюдента и коэффициенты для заданного уровня P и $k = n - 1$ (при $P = 95\%$ и $k = 14$; $t_{\alpha, k} = 2,145$; $z_1 = 0,732$; $z_2 = 1,577$).

Для неупрочненных и упрочненных штоков получены следующие интервалы:

$$2,0129 < a_1 < 2,2243; \quad 0,1349 < \sigma_1 < 0,2906;$$

$$2,5578 < a_2 < 2,6972; \quad 0,089 < \sigma_2 < 0,1918.$$

Используя эти данные, на рис. 5 построены 95%-ные доверительные границы эмпирических функций распределения.

Для качественной оценки влияния эффекта упрочнения необходимо доказать, что сопоставимые вариационные ряды являются выборками из разных генеральных совокупностей, т. е. следует отвергнуть гипотезу равенства выборочных средних $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$ и их дисперсий s_1^2 и s_2^2 . Гипотезу равенства двух дисперсий производят с помощью дисперсионного отношения:

$$F = s_1^2/s_2^2 < F_{\alpha, k} (s_1^2 > s_2^2),$$
(13)

где $F_{\alpha, k}$ — табличное значение критерия, зависящее от P и $k_1 = n_1 - 1$, $k_2 = n_2 - 1$, (при $P = 95\%$, $k_1 = k_2 = 14$ — $F_{\alpha, k} = 2,49$).

Для нашего случая $F = 2,294 < 2,49$, т. е. подтверждается гипотеза равенства генеральных дисперсий $\sigma_1^2 \approx \sigma_2^2$. Тогда s_1^2 и s_2^2 объединяются в сводную дисперсию:

$$s^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}.$$

а гипотеза равенства выборочных средних проверяется расчетом критерия Стьюдента t и выполнении условия:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \leq t_{\alpha, k} \quad (14)$$

где $t_{\alpha, k}$ выбирается согласно P и $k = n_1 + n_2 - 2$ (при $P = 95\%$; $k = 28$; $t_{\alpha, k} = 2,048$). Для наших расчетов $s = 0,1616$, а $t_{\alpha, k} = 8,63 > 2,048$, т. е. гипотеза равенства $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ отвергается. Это означает, что имеем две нормальные распределенные генеральные совокупности с одинаковой дисперсией, но разными мат. ожиданиями, т. е. эффект упрочнения оказывает неслучайное и значимое влияние на циклическую долговечность штоков штамповочных молотов.

Проведенные статистические вычисления позволяют получать зависимости для количественной оценки эффекта упрочнения. Если ввести понятие коэффициента долговечности в виде отношения циклических долговечностей упрочненных и неупрочненных штоков:

$$k_n = \frac{H_{yn}}{H} \quad (15)$$

то, используя уравнение эмпирических функций распределения долговечностей, получим зависимость для определения средневероятностных значений $\bar{k}_n$ от вероятности разрушения $P(x)$:

$$\lg \bar{k}_n = \lg H_{yn} - \lg H - (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + u(s_1 - s_2)$$

или

$$\lg \bar{k}_n = \bar{\Delta x} + u \Delta s. \quad (16)$$

В нашем случае: $\lg \bar{k}_n = 0,5088 - 0,0648 u$.

При низкой вероятности разрушения ($P(x) = 0,5\%$, $u = -2,575$), представляющей интерес в расчетной практике проектирования оборудования — $\bar{k}_n = 4,74$, а 95% -ные доверительные границы — $3,66 < \bar{k}_n < 6,53$.

Использование соотношения (16) позволяет на этапе создания высокоэффективных технологических процессов, минуя дорогостоящие и трудоемкие натурные испытания, по результатам лишь исходной серии испытаний с заранее заданной вероятностью безотказной работы рассчитывать срок службы ответственных и тяжело нагруженных деталей машин подобного класса и прогнозировать ожидаемый экономический эффект от применения упрочняющей технологии.

ՄԵԲԵՆԱՆԵՐԻ ՄԱՍԵՐԻ ԵՌՄԱՆ ԴԻՄԱՑԿՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՈԱՐՁՐԱՑՈՒՄԸ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԱՅԻՆ ՊԼԱՍՏԻԿ ԳԵՖՈՐՄԱՑՄԱՍԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Ուսումնասիրված են ամրացնող պրոցեսները, որոնք ընթանում են մեքենաների մասերի մակերևույթային շերտերում, այդ շերտերը, հարթեցնող հոլովակով կամ ղեղիկով պլաստիկ ղեֆորմացիայից հետո 40X և 38X113MΦA մակնիշի պողպատների համար որոշված են ամրացնող տեխնոլոգիայի սեփմները, որոնց կիրառման դեպքում մակերևույթային շերտերի կարծրությունը առավելագույնն է և որոնք 40 % -ով մեծացնում են ծոման պիմացկունության սահմանը:

Կատարված են դրոշմիչների մխոցակոթերի համեմատական շահագործման փորձարկումներ, բացահայտված է երկարակեցության բաշխման օրենքը և ստացված է բանաձև, որով կարելի է հաշվարկել մակերևույթային պլաստիկ ղեֆորմացման ենթարկված մխոցակոթերի երկարակեցության տեղ համեմատականությունների առկայության հիման վրա:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кудрявцев Н. Н. Торможение развития усталостных трещин в сталях поверхностным наклепом. Металловедение и термическая обработка металлов, 1974, № 1, с. 40—45.
2. Шкальников А. М., Шахов В. П. Технология и приспособления для упрочнения и отделки деталей накатыванием. М. Машиностроение, 1964—184 с.
3. Кудрявцев Н. Н. Неразпространяющиеся усталостные трещины. М.: Машиностроение, 1982—171 с.
4. Александров Б. Н., Янков Н. Н., Ячов Н. Н. Повышение усталостной прочности деталей машин ИИД. Изв. АН БССР (сер. ТИ), 1977, № 3, с. 9—11.
5. Хазанов Н. Н., Мазалов В. В. Регенерация выносливости деталей машин с выработанным ресурсом методами поверхностного упрочнения. В кн.: Повышение прочности и долговечности деталей машин поверхностным пластическим деформированием. М., Машиностроение, 1970, с. 142—146.
6. Степков М. Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний. М.: Машиностроение, 1972—231 с.

ЭНЕРГЕТИКА

Л. Г. АГЕЖЯН

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТРЕХМАШИННОЙ
СХЕМЫ, ВКЛЮЧАЮЩЕЙ ПЕРЕДАЧУ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Одной из важнейших задач при исследовании режимов электро-энергетических систем (ЭЭС) является определение поведения ее элементов при авариях в системе и дальнейшей ее работе в послеаварийном режиме. Анализ динамической устойчивости ЭЭС без передачи постоянного тока (ПТТ) уже представляет собой сложную нелинейную задачу. С учетом ПТТ задача еще больше усложняется вследствие появления новых нелинейностей, связанных с режимом работы самой ПТТ.

В данной работе предлагается методика расчета и оценки динамической устойчивости ЭЭС с учетом ПТТ и разработанная на основе предлагаемого алгоритма программа, годная для использования на современных ЦВМ.

Для исследования динамической устойчивости ЭЭС, включающей ПТТ, используется трехмашинная схема (рис. 1), которая состоит из трех станций (ЭС1, ЭС2, и ЭС3), двухцепной высоковольтной передачи переменного тока (ЛЭП), ПТТ и нагрузок И2 и И3.

Схема замещения (рис. 2) составлена с учетом следующих допущений: а) электрические машины представляются э.д.с. за переходными реактансами; б) влияние регуляторов возбуждения и первичных двигателей не учитывается; в) активные сопротивления генераторов не учитываются.

Элементы схемы замещения (рис. 2) характеризуют: E_1, E_2, E_3 — э. д. с. генераторов за переходными сопротивлениями; X_1, X_2, X_3 — переходные реактансы соответствующих генераторов; $Z_{12} = Z_{21} + jX_{12}$, $Z_{23} = Z_{32} + jX_{23}$ — комплексные сопротивления ЛЭП, И2 и И3, соответственно; Y_{12} — половина емкостей проводимости ЛЭП; Y_{12} — проводимость компенсирующих устройств инвертора; Y_{11} — сумма половины емкостной проводимости ЛЭП и компенсирующих устройств выпрямителя. Выпрямительная и инверторная подстанции, как и сама ПТТ, замещаются источниками тока I_B и I_H .

В качестве возмущения рассматривается трехфазное КЗ в начале ЛЭП переменного тока вблизи от шин генератора ЭС1. При этом ПТТ автоматически отключается от работы, т. к. напряжение на шинах

выпрямителя снижается до нуля. Через $t = T_{\text{отс}}$ происходит отключение КЗ.

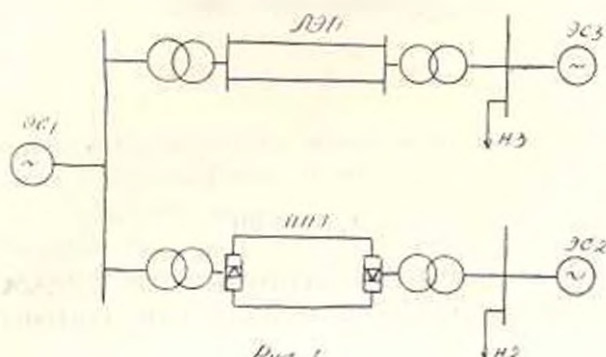


Рис. 1.

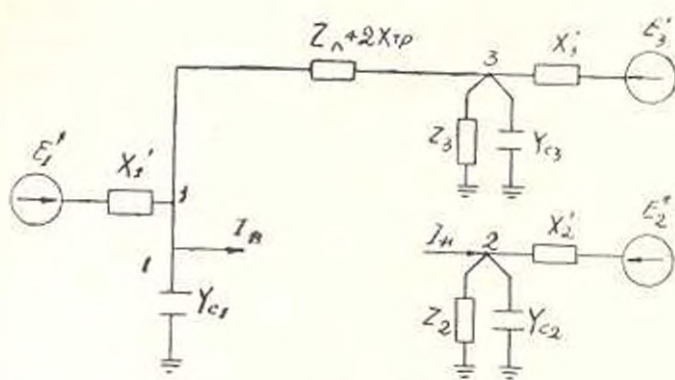


Рис. 2.

Для исследования переходных процессов требуется решить систему дифференциальных уравнений движения роторов генераторов:

$$\begin{cases} \frac{dS_m}{dt} = \frac{P_{0m} - P_{эм}}{T_{Jm}}; \\ S_m = \frac{d\theta_m}{dt}, \end{cases} \quad (1)$$

где S_m , θ_m , P_{0m} , $P_{эм}$ — скольжение, абсолютный угол, механическая и электрическая мощности m -го генератора; T_{Jm} — соответствующая постоянная инерции.

Электрические мощности, входящие в (1), определяются как:

$$P_{э1} = \frac{E_1 U_1}{X_1} \sin(\theta_1 - \varphi_1); \quad P_{э2} = \frac{E_2 U_2}{X_2} \sin(\theta_2 - \varphi_2);$$

$$P_{э3} = E_3^2 y_{33} \sin \alpha_{33} - U_1 E_3 y_{13} \sin(\varphi_1 - \theta_3 + \alpha_{13}),$$

где y_{13} — взаимная проводимость между узлами 1 и 3; y_{11} — собственная проводимость узла 3; α_{13} , α_{33} — соответствующие дополнительные углы проводимостей.

