

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Журнал издается с 1948 г.
Выходит 6 раз в год на русском языке

Կ Մ Բ Ա Պ Դ Ը Կ Ա Ն Կ Ո Ն Ե Պ Ի Ա

Կասյան Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Ադոնց Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Իգերսենսկի Վ. Վ., Զադոյան Մ. Ա., Հակոբյան Ռ. Ե.,
Սարգսյան Յու. Լ., Ստեփանյան Մ. Գ., Տեր-Ազարե Ի. Ա.,
Փինաջյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Պատասխանատու խմբագիր Ստեփանյան Զ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (ответ. редактор), Адопц Г. Т. (зам. ответ. редактора),
Алексеевский В. В., Акопян Р. Е., Задоян М. А.,
Пинаджян В. В. (зам. ответ. редактора), Саркисян Ю. Л.,
Стакян М. Г., Тер-Азарьев И. А.
Ответственный секретарь Степанян З. К.

Л. Е. САРКИСЯН

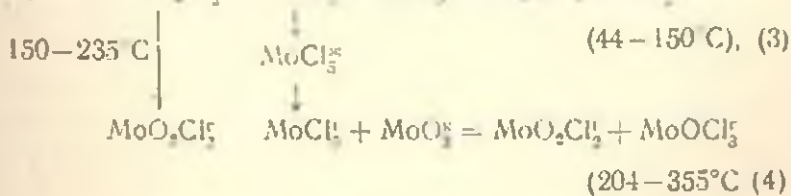
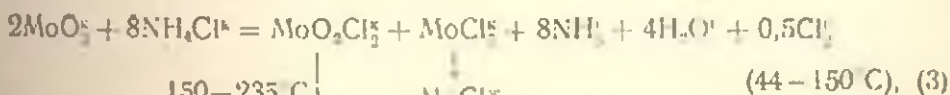
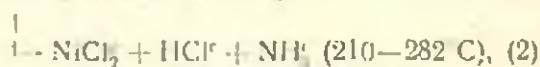
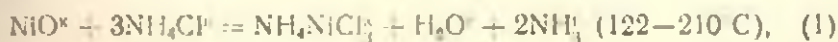
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ
ПРЕЦИЗИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ СПЛАВОВ

Преимущественное применение методов порошковой металлургии для получения сплавов и материалов с особыми физическими свойствами обусловлено более высокой точностью выполнения заданного химического состава по основным компонентам, чистотой по вредным примесям, а также отсутствием ликвационных неоднородностей и других структурных дефектов, присущих литым сплавам.

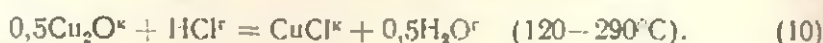
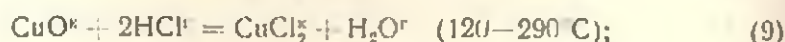
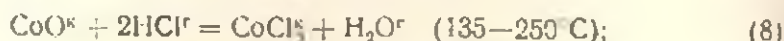
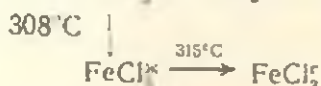
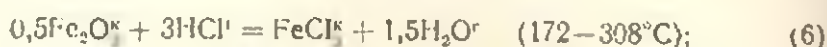
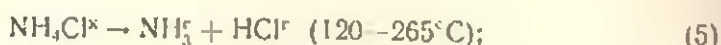
При изготовлении изделий по порошковой технологии наиболее высокий уровень их свойств достигается в случае использования порошков сплавов с точно заданным химическим составом. Исходя из этого, при создании железоникелевых порошковых сплавов с заданными магнитными и теплофизическими свойствами [1—6], помимо обеспечения вышеуказанных факторов, важной задачей являлась полная гомогенизация компонентов сплава в процессе изготовления порошков.

Технологический процесс включает синтез исходных оксидов NiO , Fe_2O_3 , CoO , CuO и MoO_3 (квалификации ЧДА) и последующее восстановление синтезированных оксидных соединений до порошковых сплавов заданного состава. Гомогенность достигается посредством выравнивания концентраций компонентов оксидных смесей на стадии синтез-процесса при обжиге их в герметизированных тиглях до 1100—1150°С. При этом с целью активации и ускорения синтез-процесса в исходные смеси добавляли хлористый аммоний в количестве 2—4%.

Комплекс исследований с применением дериватографического (Q — 1500Д), магнитного, рентгеноструктурного и химического анализов показал, что синтез-процесс в начальной стадии сопровождается активным протеканием гетерогенных химических взаимодействий оксидов с хлористым аммонием

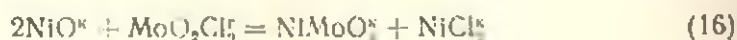
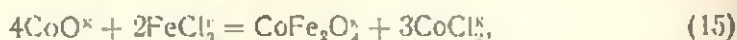
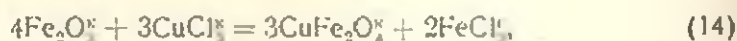
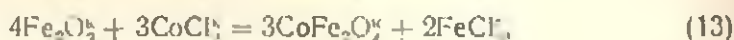
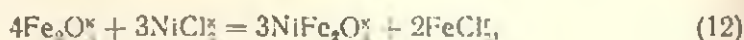
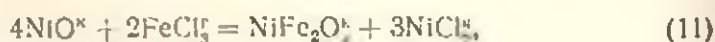


и хлористым водородом, выделившимся в результате разложения NH_4Cl :



Это способствует переводу части веществ в хлоридную фазу (твердую и газовую), обладающую аномально высокой подвижностью ионов, и следовательно, высокой диффузионной активностью, а также возникновению различных видов неравновесных дефектов структуры, являющихся активными центрами. Наблюдается значительное повышение теплоемкости оксидов, способствующее их дополнительной активации. В 10—15 раз увеличивается величина удельной поверхности порошков.

Одновременно с хлорированием оксидов, в температурном интервале до 400°C и при более высоких температурах развиваются обменные взаимодействия

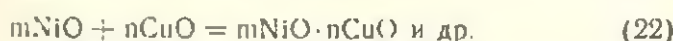
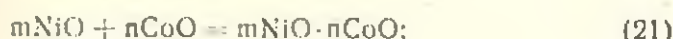
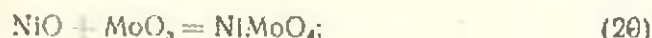
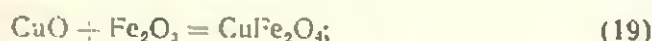
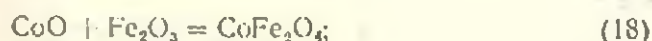
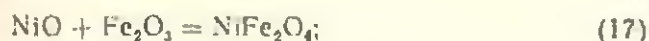


и другие циклически повторяющиеся обменные реакции с выделением ферритов, молибдатов и др.

Действительно, как показали магнитный и рентгенофазовый анализы, в системе $\text{NiO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-4\% \text{NH}_4\text{Cl}$ при 400°C образуется уже около 1% NiFe_2O_4 . При температуре 550°C содержание феррита-никеля в оксидной смеси достигает 4,5—5%, а при 650°C — около 35%.

В температурном интервале $650-850^\circ\text{C}$ наблюдается резкое возрастание содержания феррита (72—75% при 800°C). Это объясняется тем, что при $\sim 680^\circ\text{C}$ $\alpha-\text{Fe}_2\text{O}_3$ начинает переходить в активную γ -фа-

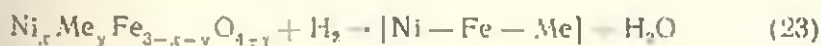
зу, и вместе с обменными реакциями (11) — (16) получает развитие твердофазная диффузия по реакциям:



По мере расходования газовой фазы происходит разложение оставшихся кристаллических хлоридов по поверхности оксидов кислородом воздуха, проникшего в реакционное пространство, с интенсивным образованием многокомпонентных оксидных соединений.

При температурах 1100—1500°С процесс гомогенизации полностью завершается. В системе $\text{NiO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ (при участии активизирующей добавки NH_4Cl) образуются соединения типа $\text{Ni}_x\text{Fe}_{3-x-y}\text{O}_{4+y}$, обладающие ферромагнетизмом и структурой шпиннели. В многокомпонентных системах образующиеся ферриты (CoFe_2O_4 , CuFe_2O_4), молибдаты и другие соединения легирующих компонентов при высоких температурах изоморфно растворяются в железоникелевой шпиннели в виде твердых растворов со структурой, отвечающей общей формуле $\text{Ni}_x\text{Me}_y\text{Fe}_{3-x-y}\text{O}_{4+y}$, где $\text{Me} = \text{Co}, \text{Cu}, \text{Mo}$ и др.