Таким образом, для расчета новых электрических мощностей на каждом интервале времени необходимо знать значения напряжений и углов, которые можно определить из системы нелинейных алгебраических уравнений, составленных на основе баланса токов в узлах 1, 2 и 3:

$$\begin{cases} (\dot{E}_1 - U_1) Y_1 - U_1 Y_{c1} - (\dot{U}_1 - U_2) Y_{12} - I_n = 0; \\ -U_2 (\dot{Y}_{c2} + Y_2) + (\dot{E}_2 - U_2) Y_2 + I_n = 0; \\ (\dot{U}_1 - U_2) Y_{12} - U_2 (\dot{Y}_{c3} + Y_3) + (\dot{E}_3 - U_2) Y_{13} = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} E_m &= E_m \angle \theta_m; & U_m &= U_m \angle \varphi_m; & m &= 1, 2, 3; \\ I_n &= K_1 I_d \angle \alpha_1; & I_n &= K_1 I_d \angle \alpha_2; & Y &= g - jb. \end{aligned}$$

Исключив из первого и третьего уравнений $\dot{U}_1$ после выделения действительных и мнимых частей получим:

$$\begin{aligned} U_1 \cos \varphi_1 + K_1 C d \cos (\omega_1 + \varphi_1) + d E_1 \cos (\theta_1 + \varphi_1) - \\ - b E_3 \cos (\theta_3 + \varphi_3) = 0; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} U_1 \sin \varphi_1 + K_1 C d \sin (\omega_1 + \varphi_1) - a E_1 \sin (\theta_1 + \varphi_1) - \\ - b E_3 \sin (\theta_3 + \varphi_3) = 0; \end{aligned} \quad (4)$$

$$U_1 \cos \varphi_2 - K_1 g l d \cos (\omega_2 + \varphi_2) - d E_2 \cos (\theta_2 + \varphi_2) = 0; \quad (5)$$

$$K_1 \sin \varphi_2 - K_1 g l d \sin (\omega_2 + \varphi_2) - d E_2 \sin (\theta_2 + \varphi_2) = 0. \quad (6)$$

где $d = d \angle \varphi_d$, $b = b \angle \varphi_b$, $C = C \angle \varphi_c$, $a = a \angle \varphi_a$, $g = g \angle \varphi_g$ — комплексные коэффициенты матрицы проводимостей, которые определяются следующим образом:

$$d = \frac{Y_1 (Y_3 + Y_2 + Y_{c3})}{(Y_1 + Y_2 + Y_{c1}) (Y_3 + Y_2 + Y_{c3}) - Y_1^2};$$

$$b = \frac{Y_3 Y_1}{(\dot{Y}_1 + Y_2 + Y_{c1}) (Y_3 + Y_1 + Y_{c3}) - Y_1^2};$$

$$C = \frac{Y_3 + Y_2 + Y_{c3}}{(\dot{Y}_1 + Y_2 + Y_{c1}) (Y_3 + Y_2 + Y_{c3}) - Y_1^2};$$

$$a = \frac{Y_2}{Y_2 + Y_{c2}}; \quad g = \frac{1}{Y_2 + Y_{c2}};$$

$$\dot{Y}_{c1} = \dot{Y}_{c2} + \dot{Y}_2; \quad \dot{Y}_{c3} = \dot{Y}_{c2} + \dot{Y}_2.$$



Для собственно ППТ можно записать следующие уравнения:

$$Ud_B = K_1 U_1 \cos \alpha - K_2 X_B Id; \quad (7)$$

$$Ud_H = K_1 U_2 \cos \delta - K_2 X_H Id; \quad (8)$$

$$Ud_B - Ud_H = Rd Id; \quad (9)$$

$$Ud_B = K_1 U_1 \cos (\varphi_1 - \omega_1); \quad (10)$$

$$Ud_H = K_1 U_2 \cos (\varphi_2 - \omega_2); \quad (11)$$

$$K_1 = \frac{3\sqrt{2}}{\pi}; \quad K_2 = \frac{3}{\pi}.$$

где α — угол задержки выпрямителя; δ — угол запаса инвертора; Rd — активное сопротивление ППТ; X_B , X_H — сопротивления коммутации выпрямителя и инвертора.

Коэффициенты трансформации преобразовательных трансформаторов приняты равными единице и неизменными, т. к. переключение отпирок трансформаторов происходит за время порядка 3τ (на одно положение), что превышает длительность рассматриваемого переходного процесса. Исключив из (7)–(11) выпрямленные напряжения, получим:

$$K_1 U_1 \cos \alpha - K_2 X_B Id - K_1 U_1 \cos (\varphi_1 - \omega_1) = 0; \quad (12)$$

$$K_1 U_2 \cos \delta - K_2 X_H Id - K_1 U_2 \cos (\varphi_2 - \omega_2) = 0; \quad (13)$$

$$K_1 U_1 \cos \alpha - K_1 U_2 \cos \delta - (K_2 X_B - K_2 X_H + Rd) Id = 0. \quad (14)$$

Если КЗ вблизи шин выпрямителя, то $\alpha = \alpha_{min} = \text{const}$, и переменной является δ , и наоборот, если КЗ вблизи шин инвертора, то $\delta = \delta_{min} = \text{const}$ и переменной является α . Следовательно, имеем 7 уравнений: (3)–(6), (12)–(14) и 7 неизвестных: U_1 , φ_1 , U_2 , φ_2 , ω_1 , ω_2 , α или δ , т. к. на каждом шаге расчетов углы θ_1 , θ_2 и θ_3 считаются заданными и получаются из решения системы (1).

Решение системы дифференциальных уравнений (1) производится методом Кутты-Мерсона пятого порядка, в результате которого находятся значения углов роторов, а система уравнений (3)–(6), (12)–(14) — методом Ньютона-Рафсона, основным выражением которого является:

$$F(X)^{(i)} = -J(X)^i \cdot \Delta X^{(i+1)}, \quad (15)$$

где J — матрица Якоби, (i, j) -й элемент которой $\partial f_i / \partial x_j$.

Вектор поправок находится из (15):

$$\Delta X^{(i+1)} = -J(X^{(i)})^{-1} \cdot F(X)^{(i)}.$$

Трехфазное КЗ моделировалось следующим образом:

$$P_{a1} = 0; \quad P_{a2} = 0; \quad P_{a3} = E_1^2 y_{a3} \sin \alpha_{a3}.$$

На основе вышеизложенной методики создана «Фортран» программа.

Оценку динамической устойчивости, проведенную согласно вышеизложенной методике, важно дополнить учетом фактора демпфирования, проявляющегося во время относительного движения роторов электрических машин, т. к. он может оказать значительное влияние на характер переходного процесса.

При малых изменениях скорости демпфирование приближенно можно учесть как [1]:

$$\Delta P_{d_i} = p d S_i$$

где P_{d_i} — демпферный коэффициент; S_i — скольжение.

С учетом демпфирования выражения для электрических мощностей будут:

$$P_{s1} = \frac{E_1 U_1}{X_1} \sin(\theta_1 - \tau_1) + P_{d1} S_1;$$

$$P_{s2} = \frac{E_2 U_2}{X_2} \sin(\theta_2 - \tau_2) + P_{d2} S_2;$$

$$P_{s3} = E_1' y_{13} \sin \alpha_{23} - U_1 E_2' y_{13} \sin(\tau_1 - \theta_2 - \alpha_{13}) + P_{d3} S_3.$$

В остальном расчете производится согласно вышеприведенным выражениям.

Рассмотрим в качестве аварии несимметричные виды КЗ.

Из [2] известно, что ток несимметричного КЗ определяется как ток трехфазного КЗ, удаленного от точки замыкания на шунт КЗ $Z_3^{(n)}$:

$$I_{k1}^{(n)} = \frac{\bar{E}_1}{Z_{12} + Z_3^{(n)}}$$

где $I_{k1}^{(n)}$ — ток прямой последовательности несимметричного КЗ; Z_{12} — суммарное сопротивление прямой последовательности; $Z_3^{(n)}$ — дополнительное сопротивление или, так называемый, шунт КЗ, определяемый в зависимости от его вида (n).

Для разных видов КЗ шунт равен: $Z_3^{(3)} = 0$ — трехфазное КЗ; $Z_3^{(1,1)} = \frac{Z_{21} Z_{02}}{Z_{22} + Z_{02}}$ — двухфазное на землю; $Z_3^{(2)} = Z_{22}$, $Z_3^{(1)} = Z_{22} + Z_{02}$ — двухфазное и однофазное КЗ, где Z_{02} , Z_{22} — суммарные сопротивления нулевой и обратной последовательности системы относительно точки КЗ.

ППТ подсоединена к генераторным шинам 1 через преобразовательный трансформатор с соединением обмоток Y/Δ , следовательно, ток нулевой последовательности замыкаются в треугольнике и $Z_{0\text{ ППТ}} = \infty$.

Из [3] видно, что в пределах погрешности, допускаемой в инженерных расчетах, можно пренебречь токами и обратной последовательностью, т. е. принять, что $Z_{\text{шнт}} = \infty$. Таким образом, исключив ППТ из схемы в аварийном режиме, можно легко составить схему замещения для нулевой и обратной последовательностей и найти шунт КЗ.

Известно, что любой вид КЗ сопровождается снижением напряжения в его точке. При снижении напряжения на шинах выпрямителя до $U=0,75-0,8$ отн. ед. ППТ автоматически выключается из работы. При этом система нелинейных алгебраических уравнений будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} U_1 \cos \varphi_1 - dE_1 \cos (\theta_1 + \varphi_1) - bE_2 \cos (\theta_2 + \varphi_2) = 0; \\ U_1 \sin \varphi_1 - dE_1 \sin (\theta_1 + \varphi_1) - bE_2 \sin (\theta_2 + \varphi_2) = 0; \\ U_2 \cos \varphi_2 - dE_1 \cos (\theta_2 + \varphi_2) = 0; \\ U_2 \sin \varphi_2 - dE_2 \sin (\theta_2 + \varphi_2) = 0. \end{cases}$$

Коэффициенты d и b должны рассчитываться с учетом шунта КЗ, включенного в точку КЗ параллельно с емкостью С.1.

В качестве примера проведен расчет динамической устойчивости при трехфазном КЗ для ЭЭС, представленной на рис. 1. По результатам расчета сделаны следующие выводы.

Форсировка тока ППТ является эффективным средством улучшения динамической устойчивости ЭЭС с учетом ППТ. Кратность форсировки и время ее должны выбираться в каждом конкретном случае. Однако, расчеты показывают, что значения порядка $K_F = 1,5 - 2$ и $t_F = 0,2 - 0,25$ с приводят к сохранению динамической устойчивости ЭЭС.

МЭИ

26.V.1983

Լ. Պ. ԱՂԱՅԱՆ

ՆՌԱՄԵՔԵՆԱՅԱԿԱՆ, ՍԽԵՄԱՅԻ ԳԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ
ԳԵԱՀԱՏՈՒՄԸ ՀԱՍՏԱՏՈՒՄ, ՀՈՍԱՆՔԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՆ ԳԵՊՔՈՒՄ

Ա Վ Փ Ի Ո Փ Ե Մ

Էլեկտրաէներգետիկ համակարգերի ուժիմներն ուսումնասիրության կարևորագույն խնդիրներից մեկն է հանդիսանում դինամիկ կայունության հետազոտությունը: Հաստատուն հոսանքի հաղորդման (ՀՀՀ) տեղայնությունը խնդիրն ավելի է բարդացնում:

Դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգը լուծվում է Կուտտ-Մերսոնի հինգերորդ կարգի եղանակով, իսկ ոչ դժային հանրահաշվական հավասարումների համակարգը՝ նյուտոն-Ռաֆսոնի եղանակով:

Մշակված է էլեկտրաէներգետիկ համակարգերի դինամիկ կայունության հաշվարկման եղանակ ՀՀՀ առկայության դիպքում, ինչպես հոաֆագ, ալն-պես էլ անհամաչափ կարճ միացումների դեպքերում:

Առաջարկված ալգորիթմի հիման վրա կազմված է «Ֆորարան» ծրագիր:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Беников Б. А. Переходные электрохимические процессы в электрических системах. — М.: Высшая школа, 1978. — 115 с.
2. Ульянов С. А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. — М. Энергия, 1970. — 511 с.
3. Кузнецов Ю. П. К вопросу о возмещении мостовых преобразователей электропередачи постоянного тока при упрощенных расчетах несимметричных коротких замыканий. — В сб. Труды МЭИ, вып. 307, 1976, с. 104—108.

С. Ш. НУРИДЖАНИН, Э. А. ХАЧАТРИАН

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА НАПОРА НА ПРОЦЕСС КОНСОЛИДАЦИИ

Как известно [1], фильтрационные явления в глинистых грунтах возникают лишь при градиентах, превышающих величину начального градиента напора. Явление начального градиента напора объясняется влиянием на процесс фильтрации вязкости связанной воды, которая увеличивается с уменьшением толщины ее пленок, т. е. фильтрация начинается, когда будет преодолено вязкое сопротивление сдвигу слоев связанной воды. В этом случае зависимость Дарси записывается в виде [1]:

$$\begin{aligned} \text{при } \frac{\sigma H}{\sigma z} > i_0, \quad V &= 0; \\ \text{при } \frac{\sigma H}{\sigma z} > i_0, \quad V &= -K \left(\frac{\sigma H}{\sigma z} - i_0 \right). \end{aligned} \quad (1)$$

где H — напор, созданный внешней нагрузкой; Z — длина пути фильтрации; i_0 — начальный градиент напора; K — коэффициент фильтрации.

Наличие начального градиента напора оказывает большое влияние на процесс консолидации глинистого грунта. Неучет этого явления может привести к значительному увеличению расчетной осадки и времени консолидации. Отсутствие необходимых теоретических решений объясняется осложнением, связанным с наличием смешивающейся во времени поверхности раздела, которая отделяет область, в которой происходит фильтрация от области, где нет фильтрации. Решение этой задачи в такой постановке методом конечных разностей дано в [1].

Без учета начального градиента напора конечная эпюра эффективных напряжений имеет вид прямоугольника высотой h и ординатой φ (рис. 1), с учетом же начального градиента она имеет вид треугольника и достигает глубины $h_{ак}$, которая называется «активной зоной». Поскольку конечная осадка пропорциональна площади эпюры эффективных напряжений, то, как видно из рис. 1, влияние начального градиента на конечную осадку может быть значительным и оно тем больше, чем больше толщина уплотняемого слоя и величина начального градиента напора.

Рассмотрим задачу одномерной консолидации слоя полностью насыщенного глинистого грунта толщиной h при действии мгновенно приложенной внешней нагрузки интенсивностью q с отжатием поровой воды вверх, как показано на рис. 1.

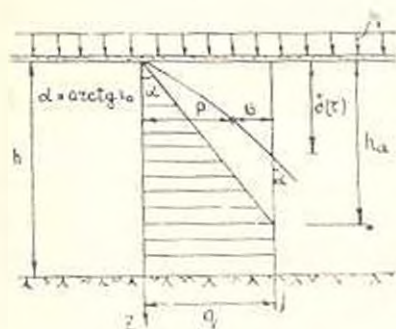


Рис. 1.

Процесс консолидации описывается дифференциальным уравнением [1].

$$\frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = \frac{\partial P}{\partial z^2} \quad (2)$$

при условиях:

$$z = 0, \quad P = P_0 - q; \quad (3)$$

$$z = 0, \quad P = 0; \quad (4)$$

$$z = \delta(\tau), \quad \begin{cases} P = q, \\ \frac{\partial P}{\partial z} = \gamma I_0 \end{cases} \quad (5)$$

где P — поровое давление; $\tau = C_v t$; C_v — коэффициент консолидации; t — время; q — интенсивность внешней нагрузки; γ — объемная масса воды; I_0 — начальный градиент пара.

Для решения поставленной задачи применим интегральный метод [2], суть которого заключается в следующем: пусть решение удовлетворяет не первоначальному уравнению (2), а осредненному по z от $z = 0$ до $z = \delta(\tau)$:

$$\int_0^{\delta(\tau)} \frac{\partial P}{\partial z} dz = \int_0^{\delta(\tau)} \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} dz, \quad (6)$$

Винтегрировав (6), получим:

$$\frac{d}{d\tau} [\theta - P_0 \delta(\tau)] = \frac{\partial P(\delta, \tau)}{\partial t} - \frac{\partial p(0, \tau)}{\partial z}, \quad (7)$$

где

$$\theta = \int_0^{\delta(\tau)} P(z, \tau) dz.$$

Решение дифференциального уравнения (7) ищем в виде многочлена второй степени от z :

$$P = a_0 + a_1 z + a_2 z^2,$$

где коэффициенты a_i ($i = 0, 1, 2$) в общем виде зависят от τ . Используя граничные условия (4) и (5), определим значения коэффициентов a_i ($i = 0, 1, 2$):

$$P(z, \tau) = \frac{2q - \gamma l_0 \delta}{6} z + \frac{\gamma l_0 \delta - q}{2\delta} z^2. \quad (8)$$

В уравнение (8) входит одна неизвестная функция $\delta(\tau)$, которая определяется из (7). Получив значение δ и подставив его в (7), получим следующее дифференциальное уравнение для определения $\delta(\tau)$:

$$6(q + \gamma l_0 \delta) \dot{\delta} = 6(q - \gamma l_0 \delta). \quad (9)$$

Решение уравнения (9) при условии $\tau = 0, \delta = 0$ имеет вид:

$$\tau = -\frac{a^2}{3} \ln \left| 1 - \frac{\delta}{a} \right| - \frac{a}{3} \delta - \frac{\delta^2}{12}, \quad (10)$$

где

$$a = q/\gamma l_0.$$

Таким образом, имеем возможность для любого δ определить значение τ и в этот же момент времени из (8) получить эпюру порового давления.

Перейдем теперь к определению степени консолидации в любой момент времени [1]:

$$U(\tau) = \frac{a_0 \int_0^z (q - p) dz}{a_0 q h_a}, \quad (11)$$

где a_0 — коэффициент относительной сжимаемости.

Принтегрировав (11), окончательно получим:

$$U(\tau) = \frac{1}{3} \left[\left(\frac{\delta}{a} \right)^2 + \frac{2\delta}{a} \right]. \quad (12)$$

Полученное решение задачи справедливо при толщине слоя грунта равной мощности «активной зоны фильтрации», т. е. при $h \geq h_a$. В случае, когда $h < h_a$, для прогнозирования порового давления до момента времени τ_1 , соответствующего достижению поверхностью раздела глубины h_a , можно использовать полученное выше решение. Далее, для прогнозирования порового давления при $\tau > \tau_1$ необходимо решить уравнение (2) при краевых условиях:

$$\tau = \tau_1, \quad P = f(z); \quad \begin{cases} z = 0, & P = 0, \\ z = h_a & \frac{\partial P}{\partial z} = \gamma l. \end{cases}$$

Решение этой задачи не вызывает затруднений [1].

Полученные решения (8), (10), и (12) не могут претендовать на строгость, но могут быть использованы в качестве первого приближе-

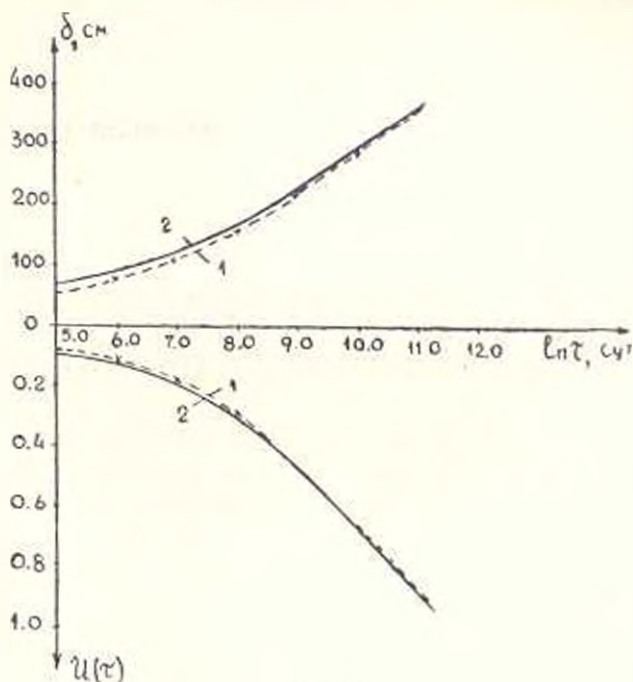


Рис. 2

ния. На рис. 2 для сравнения с точным решением приведены кривые $\delta(\tau)$ и $U(\tau)$, полученные по выражениям (10), (12) и методом конечных разностей.

ЕрПН им. К. Маркса

17 III.1982.

Ս. Է. ՆՈՒՐԻՋԱՆՅԱՆ, Է. Զ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ՀԱՇՎԱՆ ԻԿՋՐԱԿԱՆ ՎՐԱԳԻՆՏԻ ԱԶԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԱՄԱԽԱՐԱՐՈՒՄԸ
ՊՐՈՑԵՍԻ ՎՐԱ

Ա. մ փ ո փ ո Վ ի մ

Աշխատանքում բերված է ձմանցման համախմբման միաշափ խնդրի մոտավոր լուծումը՝ հաշվի առնելով ճնշման սկզբնական դրադիենտը: Խնդրի դրվածքում հաշվի է առնվում ժամանակի բնթացքում փոփոխվող սահմանային պայման, որը բաժանում է ձմանցման միջավայրը այն միջավայրից, որտեղ ձմանցումը բացակայում է:

Մոկոտկենային ճնշման, համախմբման աստիճանի և բաժանման սահմանի ժամանակի բնթացքում տեղափոխություն նախադրաշակման ստացված են պարզ արտահայտություններ: Կատարված է համեմատում թվական եղանակով լուծման հետ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Флорин В. А. Основы механики грунтов.— М.: Гостройиздат, 1961, т. 11.— 513 с.
2. Беллез Н. П., Рябо А. А. Методы нестационарной теплопроводности.— М.: Высшая школа, 1978.— 328 с.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Л. А. ГРИГОРЯН, Г. Н. МАРКАРОВ

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ЗАПОМНИАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ДОМЕНАХ

Запоминающие устройства (ЗУ) на цилиндрических магнитных доменах (ЦМД) являются новым классом устройств памяти ЦВМ и призваны прежде всего заменить электромеханические внешние накопители информации большого объема [1]. Для обеспечения конкурентоспособности ЗУ на ЦМД наряду с увеличением информационной емкости необходимо сохранение на нынешнем уровне или даже улучшение их быстродействия. Однако увеличение емкости ЦМД-микросхем с целью обеспечения повышения емкости ЗУ на ЦМД при неизменной информационной структуре приводит к увеличению среднего времени поиска информации [1, 2].

Одним из эффективных структурно-алгоритмических методов уменьшения среднего времени поиска информации является динамическое перераспределение в ЗУ на ЦМД [2, 3]. Накопитель ЗУ на ЦМД представляет собой набор последовательно замкнутых сдвиговых регистров и поиск информации в нем производится последовательным сдвигом к первому адресу, через который производится считывание и запись информации при обращении. При этом идея динамического перераспределения информации в ЗУ на ЦМД состоит в том, что выбранный информационный блок переводится при каждом обращении в первый адрес, а остальные блоки, которые располагались ближе к первому адресу, последовательно удаляются на один адрес, как показано на рисунке [3]. Такое перераспределение информации в конечном счете приводит к тому, что информационные блоки, к которым чаще производится обращение, располагаются ближе к первому адресу. В этой связи динамическое перераспределение должно приводить к уменьшению среднего времени поиска информации. Однако в известных публикациях авторы ограничиваются описанием технического существа данного метода и элементов, позволяющих выполнять динамическое перераспределение информации в ЗУ на ЦМД, и некоторыми качественными суждениями по поводу эффективности [3, 4]. Вместе с тем остается открытым вопрос о количественной оценке степени повышения быстродействия ЗУ

на ЦМД за счет динамического перераспределения информации для обоснованного выбора сферы применения данного метода.

В этой связи целью данной статьи является вывод на основе вероятностного анализа аналитического выражения, определяющего среднее время поиска информации в ЗУ на ЦМД с динамическим перераспределением.

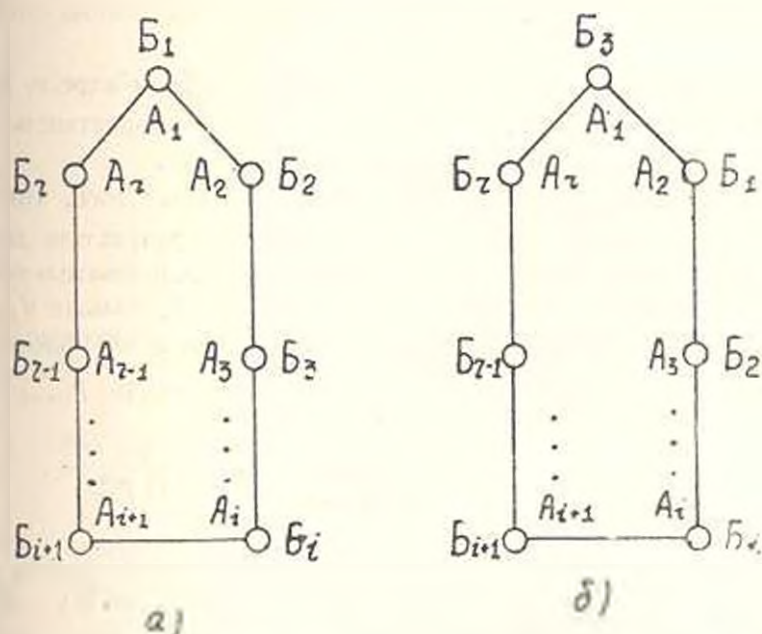


Рис. 1. Размещение информационных блоков ($B_1 + B_i$) по адресам ($A_1 - A_i$) накопительного регистра до (а) и после (б) обращения к блоку B_3 с динамическим перераспределением.