Изучение кинетики и механизма восстановления синтезированных твердых растворов показало, что в процессе восстановления (500—750°С) они ведут себя как химические соединения. В начальных и последующих стадиях реакции восстановления



не происходят каких-либо промежуточных кристаллических превращений, а имеет место постепенное обеднение кислородом оксидного твердого раствора с сохранением исходной решетки.

По данным рентгеноструктурного (ДРОН-2) и рентгеноспектрального микрозондового (JXA-5) анализов восстановленные порошки представляют собой гомогенные порошковые сплавы аустенитного класса (γ -твердые растворы) с достаточно равномерным распределением элементов.

Порошковые сплавы по сравнению с литыми аналогичного состава отличаются высокой точностью заданного состава по основным компонентам (колебание не более $\pm 0,2\%$) и повышенной чистотой (P и S не более $0,004\%$, $Mn \leq 0,08\%$, $Si \leq 0,002\%$, $O_2 \leq 0,04\%$, C не обнаружен). Порошки обладают хорошими технологическими свойствами, прессуются и спекаются при приемлемых температурах и выдержках.

Магнитные свойства порошковых сплавов вполне сопоставимы со свойствами стандартных сплавов аналогичного состава. Низколегированные сплавы отличаются сильной зависимостью индукции магнитного насыщения от температуры. У средне- и высоколегированных сплавов такая зависимость проявляется только вблизи температуры Кюри. Введение кобальта повышает температуру Кюри сплавов, а молибден снижает ее. Это позволило создать гамму новых сплавов с заданной температурой Кюри. Кроме того, введение молибдена в бинарные порошковые сплавы резко повышает электросопротивление, улучшает магнитные свойства.

Порошковые сплавы с заданными свойствами теплового расширения (типа инвар и ковар) отличаются более стабильными значениями ТКЛР, что обеспечивает их надежную работу в устройствах, а также в соединениях «металл-стекло» и др.

ГрИИ им. К. Маркса

4 VII 1985

Լ. Խ. ՍԱՐԿԻՍՅԱՆ

ՀԵՊԻՏ ՓՈՇԵԶԱՄԱՉՈՒՂՎԱԾՔՆԵՐԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ՅԻՋԻՎԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱԿԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱԶԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Շարադրված են ամոնիումի քլորիդի (NH_4Cl) մասնակցությամբ $\text{NiO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{NiO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{CoO}$, $\text{NiO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{CoO}-\text{CuO}$ և $\text{NiO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{MoO}_3$ օքսիդային համակարգերի սինթեզման ինչպես նաև սինթեզված բաղադրատարրիչ օքսիդային պինդ լուծույթների վերականգնման ընթացքում տեղի ունեցող ֆիզիկա-քիմիական պրոցեսները: Ցույց է տրված, որ սինթեզ-պրոցեսը ուղեկցվում է ակտիվորեն ընթացող փոխանակման հետևողական փոփոխությամբ, որոնք նպաստում են օքսիդների ինտենսիվ փոխազդմանը: Հոմոգեն օքսիդային պինդ լուծույթների դոպանգամբ: Օքսիդային պինդ լուծույթները չրաձևով վերականգնվում են մեկ ընթացքանով, առանց միջանկյալ բյուրեղագրաֆիկ փոխակերպումների: Վերականգնված փոշիները իրենցից ներկայացնում են առատենիտային դասի հոմոգեն փոշի համաձուլվածքներ, որոնք իրենց հատկություններով չեն զիջում համանման բաղադրությամբ ստանդարտ համաձուլվածքներին:

ЛИТЕРАТУРА

1. Саркисян Л. Е. Исследование и разработка технологии получения порошковых пермаллоидных сплавов и изучение их магнитных свойств: Автореф. дис. ... канд. техн. наук — Л., 1972 — 25 с.
2. Саркисян Л. Е., Сафарян А. Б. Технология получения порошкового железоникель-кобальтового сплава. — Промышленность Армении, 1979, № 11, с. 35—37.
3. Саркисян Л. Е., Сафарян А. Б. Исследование технологии получения порошкового сплава инвар. — Промышленность Армении, 1981, № 7, с. 19—21.