Среднее время поиска информации в ЗУ на ЦМД без перераспределения информации определяется как [5]

$$T_n = \sum_{i=1}^n p_i T_{ni}, \quad (1)$$

где p_i — вероятность обращения к i -му блоку; T_{ni} — время поиска i -го блока, которое в случае однонаправленного продвижения информации в хранения i -го блока в j -ом адресе равно:

$$T_{ni} = j, \quad (2)$$

j — емкость накопительного регистра; j — время сдвига информации между соседними адресами.

В случае динамического перераспределения величина T_n может быть определена как

$$T_n = \sum_{i=1}^n p_i d_i l, \quad (3)$$

где d_i — среднее расстояние i -го блока от первого адреса, которое при однонаправленном продвижении информации определяется:

$$d_i = \sum_{n=1}^r n p_{i(n)}, \quad (4)$$

$p_{i(n)}$ — вероятность размещения i -го блока в n -ом адресе;

$$p_{i(n)} = p_{i(1)} \cdot p_{i(1 \rightarrow n)}, \quad (5)$$

$p_{i(1)}$ — вероятность размещения i -го блока в первом адресе, равная вероятности обращения к i -му блоку p_i ; $p_{i(1 \rightarrow n)}$ — вероятность перехода i -го блока из первого адреса в n -й.

Вероятность $p_{i(1 \rightarrow n)}$ можно определить, исходя из того, что блок, находящийся в первом адресе, может перейти в результате динамического перераспределения в n -й адрес при последовательной выборке $n-1$ блоков, отличных от i -го и имеющих больше d_i , чем d_i при каждом обращении. Если в качестве таких $n-1$ блоков выступают блоки с номерами $i_1, i_2, \dots, i_{n-1}$, вероятность $p_{i(1 \rightarrow n)}$ определяется:

$$p_{i(1 \rightarrow n)}(i_1, i_2, \dots, i_{n-1}) = \sum_{i_1=1}^{r-1} \sum_{i_2=1}^{r-1} \dots \sum_{\substack{j_{n-1}=1 \\ j_{n-1} \neq i}}^{r-1} \prod_{k=1}^{n-1} p_{i_k}^{d_{i_k}}. \quad (6)$$

Полная вероятность перехода i -го блока из первого адреса в n -й равна сумме вероятностей, определяемых выражением (6) для всех упорядоченных $n-1$ блоков из $r-1$:

$$p_{i(1 \rightarrow n)} = p_{i(n-1 \rightarrow n)} = \sum_{\substack{i_1=1 \\ i_1 \neq i}}^{r-n-1} \sum_{\substack{i_2=i_1+1 \\ i_2 \neq i}}^{r-n-2} \dots \sum_{\substack{i_{n-1}=i_{n-2}+1 \\ i_{n-1} \neq i}}^r p_{i(n-1)}(i_1, i_2, \dots, i_{n-1}). \quad (7)$$

Очевидно, что вероятность того, что i -й блок занимает один из r адресов, равна единице. Иными словами:

$$\sum_{n=1}^r p_i p_{i(n-1)} = 1 \quad (8)$$

и, следовательно —

$$\sum_{n=1}^r p_{i(n-1)} = \sum_{n=1}^r p_{i(n-1 \rightarrow n)} = \frac{1}{p_i} = \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^r p_j}. \quad (9)$$

Введем обозначение:

$$Q_{i(n-1 \rightarrow n)} = \sum_{\substack{i_1=1 \\ i_1 \neq i}}^{r-n+1} \sum_{\substack{i_2=i_1+1 \\ i_2 \neq i}}^{r-n+2} \dots \sum_{\substack{i_{n-1}=i_{n-2}+1 \\ i_{n-1} \neq i}}^r \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^{r-1} p_j}. \quad (10)$$

Из выражения (9), с учетом (10) для произвольного r можно написать тождество:

$$\sum_{j=0}^r p_{i(n-j)r} = Q_{i(n)r}. \quad (11)$$

Для каждого упорядоченного набора n блоков из r можно написать тождество, аналогичное (11). Получим $l = C_r^n$ тождеств:

$$\begin{aligned} \sum_{j=0}^n p_{i(n-j)n} &= Q_{i(n)n}(i_1, i_2, \dots, i_n); \\ \sum_{j=0}^n p_{i(n-j)n} &= Q_{i(n)n}(i_1, i_2, \dots, i_n); \\ \sum_{j=0}^n p_{i(n-j)n} &= Q_{i(n)n}(i_1, i_2, \dots, i_n). \end{aligned} \quad (12)$$

Определим сумму величин $p_{i(n-1)n}$. По аналогии с (7) можно написать:

$$p_{i(n-1)n} = \sum_{\substack{i_1=1 \\ i_1 \neq i}}^{r-1} \sum_{\substack{i_2=1 \\ i_2 \neq i}}^{r-2} \dots \sum_{\substack{i_{n-1}=1 \\ i_{n-1} \neq i}}^r p_{i(1)n}(i_1, i_2, \dots, i_n). \quad (13)$$

При суммировании тождеств (12) каждое $p_{i(1)n}(i_1, i_2, \dots, i_{n-1})$ входит в несколько $p_{i(n-j)n}$, т. к. один и тот же набор из $n-1$ блоков можно получить из различных наборов по n блоков. Набор из $n-1$ блоков можно дополнить до набора из n блоков одним из оставшихся $r-n+1$ блоков. Следовательно, каждое $p_{i(n-1)n}(i_1, i_2, \dots, i_{n-1})$ входит в C_{r-n+1}^1 тождеств. Таким образом:

$$\sum_{\substack{i_1=1 \\ i_1 \neq i}}^{r-n} \sum_{\substack{i_2=1 \\ i_2 \neq i}}^{r-n+1} \dots \sum_{\substack{i_n=1 \\ i_n \neq i}}^r p_{i(n-1)n} = C_{r-n+1}^1 p_{i(n-1)n}. \quad (14)$$

Аналогично можно показать, что

$$\sum_{\substack{i_1=1 \\ i_1 \neq i}}^{r-n} \sum_{\substack{i_2=1 \\ i_2 \neq i}}^{r-n+1} \dots \sum_{\substack{i_n=1 \\ i_n \neq i}}^r p_{i(n-j)n} = C_{r-n+j}^j p_{i(n-j)n}. \quad (15)$$

Согласно обозначению (10):

$$\sum_{\substack{i_1=1 \\ i_1 \neq i}}^{r-n} \sum_{\substack{i_2=1 \\ i_2 \neq i}}^{r-n+1} \dots \sum_{\substack{i_n=1 \\ i_n \neq i}}^r Q_{i(n)n}(i_1, i_2, \dots, i_n) = Q_{i(n)n}. \quad (16)$$

Окончательно, суммируя тождества (12), получим:

$$\sum_{j=0}^n p_{i(n-j)r} \cdot C_{r-n+j}^j = Q_{i(n)r}. \quad (17)$$

Из выражения (4) и (5), с учетом (7) среднее расстояние можно определить как

$$\begin{aligned} d_i &= p_i \sum_{n=0}^r n p_{i(r-n-1)r-1} = p_i \sum_{n=0}^r (r-n) p_{i(r-n-1)r-1} = \\ &= p_i \left(r \sum_{n=0}^{r-1} p_{i(r-n-1)r-1} - \sum_{n=0}^{r-1} n p_{i(r-n-1)r-1} \right). \end{aligned} \quad (18)$$

Как видно из выражения (11):

$$\sum_{n=0}^{r-1} p_{i(r-n-1)r-1} = Q_{i(r-1)r-1}, \quad (19)$$

а согласно (17):

$$\sum_{n=0}^{r-1} n p_{i(r-n-1)r-1} = Q_{i(r-2)r-1}. \quad (20)$$

Совместно решая (19) — (21), получим:

$$d_i = p_{i(r-1)r-1} - Q_{i(r-2)r-1}. \quad (21)$$

Определив $Q_{i(r-1)r-1}$ и $Q_{i(r-2)r-1}$ из (10) и подставив в (21), получим:

$$d_i = p_i \left[\frac{r}{p_i} - \sum_{j=1}^r \left(\sum_{l=1}^{l-1} \frac{1}{E_l + p_j} \right) \right].$$

Совместно решая (3) и (22), получим выражение для среднего времени поиска информации в виде

$$\begin{aligned} T_{\text{в}} &= \left[r \sum_{i=1}^r p_i - \sum_{i=1}^r p_i^2 \sum_{j=1}^r \left(\sum_{l=1}^{l-1} \frac{1}{p_l + p_j} + \sum_{j=l+1}^r \frac{1}{p_l + p_j} \right) \right] t = \\ &= \left[r - \sum_{i=1}^r p_i^2 \left(\sum_{j=1}^{i-1} \frac{1}{p_i + p_j} + \sum_{j=i+1}^r \frac{1}{p_i + p_j} \right) \right] t. \end{aligned} \quad (23)$$

Раскрыв суммы в полученном выражении, можно заметить, что выражения типа $\frac{1}{p_i + p_j}$ для произвольных $i \neq j$ встречаются дважды с числителями p_i^2 и p_j^2 , следовательно:

$$\begin{aligned} T_{\text{в}} &= \left(r - \sum_{i=1}^{r-1} \sum_{j=i+1}^r \frac{p_i^2 + p_j^2}{p_i + p_j} \right) t = \left[r - \sum_{i=1}^{r-1} \sum_{j=i+1}^r \frac{(p_i + p_j)^2 - 2p_i p_j}{p_i + p_j} \right] t = \\ &= \left[r - \sum_{i=1}^{r-1} \sum_{j=i+1}^r (p_i + p_j) + \sum_{i=1}^{r-1} \sum_{j=i+1}^r \frac{2p_i p_j}{p_i + p_j} \right] t. \end{aligned} \quad (24)$$

При суммировании в выражении $\sum_{i=1}^{r-1} \sum_{j=i+1}^r (p_i + p_j)$ каждое p_i (для $0 < i < r$) встречается $r-1$ раз. С учетом этого, среднее время

поиска при динамическом перераспределении информации в накопителе на ЦМД с однонаправленным продвижением получим в виде:

$$T_n = \left[r - (r-1) + 2 \sum_{i=1}^{r-1} \sum_{j=i+1}^r \frac{p_i p_j}{p_i + p_j} \right] t = \left(1 + 2 \sum_{i=1}^{r-1} \sum_{j=i+1}^r \frac{p_i p_j}{p_i + p_j} \right) t. \quad (25)$$

Для оценки эффективности динамического перераспределения необходимо сравнить значение T_n , полученное из (25), со значением, полученным из (1) с учетом (2). Заметим, что в случае произвольного размещения информации вероятность размещения i -го блока в j -ом адресе равна $1/r$. Таким образом, из (1) и (2) можно получить:

$$T_n = \sum_{i=1}^r p_i \frac{j}{r} t = \sum_{i=1}^r p_i \cdot \frac{r(r+1)}{2r} \cdot t = \frac{r+1}{2} t. \quad (26)$$

Кроме того, для оценки эффективности динамического перераспределения необходимо задаться и распределением вероятностей обращения к блокам. Как показывают расчеты, при линейно-убывающем распределении вероятностей, которое определяется выражением [5]

$$p_i = \frac{2(r+1-i)}{r(r+1)}, \quad (27)$$

среднее время поиска информации с динамическим перераспределением (выражение (25)) на 10% меньше, чем при произвольном размещении информации (выражение (26)). Отметим, что при данном распределении вероятностей обращения даже оптимальное размещение информации уменьшает среднее время поиска менее, чем на 50% [5]. В случае бинарного распределения вероятностей обращения, которое определяется выражениями [5]

$$p_i = 2^{-i} \quad \text{при} \quad 1 \leq i \leq r-1, \quad p_r = 2^{r-1}, \quad (28)$$

среднее время поиска при динамическом перераспределении не превышает $3t$ и практически не зависит от емкости накопительного регистра. Аналогичное наблюдается и при данном распределении в случае оптимального размещения (среднее время поиска не превышает $2t$) [5].

Таким образом, эффективность динамического перераспределения информации, как и оптимального размещения [5], возрастает по мере увеличения градиента распределения вероятностей обращения в области малых значений аргумента.

**ԳԼԱՆԱՅԻՆ, ՄԱԳՆԵՍԱԿԱՆ ԴՈՄԵՆՆԵՐՈՎ ՀԻՇՈՂ ՀԱՄԱՍԱՐԲԵՐՈՒՄ
ԻՆՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ԳԻՆԱՄԻՎ ՎԵՐԱԴԱՍԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆ ՎԵՐԱԹԵՐՈՒՄԸ**

Ա. մ փ ո փ ո լ մ

Հաժախական վերլուծման հիման վրա ստացվել է անալիտիկ արտահայտություն, որը որոշում է ղեկավարվող վերադասավորումով գլանային մագնիսական դոմենների վրա հիշող սարքերի ինֆորմացիայի փնտրման միջին ժամանակը: Բերվում է ստացված արտահայտությամբ ինֆորմացիայի փնտրման միջին ժամանակի կրճատման չափանիշով ղեկավարվող վերադասավորման էֆեկտիվության գնահատման սրիևակ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Маркарон Г. И., Раев В. К., Козлова Н. Л. ЗУ на ИМД — уровень промышленного освоения. В кн.: Радиоэлектроника в 1981 году. Тетра II. М., НИИЭУМ, 1981, с. 66—88.
2. Маркарон Г. И. Алгоритмические и аппаратные способы уменьшения среднего времени поиска информации в ЗУ на ИМД. — В кн.: Циклические магнитные домены: физические свойства и техническое применение. М., 1981, с. 39.
3. Bonyhard P. I., Nelson T. J. Dynamic Data Reallocation. In Bubble Memories, The Bell System Technical Journal, v. 52, № 3, 1973, p. 307—317.
4. Chag H. Memory Technology, Magnetic-Bubble. — In: Encyclopedia of Computer Science and Technology v. 10, New York—Basel, 1976, p. 273—384.
5. Маркарон Г. И. К вопросу об уменьшении среднего времени поиска информации в ЗУ на ИМД. — В кн.: Запоминающие и логические устройства на циклических магнитных доменах. Труды НИИЭУМ, вып. 88, М., 1981, с. 35—50.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Ա. Տ. ԼԱՆՈՒԵԼՅԱՆ, Դ. Դ. ՄԱՐԺՋԱՆՅԱՆ, Դ. Դ. ԱՐՄԵՆՅԱՆ,
 Վ. Լ. ԲԱՐՏԵԳՅԱՆ, Տ. Տ. ԽԱՇԱՏՐՅԱՆ

ОПТИМИЗАЦИЯ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ТРУБЧАТОМ РЕАКТОРЕ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ ПО СРЕДНЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Для квазистатических химико-технологических процессов, характеризующихся эффектом «последствия» — влияния решений, принимаемых в текущий момент на последующие состояния, корректная постановка задачи оптимизации предлагает применение интегрального критерия эффективности [1]. Рассматриваемому классу объектов принадлежат, в первую очередь, химические реакторы с изменяющейся во времени активностью каталитической системы.

В настоящей работе представляются кинетическая модель дезактивации катализатора, алгоритм и результаты решения задачи квазистатической оптимизации процесса синтеза винилацетата (ВА) из ацетилена и уксусной кислоты на никель-ацетатном катализаторе в трубчатом реакторе.

Кинетическая модель процесса, описывающая скорости образования основного и побочного продуктов реакции приведена в [2]. Фактор дезактивации при этом учитывается в виде явной функции времени, что делает некорректным применение этой модели в широком диапазоне изменения режимных параметров [3]. В связи с этим на основе анализа экспериментальных данных разработана модель дезактивации катализатора в дифференциальной форме:

$$\frac{d\theta}{dt} = 27,1 u^{0.5} \cdot \exp(-46000/RT), \quad (1)$$

где θ — фактор активности; T — температура в реакционной зоне K ; t — астрономическое время, $сут$; R — универсальная газовая постоянная; u — линейная скорость реакционной смеси, $м/с$.

Технико-экономический анализ функционирования объекта показал, что в качестве критерия оптимизации следует принять интегральную выработку целевого продукта (ВА) за цикл работы катализатора.

В качестве управляющих переменных выбраны входные температуры реакционного газа и теплоносителя межтрубного пространства. Время цикла работы реактора является не фиксированной величиной и

варьируется при оптимизации. В целом, математическая постановка задачи формулируется в виде:

$$\max_{t_u, T^0(z), T_x^0(z)} J = \int_0^{t_u} \Phi dz = \int_0^{t_u} G \cdot C_1(L, z) dz, \quad (2)$$

$$t_u \in K_1, \quad T^0(z) \in K_2, \quad T_x^0(z) \in K_3;$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial l} = f_i(\bar{C}, T, \theta), \quad i = \overline{1, m}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial l} = f_T(\bar{C}, T, T_x, \theta); \quad (4)$$

$$\frac{\partial T_x}{\partial l} = f_x(T, T_x); \quad (5)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = -f_\theta(T, u, \theta), \quad (6)$$

$$0 \leq l \leq L, \quad 0 \leq z \leq t_u,$$

$$C_i(0, z) = C_i^0, \quad T(0, z) = T^0(z), \quad T_x(0, z) = T_x^0, \quad \theta(L, 0) = 1;$$

$$C_{3, \min} \leq C_3(L, z) \leq C_{3, \max}; \quad (7)$$

$$T_{\min} \leq T(l, z) \leq T_{\max}; \quad (8)$$

$$\frac{1}{t_u + t_0} \int_0^{t_u} G \cdot C_1(L, z) dz = B_0, \quad (9)$$

где t_u — время работы катализатора; G — расход реакционных газов; C_i — концентрация i -го компонента в реакционном газе; T, T_x — соответственно, температуры реакционного газа и теплоносителя; L, l — текущая и конечная длина реактора; t_0 — время перезагрузки реактора; B_0 — заданная средняя производительность. Система (3–6) представляет собой квазистатическую модель реактора.

Одним из эффективных и наиболее часто применяемых методов, используемых при оптимизации объектов с распределенными параметрами, функционирующими в квазистатическом режиме, является принцип максимума Понтрягина. Применение математического аппарата принципа максимума для рассматриваемого класса задач позволяет строить эффективные алгоритмы поиска оптимального управления путем сведения оптимальной задачи к красовой. Для рассматриваемой задачи (2)–(9) наличие ограничения (8), заложенного на фазовые переменные, а также ограничения (9) осложняют получение условий оптимальности. Помимо этого, в задачах оптимизации режимов распреде-

ленных объектов с одномерными управлениями, каковыми являются $T(0, \tau)$ и $T_x(0, \tau)$, необходимые условия оптимальности выражаются в форме «слабого принципа» максимума. При этом вычислительные алгоритмы характеризуются ветвлениями и требуют перебора большого числа вариантов [1, 4].

В связи с вышесказанным и учитывая эффективность вычислительных алгоритмов, основанных на «сильном» принципе максимума, который справедлив для задач с двумерными распределенными управлениями, процесс решения рассматриваемой задачи был разбит на два этапа. На первом этапе осуществлялась «теоретическая» оптимизация, заключающаяся в решении задачи

$$\max_{t_0} I, \quad t_0 \in K_1 \quad (10)$$

при ограничениях (3), (6) — (9), а на втором — задача

$$\min_{T^0(\tau), T^0_x(\tau)} \sum_{i=1}^N (T(t_i, \tau) - T^{opt}(t_i, \tau))^2, \quad (11)$$

$$0 \leq \tau \leq t_0^*$$

при ограничениях (3) — (6), где t_0^{opt} , $T^{opt}(t_i, \tau)$ — решения задачи (10).

Непрерывность и единственность экстремума функции (12)

$$B(t_0) = \max_{T(t, \tau)} I \Big|_{t_0 = t_0^*} \quad (12)$$

вытекающие из физических соображений, позволяют решать задачу (10) по двухуровневой схеме.

На верхнем уровне решается задача

$$\min_{t_0} |B - B_0|. \quad (13)$$

Поиск значения t_0^{opt} осуществляется методом «локализации» экстремума.

Нижним уровнем при каждом заданном верхнем уровнем, значении решается задача

$$\max_{T(t, \tau)} I \quad (14)$$

при ограничениях (3), (6) — (9). Алгоритм решения основывается на необходимых условиях оптимальности в форме «сильного» принципа максимума.

Ограничение (7) учитывается составлением штрафной функции:

$$\Phi_m = \beta \left[e^{\alpha_1 (C_3 - C_3^*)} + e^{\alpha_2 (C_3 - C_3^*)} \right], \quad (15)$$

где α_1 , α_2 , β — подбираемые константы. При этом обобщенный критерий, оптимизируемый на нижнем уровне, принимает вид:

$$I_0 = \int_0^{t_n} \Phi_0 d\tau = \int_0^{t_n} (\Phi_0 + \Phi_m) d\tau. \quad (16)$$

Функция Понтрягина и система сопряженных уравнений имеют вид:

$$H = \sum_{i=1}^m \psi_i; \quad (17)$$

$$\frac{\partial \psi_i}{\partial t} = - \frac{\partial H}{\partial C_i}, \quad i = \overline{1, m}; \quad (18)$$

$$\frac{\partial \psi_{m+1}}{\partial \tau} = - \frac{\partial H}{\partial q}, \quad (19)$$

с краевыми условиями

$$\psi_i(l, \tau) = \frac{\partial \Phi_0(l, \tau)}{\partial C_i(l, \tau)}, \quad i = \overline{1, m}; \quad (20)$$

$$\psi_{m+1}(l, t_n) = 0, \quad (21)$$

где H — функция Понтрягина; ψ_i , $i = \overline{1, m} + 1$ — сопряженные переменные.

Алгоритм решения задачи (14) с применением сопряженных уравнений сводится к итеративно повторяющимся процедурам интегрирования систем (3), (6) и (18), (19). При интегрировании сопряженной системы в каждом узле прямоугольника $0 \leq t \leq L$, $0 \leq \tau \leq t_n$ осуществляется поиск значения $T(l, \tau)$, доставляющего максимум H -функции.

Задача в целом была решена по описанной методике для промышленного реактора мощностью 12,5 тмг. т/год. Время полного счета на ЭВМ ЕС 1033 по программе, составленной на языке PL/I, составило 154 мин.

На рисунке представлены кривая изменения производительности реактора $\Phi_r(\tau)$ (1), соответствующая теоретическому оптимальному решению задачи (10), а также кривые изменения одномерных управлений $T^{opt}(\tau)$, $T_x^{opt}(\tau)$ (2 и 3, соответственно), найденные решением задачи (11) и соответствующая кривая изменения производительности реактора $\Phi_p(\tau)$ (4) в течение цикла работы катализатора.

Относительно теоретического решения при управлениях $T^{opt}(\tau)$, $T_x^{opt}(\tau)$, как показали расчеты, выработка целевого продукта за цикл работы катализатора уменьшается на 1,1%, что пренебрежимо мало с практической точки зрения. Управление процессом по расчетным стратегиям $T^{opt}(\tau)$ и $T_x^{opt}(\tau)$ позволяет снизить себестоимость производимой продукции относительно проектной величины на 1,4%.

Близость теоретических и реальных показателей процесса (производительности и времени цикла) подтверждают корректность принятого приближенного метода решения исходной задачи (2) — (9). В целом,

представленная постановка задачи и алгоритм ее решения могут быть использованы для решения аналогичных задач оптимизации трубчатых реакторов, функционирующих в квазистатическом режиме.

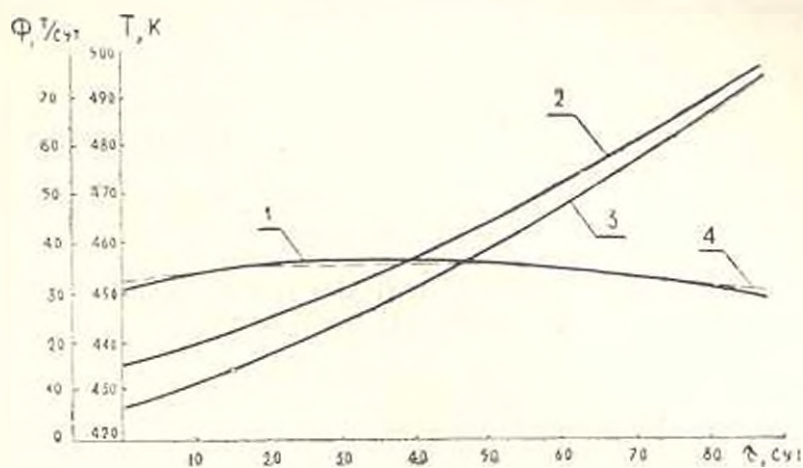


Рис.

Брянское отд. ОНПО «Пластполимер»

5. V 1983

Ս. Շ. ԻՆՆԻՍՅԱՆ, Գ. Գ. ԽԱՐՋԻԱՆՆ, Գ. Գ. ՇԱՐԻՖԵՅԱՆ,
Վ. Լ. ԲԱՐՍԵՂՅԱՆ, Ս. Ս. ԽԱՉԱՏՅԱՆ

ԽՈՂՈՎԱԿԱՎՈՐ ՌԵԱԿՏՈՐԻ ԿԵՂԵՍԱՏՈՎ ՌԵԺԻՄԻ ՓՈՏԻՄԻՉԱՑՈՒՄ
ՄԻՋԻՆ ԱՐՏԱԳՐՈՎԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ, ՈԱՆՄԱՆԱՓԱԿՄԱՆ ԳԵՊԵՐՈՒՄ

Ա Մ Փ Ո Վ Ո Ր

Իշակված է կատալիզատորի անշարժ շերտով խողովակավոր ռեակտորի կեղծատառիկ սեփմի օպտիմիզացման ալգորիթմ: Խնդիրը լուծվում է կենտրոնացված կառավարման փոփոխականների դեպրի համար, հաշվի առնելով այն սահմանափակումները, որոնք դրված են ֆազային փոփոխականների փոփոխման տիրույթի և ռեակտորի միջին արտադրողականության վրա:

Ալգորիթմը օգտագործվում է միևնույնացիտատի ստացման չկարգավորված պրոցեսի կառավարման օպտիմալ պայմանները որոշելու համար: Ռեակտորը նախատեսված է արդյունաբերական մատչատրների համար: Կատալիզատորն է ջրնկի աղետատր:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Островский Г. М., Волин Ю. М. Методы оптимизации сложных химико-технологических схем — М.: Химия, 1970 — 328 с.
2. Хачатрян С. С. Моделирование каталитического реактора в производстве винилцетата — Дис. канд. техн. наук — М.: 1989 — 118 с.
3. Кизнецов Ю. И., Сливко М. Г. Некоторые особенности моделирования процесса с изменяющимся состоянием катализатора. — В сб. науч. тр.: Моделирование химических процессов в реакторах (Доклады 4-й Всесоюзной конференции по химическим реакторам). — Новосибирск, ИК СО АН СССР, 1972, т. 3, с. 3—9.
4. Островский Г. М., Волин Ю. М. Моделирование сложных химико-технологических схем. — М.: Химия, 1975. — 312 с.

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

Р. Г. АКОНЯН

АНАЛИЗ ШУМОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Установлено, что при преобразовании двухконтурным параметрическим преобразователем частоты вина возникают большие шумы [1, 2] и в этих преобразователях существует обратная связь, которая положительна в регенеративных и отрицательная в нерегенеративных преобразователях [1].

На рис. 1 изображено распределение спектра частот регенеративного параметрического преобразователя, предназначенного для преобразования частоты f_1 в $f_2 = f_0 - f_1$, где f_0 — частота накачки.



Рис. 1.

Уравнения Кирхгофа для регенеративного преобразователя имеют следующий вид [1, 2]:

$$\vec{E}_1 = \dot{I}_1 \dot{Z}_1 - \dot{I}_2 \dot{Z}_{2c}; \quad (1)$$

$$\vec{E}_2 = \dot{I}_1 \dot{Z}_{1c} + \dot{I}_2 \dot{Z}_2$$

где $\vec{E}$ и $\vec{E}$ — э. д. с. источников преобразуемой и преобразованной частот; $\dot{Z}_1$ и $\dot{Z}_2$ — сопротивления контуров; $\dot{I}_1$ и $\dot{I}_2$ — токи, протекающие через параметрический диод на частотах f_1 и f_2 ; $\dot{Z}_{1c}$ и $\dot{Z}_{2c}$ — коэффициенты связи:

$$\dot{Z}_{1c} = \frac{\dot{M}}{j\omega_1 C_0}; \quad \dot{Z}_{2c} = \frac{\dot{M}}{j\omega_2 C_0}, \quad (2)$$

$\dot{M}$ и $\dot{M}$ — соответственно, комплексное и комплексно-сопряженное значения глубины модуляции емкости параметрического диода; ω_1 ,

ω_2 — преобразуемая и преобразованная частоты; C_0 — постоянная составляющая емкости параметрического диода.

Из (1) следует, что коэффициент связи $\dot{Z}_{1c}$ характеризует преобразование в прямом направлении, т. е. преобразование сигнала частотой f_1 и f_2 , а коэффициент связи $\dot{Z}_{2c}$ характеризует преобразование в обратном направлении — преобразование частоты f_2 и f_1 .

Из (2) имеем:

$$\dot{Z}_{2c} = |\dot{Z}_{1c}| \cdot \frac{\omega_1}{\omega_2}. \quad (3)$$

Из (3) следует, что чем меньше преобразованная частота ω_2 , тем больше обратная связь. В регенеративном преобразователе из-за наличия положительной обратной связи, кроме преобразования сигнала, произойдет также и усиление шумов нагрузки и сопротивления потерь параметрического диода на преобразованной частоте. Определим во сколько раз коэффициент усиления указанных шумов больше коэффициента преобразования сигнала.

Коэффициент преобразования регенеративного параметрического преобразователя определяется следующим выражением [1, 2]:

$$K_{\text{пр}} = \frac{1 |\dot{Z}_{1c}|^2 R_1 R_2}{Z_1^2 \left| \dot{Z}_2 - \frac{Z_c^2}{Z_1} \right|^2}, \quad (4)$$

где $K_{\text{пр}}$ — коэффициент преобразования преобразователя; R_1, R_2 — сопротивления источника сигнала и нагрузки; Z_c — коэффициент связи:

$$Z_c^2 = \frac{M^2}{\omega_1 \omega_2 C_0^2}. \quad (5)$$

На рис. 2 изображена эквивалентная электрическая схема контура преобразованной частоты с указанием источников шумов [1, 2]. Здесь e_2 соответствует э. д. с. тепловых шумов нагрузки R_2 ; e_1 — э. д. с. тепловых шумов сопротивления потерь R_c параметрического диода на преобразованной частоте f_2 ; $e_{\text{вн}}$ — источник шума, внесенный в контур преобразованной частоты, из-за преобразования шумов сопротивлений источника преобразуемой частоты R_1 и потерь R_c на преобразуемой частоте; $\dot{Z}_{\text{вн}}$ — сопротивление, внесенное в контур преобразованной частоты; X_2 — реактивное сопротивление контура преобразованной частоты:

$$e_2^2 = 4kT_0 R_2 \Delta f; \quad e_1^2 = 4kT_0 R_c \Delta f; \quad (6)$$

$$e_{\text{вн}}^2 = (4kT_0 R_1 \Delta f + 4kT_0 R_c \Delta f) \frac{|\dot{Z}_{1c}|^2}{Z_1}.$$

где K — постоянная Больцмана; Δf — полоса преобразования; T_0 — нормальная температура; T — шумовая температура диода.

Э. д. с. e_1 создает в контуре преобразовательной частоты ток:

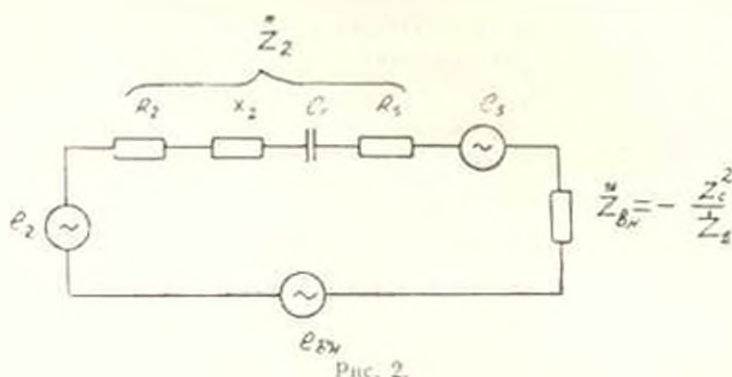
$$i_m = \frac{e_1^2}{|\dot{Z}_2 - \dot{Z}_{ан}|^2} \quad (7)$$

Мощность шума, поглощенная на нагрузке R_2 :

$$P_m = i_m^2 R_2 \quad (8)$$

С учетом (6) и (7) выражение (8) принимает вид

$$P_m = \frac{4kT_0 \Delta f R_2^2}{|\dot{Z}_2 - \dot{Z}_{ан}|^2} \quad (9)$$



Мощность шума P_0 , отдаваемая сопротивлением R_1 на согласованную нагрузку:

$$P_0 = k \Delta f T_0 \quad (10)$$

а коэффициент усиления шума нагрузки:

$$K_m = \frac{P_m}{P_0} \quad (11)$$

Подставляя (9) и (10) в (11), получаем:

$$K_m = \frac{4R_2^2}{|\dot{Z}_2 - \dot{Z}_{ан}|^2} \quad (12)$$

Аналитическое выражение получается и для коэффициента усиления шума сопротивления потерь R_1 параметрического диода на преобразованной частоте.

Из (4) и (12) определяем соотношение коэффициентов усиления шума нагрузки и преобразования:

$$\frac{K_m}{K_{пр}} = \frac{R_2 Z_1^2}{R_1 |\dot{Z}_{к}|^2} \quad (13)$$

При резонансе контура, с учетом $R_1 \gg R_2$, выражение (13) принимает следующий вид:

$$\frac{K_{\text{ш}}}{K_{\text{пр}}} = \frac{R_2(R_1 + R_2)}{|Z_{\text{ш}}|^2} \quad (14)$$

Из (4) следует, что для устойчивой работы преобразователя необходимо удовлетворить условие:

$$R_2 + R_3 > \frac{Z_1^2}{R_1 + R_2} \quad (15)$$

Из (2) и (15) имеем:

$$Z_1^2 = |Z_{\text{ш}}|^2 \cdot \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (16)$$

Из (14), с учетом (15) и (16), получаем:

$$K_{\text{ш}} > K_{\text{пр}} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (17)$$

Из (17) следует, что из-за наличия положительной обратной связи в регенеративном параметрическом преобразователе коэффициенты выделения шумов нагрузки и сопротивления потерь R_1 параметрического диода на преобразованной частоте в $\frac{\omega_1}{\omega_2}$ раз превосходят коэффициент преобразования. Поэтому при преобразовании частоты вниз регенеративным параметрическим преобразователем возникают большие шумы. Таким образом, установлено, что свойство нелинейного реактивного элемента преобразовывать частоту вниз с большими шумами обусловлено внутренней обратной связью.

15 XII 1982

Խ. Գ. ՀԱՎԱՐՅԱՆ

ՀԱՃԱՆԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԻԿԱԿԱՆ ՓՈՆԱԿԵՐՊՈՋՐ ԱՂՄՈՒՆՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒՄՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Հոդվածում կատարվում է հաճախականության պարամետրիկական փոխակերպիչի աղմուկների վերլուծում և ապացուցվում է, որ երկչափայնոց պարամետրիկական փոխակերպիչով հաճախականությունը փոքրացնելու դեպքում աղմուկների մեծացումը պայմանավորված է ներքին հեռադարձ կապով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 СВЧ устройства на полупроводниковых диодах /Под ред. Н. В. Малыцкого и Б. Н. Сестрорецкого — М.: Советское радио, 1969 — 580 с.
- 2 Бобров Н. Н. Параметрические усилители и преобразователи СВЧ — Киев: Техника, 1969 — 240 с.

ТЕПЛОТЕХНИКА

П. Е. АЗАРЯН, С. Г. ПЕРСЕСЯН

СВОБОДНАЯ КОНВЕКЦИЯ И ТЕПЛООБМЕН ВЕРТИКАЛЬНОЙ
НАГРЕТОЙ СТЕНКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ПРАКТИЧЕСКИ
«СПОКОЙНОМ» ПРОСТРАНСТВЕ

Изучение в реальных условиях свободной конвекции вертикальной стенки с учетом зависимости физических параметров от температуры является актуальным вопросом для оптимального проектирования систем охлаждения различных электротехнических, электрических и других устройств.

Изучению теплообмена вертикальной стенки в идеальном состоянии воздушного пространства, где устранены дополнительное движение и завихрения воздуха, посвящено большое количество теоретических и экспериментальных исследований, результаты которых заметно отличаются друг от друга. Н. П. Кудряшов, основываясь на приближенном теоретическом решении М. В. Кирпичева, приближенно решил задачу теплообмена в условиях свободного движения жидкости при ламинарном пограничном слое у стенки. В области $5 \cdot 10^2 \leq GrPr \leq 10^{12}$ он теоретически обосновал предположение Михеева М. А. о справедливости обобщения выражения

$$Nu = C(GrPr)^n. \quad (1)$$

Отметим, что исследования вышеуказанных авторов производились при постоянном значении физических параметров жидкости и относятся к поверхностям, которые изходились в идеальном «спокойном» воздушном пространстве.

Экспериментальные исследования [1] привели к выводу, что влияние на свободную конвекцию дополнительного движения и завихрения воздуха, имеющегося в реальных условиях, может быть учтено увеличением коэффициента C в общем соотношении (1). Изучая свободную конвекцию цифровым методом [2], авторы пришли к выводу, что если учитываются зависимости физических параметров жидкости от температуры, то это приводит к погрешностям, достигающим 100%.

Рассмотрим свободное гравитационное течение жидкости для вертикальной изотермической (T_w) стенки в практически «спокойном» пространстве, где имеются дополнительное движение и завихрение жид-

кости. При этом принимается, что вязкость жидкости зависит от температуры:

$$\eta_t = \frac{A\eta_0}{A - 1 + (D + C_3 t_0)^2}, \quad (2)$$

где $D = 1 + C_3 t_0$;

для воздуха — $A = 2,07661$; $C_3 = -0,00654 \text{ град}^{-1}$; $\eta_0 = 13,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;

для масла марки Т0-35К — $A = 3,077$, $C_3 = 0,1 \text{ град}^{-1}$, $\eta_0 = 120 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;

$$t_0 = t - t_0,$$

t , t_0 — температура жидкости в пограничном слое и вдали от него.

Разположим начало координат y нижней кромки стенки, а ось OY — нормально к ее поверхности. Пусть жидкость входит в пограничный слой со скоростью ω_0 . Скорость движущегося слоя при этом

$$\omega = \omega_x \bar{y} (1 - \bar{y})^2 + \omega_0, \quad (3)$$

где $\bar{y} = \frac{y}{\delta}$ — относительная координата; δ — толщина движущегося слоя; ω_x — составляющая скорости по оси.

Температура жидкости в движущемся слое распределяется по закону

$$\theta = \theta_w (1 - \bar{y})^2, \quad (4)$$

где $\theta_w = t_w - t_0$.

Продольная составляющая скорости ω_x зависит от высоты и определяется из уравнения движения пограничного слоя, которое без учета инерционных сил имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial \omega}{\partial y} \right) = -\beta g \theta, \quad (5)$$

где β — коэффициент объемного расширения жидкости, град^{-1} ; g — гравитационное ускорение, $\text{м}/\text{с}^2$.

Умножив обе части уравнения (5) на $1 \cdot d\bar{y}$ и интегрируя в интервале $[0, 1]$, с учетом (3) получим:

$$\omega_x = \frac{\beta g \theta_w \delta^2}{3\nu},$$

при этом

$$\omega = \frac{\beta g \theta_w \delta^2}{3\nu} \cdot \bar{y} (1 - \bar{y})^2 + \omega_0. \quad (6)$$

Коэффициент теплоотдачи (КТО) определяется как

$$\alpha_x = - \frac{\lambda}{\theta_w} \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} \right)_{\bar{y}=0} = \frac{2\lambda}{\delta}, \quad (7)$$

где λ — коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/\text{м град}$.

Из уравнений (4), (6), (7) следует, что ϑ , ω и α_x зависят от толщины пограничного слоя δ . Для определения δ используем уравнения Ньютона и Эйлера:

$$C_p \vartheta_{cp} dG = \alpha_x \vartheta_w dx, \quad (8)$$

где средняя температура жидкости:

$$\vartheta_{cp} = \int_0^1 \vartheta d\bar{y} = \frac{\vartheta_w}{3};$$

элементарный расход жидкости в сечении пограничного слоя и средняя интегральная скорость:

$$dG = a (\rho_0 \cdot \omega_{cp} \cdot \delta);$$

$$\omega_{cp} = \int_0^1 \omega d\bar{y} = \frac{\delta \cdot g \cdot \vartheta_w \bar{\nu}}{3\eta \nu_0} \cdot K + \nu_0;$$

$$K = 1 + \frac{4}{5} \cdot \frac{C_p \cdot D \cdot \vartheta_w}{A - 1 + D^2} + \frac{3}{14} \cdot \frac{C_p^2 \cdot \vartheta_w^2}{A - 1 + D^2};$$

$$\nu_0 = \frac{A \cdot \nu_0}{A - 1 + D^2};$$

ν_0 — кинематическая вязкость жидкости вдали от пограничного слоя; K — коэффициент, учитывающий изменение вязкости от температуры.

Подставляя соответствующие значения в (8), интегрируя от 0 до δ и обозначая через: $Gr = g \cdot \delta \cdot \vartheta_w \cdot H^3 \cdot \nu_0^{-2}$ — критерий Грасгофа; $Pr = \nu_0 \cdot a^{-1}$ — критерий Прандтля; $Re = \nu_0 \cdot H \cdot \nu_0^{-1}$ — критерий Рейнольдса; $Pe = Re \cdot Pr$ — критерий Пекле; $M = Gr \cdot Pr$ — критерий Релея, и решая относительно δ , получим;

$$\delta = H \sqrt{\frac{12 \cdot Pe}{M \cdot K}} \left| \sqrt{1 + \frac{2MK}{Pe^2} \bar{x} - 1} \right|, \quad (9)$$

где $\bar{x} = \frac{x}{H}$ — относительная координата; H — высота стенки, м.

Подставляя значения (9) в (7), после преобразования получим местное и среднее числа Нуссельта:

$$Nu_x = \frac{\alpha_x \cdot H}{\lambda} = \frac{2}{\sqrt{\frac{12 \cdot Pe}{M \cdot K}} \left| \sqrt{1 + \frac{2 \cdot M \cdot K}{Pe^2} \bar{x} - 1} \right|};$$

$$\bar{Nu} = \int_0^1 Nu_x d\bar{x} = \frac{0,3849}{(M \cdot K)^{0,5}} \left| \sqrt{Pe^2 + 2M \cdot K} - Pe \right|^{0,5} \times$$

$$\times \left| \sqrt{Pe^2 + 2M \cdot K} + 2Pe \right|. \quad (10)$$

В частном случае, если стенка находится в идеальном «спокойном» пространстве, то скорость жидкости $w_n = 0$. Если вязкость не зависит от температуры, то $C_2 = 0$ ($K = 1$) и, следовательно

$$Nu = 0,647 M^{0,25},$$

что соответствует значению среднего числа Нуссельта, приведенного в [3].

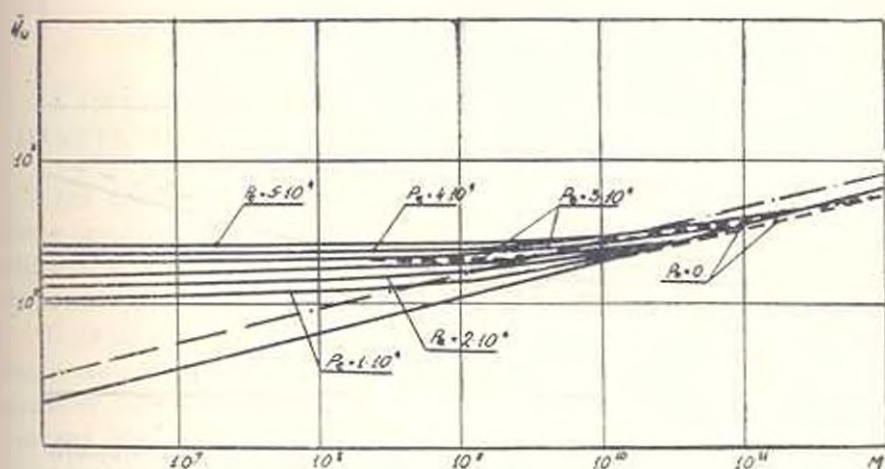


Рис. 1. Функциональная зависимость $Nu = f(M)$ для воздуха, при $Pe = 1 \cdot 10^4$, $5 \cdot 10^4$ и $Pe = 0$; — $K = 1$, ---- $K = 0,9018$ ($T_n = 100^\circ C$); — расчет по формуле [1].

В практически «спокойном» воздушном пространстве $Pe > 0$. При этом, если $10^6 \leq M \leq 10^{12}$, то число Нуссельта почти не зависит от изменения ν , (рис. 1) и, следовательно, в первом приближении с погрешностью не более 5% его можно рассчитать по выражению

$$Nu = \frac{0,3849}{M^{0,1}} \left| \sqrt{Pe^2 + 2M} - Pe \right|^{0,5} \left| \sqrt{Pe^2 + 2M} + 2Pe \right|, \quad (11)$$

Причем, если $Pe > 10^4$ и $10^6 \leq M \leq 10^{12}$ (рис. 1), то число Nu с погрешностью не более 2% рассчитывается по формуле

$$Nu = 1,02 M^{0,25},$$

что с погрешностью не более 8% совпадает с числом Nu , рассчитанным по выражению, приведенному в [1].

В гидравлически замкнутой системе охлаждения «М»-трансформаторов под влиянием гравитационного давления происходят циркуляция и смешивание микрообъемов относительно холодного и горячего масла в системе, где для трансформаторного масла число Pe может изменяться в пределах: $0 < Pe \leq 2 \cdot 10^3$. Если $M \geq 5 \cdot 10^6$, то из рис. 2 следует, что число Nu только зависит от изменения кинематической вязкости

масла ν_t и в первом приближении с погрешностью не более 10% можно рассчитать по формуле

$$Nu = 0,81 M^{0,23},$$

а при $M < 5 \cdot 10^3$ число Nu зависит от Re и рассчитывается по формуле (11).

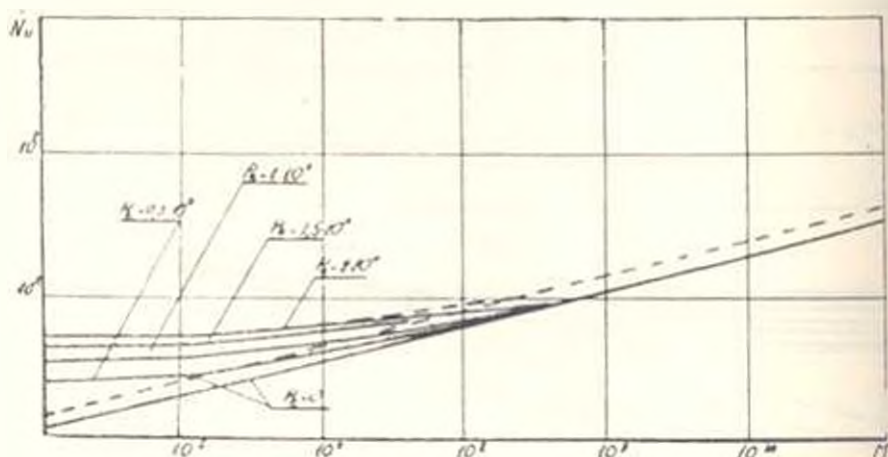


Рис. 2. Функциональная зависимость $\bar{Nu} = f(M)$ для трансформаторного масла при $Re = 0-2 \cdot 10^3$; — $K=1$; - - - $K=2.351$ ($T_w = 50^\circ C$).

ПО «Армэлектромаш»

10. XII 1988

Գ. Ն. ԱՉԱՐՅԱՆ և Գ. ՆԱՐԻՍՅԱՆ

ՈՒՐԼԱՀԱՅԱՑ ՏԱԲ ՊԱՏԻ ՎՐԱ ԱԶԱՏ ԿՈՆԿԵՑԻԱՆ ԵՎ ԶԵՐՈՒՄՓՈԽԱՆՑՈՒՄԸ
ԳՈՐԾԱԿԱՆՈՐԵՆ «ԽԱՂԱՂ» ՄԻՋԱՎԱՅՐՈՒՄ

Ա մ փ օ փ ո լ մ

Դիտված է աղյուս կոնվեկցիան չարժ ուղղահայաց պատի վրա գործնականորեն «իազադ» միջավայրում՝ հաշվի առնելով մաթուցիկության կախածությունը ջերմաստիճանից: Որոշված է նուսկտի թվի հաշվարկման բանաձևի օգտագործման տիրույթը օդի և տրանսֆորմատորային յուղի համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Готтер Г. Нагревание и охлаждение электрических машин. М.: Энергия, 1961. — 180 с.
2. Никитенко Н. И. и др. Исследование течения и теплообмена в каналах трансформатора с жидкостным охлаждением. Пром. теплотехника, 1979, т. 1, № 1, с. 33—37.
3. Никитенко В. И., Овчинникова В. А., Соловьев А. С. Тепломероприем. М.: Энергия, 1981. — 118 с.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Լ. Տ. ԴՐՈՍՅԱՆ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ЗАГРУЗКИ
 ПАКЕТА ТАРЕЛОК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕПАРИРОВАНИЯ

Для процесса разделения жидких неоднородных систем распределение загрузки пакета тарелок имеет существенное практическое значение, т. к. производительность сепаратора предопределяется количеством межтарелочных пространств [1—5].

В данной работе проведена экспериментальная проверка распределения жидкой неоднородной смеси по высоте пакета тарелок. Для повышения эффективности работы сепараторов предлагается двухсторонняя организация процесса разделения, который осуществляется двухсторонним питанием жидкостью пакета тарелок. Для эксперимента использован сепаратор модели АС-2Е, ротор которого приспособлен для питания жидкой смесью пакета тарелок со следующими вариантами сборки (рис. 1а, б, в):

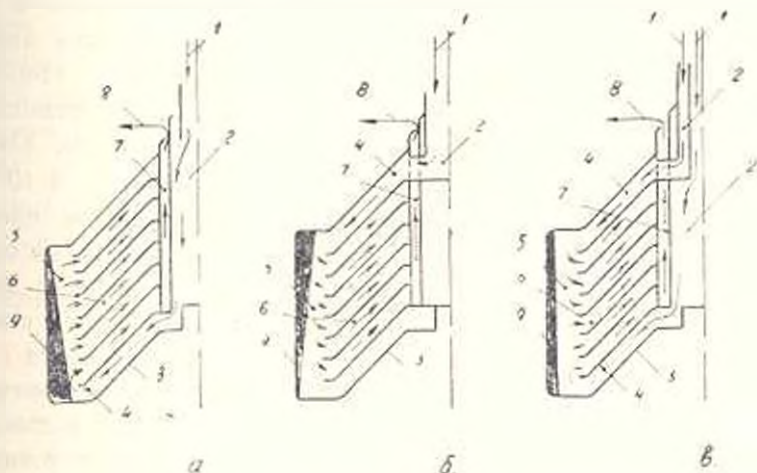


Рис. 1. Схема организации потока внутри ротора сепаратора. 1 — исходный продукт; 2 — тарелка-держатель; 3 — ротор; 4 — межтарелочное пространство; 5 — шламовое пространство; 6 — пакет тарелок; 7 — оболочка; 8 — разделение жидкости; 9 — осадки после сепарирования.

- а) питание пакета тарелок только снизу (паспортная сборка);
 б) питание пакета тарелок только сверху, в) одновременное питание па-

кета тарелок снизу и сверху. Радиус тарелок $r_{\text{тар}} = 2,05 \cdot 10^{-2}$ м, $r_{\text{меш}} = 5,1 \cdot 10^{-2}$ м, расстояние между ними $\delta = 0,3 \cdot 10^{-3}$ м, угол наклона образующей тарелки к оси вращения -40° , внутренний диаметр ротора — $11,7 \cdot 10^{-2}$ м, количество межтарелочных пространств — $z = 40$.

Перед каждым опытом в шламовое пространство 5 вводили целлюлозный цилиндр, в который накапливалась дисперсная фаза, разделенная в процессе сепарирования, которую в дальнейшем подвергали исследованию.

В качестве исходной жидкой смеси брали суспензию азопигмента ярко-красного «2СВ» при содержании дисперсной фазы 0,3% (вес.).

По схемам питания, приведенным на рис. 1а и 1б, после ввода целлюлозного цилиндра, в ротор сепаратора подавали $2 \cdot 10^{-3}$ м³ суспензии при производительности $2,36 \cdot 10^{-6}$ м³/с. Далее с той же производительностью пропускали до трех объемов ротора дисперсионную среду. Остановив сепаратор, извлекали целлюлозный цилиндр с осадком и разделяли на четыре равных пояса плоскостями, нормальными к оси вращения ротора. Осадок каждого пояса высушивали и определяли вес.

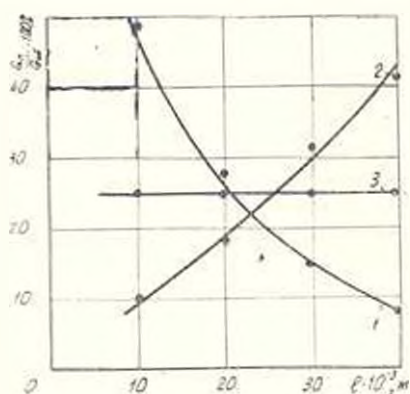


Рис. 2. Распределение осадка в роторе сепаратора при разделении суспензии: 1 — питание сверху пакета; 2 — питание снизу пакета; 3 — одновременное питание снизу и сверху.

По схеме двухстороннего питания ротора (рис. 1в) исходную жидкую смесь подавали в ротор двумя самостоятельными потоками одновременно с двух сторон пакета тарелок с производительностями, соответственно, для каждой стороны потока $1,18 \cdot 10^{-6}$ м³/с.

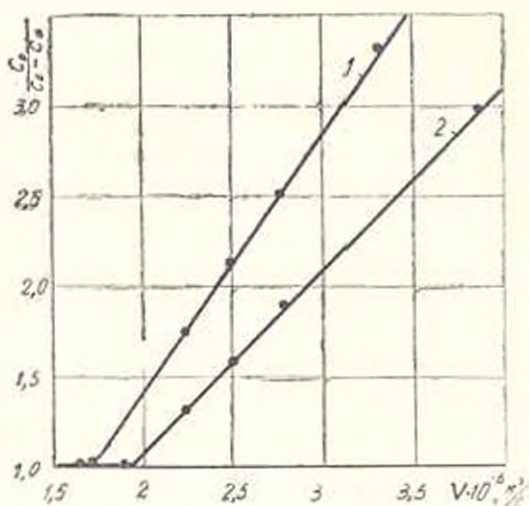
Результаты опытов представлены на рис. 2, где по оси ординат отложены отношения веса данного

пояса C_n к суммарному весу осадка $G_{\text{ос}}$ во всех четырех поясах в процентах, а по оси абсцисс — длина рассматриваемого пояса l .

Анализ экспериментальных данных показывает, что независимо от места подачи суспензии снизу или сверху пакета тарелок, осадок в роторе сепаратора распределяется неравномерно. При двухстороннем питании осадок по внутренней поверхности ротора распределяется относительно обечайки ротора равномерно, следовательно, при такой организации потока жидкости в роторе производительность сепаратора должна существенно повышаться. Микроскопические исследования осадка по поясам показали, что существенных различий дисперсного состава по высоте пакета тарелок не наблюдается.

Для исследования влияния способа загрузки пакета тарелок на эффективность процесса сепарирования были проведены эксперименты по разделению той же исходной жидкости при различных производительностях сепаратора. Опыты показали, что результаты сепарирования

Рис. 3. Зависимость $\frac{c_0}{c_0 - c_{\text{ф}}}$ от производительности сепаратора V :
1 — паспортная сборка; 2 — сборка ротора при двухстороннем питании.



по схемам рис. 1а, б существенно не отличаются друг от друга. Результаты разделения по паспортной схеме питания и питанием пакета жидкой смесью одновременно снизу и сверху приведены на рис. 3. Здесь приведена зависимость симплекса концентраций $\frac{c_0}{c_0 - c_{\text{ф}}}$ ($c_0, c_{\text{ф}}$ — содержание дисперсной фазы до и после сепарирования) от производительности сепаратора V . Из представленных данных следует, что имеется возможность осуществления процесса сепарирования при двухстороннем питании жидкостью пакета тарелок, т. е. эффективность процесса при этом существенно выше. Так, например, при производительности $2,36 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ при одностороннем питании пакета тарелок содержание дисперсной фазы составляет 0,07%, а при двухстороннем — 0,13%, т. е. эффективность разделения почти в два раза выше [4, 5].

Ленинградский политехнический институт им. М. Гасмана

30. IX 1982

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов В. И. Центрифугирование. — М.: Химия, 1976. — 108 с.
2. Липатов Н. Н. Сепарирование в молочной промышленности. — М.: Пищевая промышленность, 1971. — 400 с.
3. Романков П. Г., Плюшкин С. А. Жидкостные сепараторы. — Л.: Машиностроение, 1976. — 256 с.
4. Отчет НИИХИММАШ по теме № 1561. — М.: НИИХИММАШ, 1970. — 58 с.
5. Туросян Д. С. Повышение эффективности сепарирования с помощью выравнивания нагрузки пакета тарелок. В сб.: Тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции «Технология и техника мясной и молочной промышленности на основе современных исследований», М., 1981, с. 78 — 79.

Ի Ո Վ Ա Ն Դ Ե Ա Կ Ո Ւ Թ Յ ՈՒ Ն

Ն. Տ. Սարգսյանի ձեռքյան 60-ամյակի առթիվ 3

ՄԻՔԵՆԱՀԻՆՈՒԹՅՈՒՆ

Ի. Ի. Յանկով, Գ. Դ. Պետրոսյան, Մ. Գ. Ստուկան: Մեքենաների մասերի ծախսն դիմաց-
կունութիւնն ըստ ընդհանուր մակերեսային պլանտին դեֆորմացիայով 6

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ

Լ. Գ. Աղևկյան: Եռամեծիսայական սինթետիկ դինամիկ կոսյունոսյան զեռահատումը հաս-
տատունն իտանքի սոկկայոսյան զեպքով 13

ՀԻԳՐՈՏԵՆՆԻԿԱ

Ո. Շ. Նորիջանյան, Է. Հ. Նալատրյան: Հնչման սկզբնական գրադիենտի ուղղւոթյունը
համախմբման պրոցեսի վրա 22

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

Լ. Ա. Դրիզուրյան, Գ. Ի. Մարկարով: Գլանաձի մաղնիսական զոմեններով խշոզ համա-
սարքերում ինֆորմացիոնի զինամիկ վերադասակարգման հաճանական վերլուծումը 26

Շ. Ո. Դանիելյան, Գ. Դ. Մառլոսյան, Գ. Գ. Հարունյանց, Վ. Լ. Բարսեղյան, Ո. Ո. Խա-
չատրյան: Խողովակավոր ուսկնաքի կեղծ ստատիկ ռեժիմի ուպտիմիզացում
միջին արտադրողանությանն ուսմանափականն զեպքով 27

ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

Պ. Գ. Հակոբյան: Հաստականության պարամետրական փոխակերպիչի ուղմուկների վեր-
լուծումը 39

ՁԻՐՄՈՏԵՆՆԻԿԱ

Պ. Խ. Ազարյան, Ս. Ի. Ներսիսյան: Տրանսֆորմատորների ուղղահայաց տարւ պատերի
վրա ազատ կոնվենկցիանն ու ջերմափոխաւնցումը զորմնականորեն բխողազա միջա-
վայրում 42

ԳԻՏԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐ

Ձ. Ո. Թառոսյան: Զատման արդյունավետության վրա ազդեցիկ հովաքածոնի բւռնման
եղանակի աղղւցոթյան հետազոտումը 47

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
К 60-летию со дня рождения Ф. Т. Саркисяна	3

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Н. Н. Янкоп, Г. Д. Петросян, М. Г. Стакян Попытки улучшить пластичность деталей машин поверхностным пластическим деформированием	6
--	---

ЭНЕРГЕТИКА

Л. Г. Агекян Оценка динамической устойчивости трехмашинной схемы, включающей передачу постоянного тока	15
--	----

ГИДРОТЕХНИКА

С. Ш. Нуриджанян, Э. А. Хачатрян Влияние начальной температуры матрицы на процесс консолидации	22
--	----

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Л. А. Григорян, Г. И. Маркарян Вероятностный анализ динамического перераспределения информации в запоминающих устройствах на цилиндрических магнитных дисках	26
А. С. Давидян, Г. Г. Марджанян, Г. Г. Арумянц, В. Л. Бирсегян, С. С. Хачатрян Оптимизация квалитатического режима в трибчатом реакторе при изменении по средней производительности	33

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

Р. Г. Акопян Анализ шумов параметрического преобразования частоты	38
---	----

ТЕПЛОТЕХНИКА

Л. Е. Азарян, С. Г. Нерсисян Свободная конвекция и теплообмен вертикальной горячей стенки трансформатора в практически «спокойном» пространстве	42
---	----

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Д. С. Торосян Исследование влияния способа загрузки пакета тарелок на эффективность сепарирования	47
---	----