4. Саркисян Л. Е., Тер-Мкртчян Д. К. Исследование процессов получения спеченных термомагнитных сплавов. — Промышленность Армении, 1982, № 9, с. 31—33.
5. Манукян Н. В., Саркисян Л. Е., Тер-Мкртчян Д. К. Получение и свойства спеченного сплава ЗОН. — В кн.: Теория и практика порошковой металлургии: Межауз. тематич. сб. научн. тр. по порошковой металлургии, Ереван, 1982, с. 5—15.
6. Саркисян Л. Е., Тер-Мкртчян Д. К. Магнитные свойства порошковых никельжелезо-мanganese сплавов. — В кн.: Усовершенствование технологических процессов в цветной металлургии: Межауз. тематич. сб. научн. тр. Ереван, 1985, с. 28—32.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 2, 1987

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

З. Г. ТЕР-МАРТИРОСЯН, Р. Г. МАНВЕЛЯН

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ГРУНТОВОМ МАССИВЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРИОДИЧЕСКИ РАСПОЛОЖЕННЫХ НОРМАЛЬНЫХ НАГРУЗОК НА ЕГО ГРАНИЦЕ

В инженерной практике часто встречаются случаи, когда грунтовой массив подвергается действию периодически расположенных равномерно-распределенных нормальных полосовых нагрузок. Так, например, ленточные фундаменты, расположенные на определенном расстоянии друг от друга, создают сложное напряженное состояние в грунтовой основе, которое необходимо прогнозировать для расчета его по предельным состояниям. Аналогичное напряженное состояние возникает также при взаимодействии ряда свай, удерживающих вертикальный откос или оползневой массив.

Существующие теории расчета оснований сооружений [1] в принципе позволяют учитывать взаимное влияние близко расположенных двух или трех конструкций на напряженно-деформированное состояние массива грунта. Однако при периодическом их расположении учет такого влияния традиционными методами связан с большим объемом расчетов.

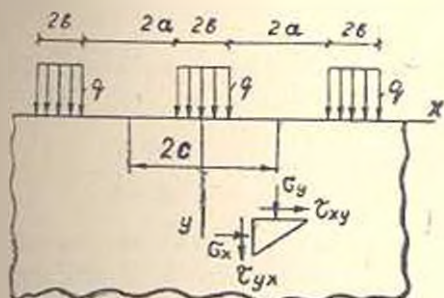


Рис. 1. Расчетная схема распределения напряжений в линейно-деформируемом полупространстве при нормальных нагрузках на его границе.

В настоящей работе в рамках плоской задачи теории упругости дается попытка оценить закономерность распределения напряжений в грунтовой массе под действием периодически расположенных нормальных полосовых нагрузок на его границе.

4. Саркисян Л. Е., Тер-Мкртчян Д. К. Исследование процессов получения спеченных термомагнитных сплавов. — Промышленность Армении, 1982, № 9, с. 31—33.
5. Манукян Н. В., Саркисян Л. Е., Тер-Мкртчян Д. К. Получение и свойства спеченного сплава ЗОН. — В кн.: Теория и практика порошковой металлургии: Межауз. тематич. сб. научн. тр. по порошковой металлургии, Ереван, 1982, с. 5—15.
6. Саркисян Л. Е., Тер-Мкртчян Д. К. Магнитные свойства порошковых никельжелезо-мanganese сплавов. — В кн.: Усовершенствование технологических процессов в цветной металлургии: Межауз. тематич. сб. научн. тр. Ереван, 1985, с. 28—32.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 2, 1987

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

З. Г. ТЕР-МАРТИРОСЯН, Р. Г. МАНВЕЛЯН

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ГРУНТОВОМ МАССИВЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРИОДИЧЕСКИ РАСПОЛОЖЕННЫХ НОРМАЛЬНЫХ НАГРУЗОК НА ЕГО ГРАНИЦЕ

В инженерной практике часто встречаются случаи, когда грунтовой массив подвергается действию периодически расположенных равномерно-распределенных нормальных полосовых нагрузок. Так, например, ленточные фундаменты, расположенные на определенном расстоянии друг от друга, создают сложное напряженное состояние в грунтовом основании, которое необходимо прогнозировать для расчета его по предельным состояниям. Аналогичное напряженное состояние возникает также при взаимодействии ряда свай, удерживающих вертикальный откос или оползневой массив.

Существующие теории расчета оснований сооружений [1] в принципе позволяют учитывать взаимное влияние близко расположенных двух или трех конструкций на напряженно-деформированное состояние массива грунта. Однако при периодическом их расположении учет такого влияния традиционными методами связан с большим объемом расчетов.

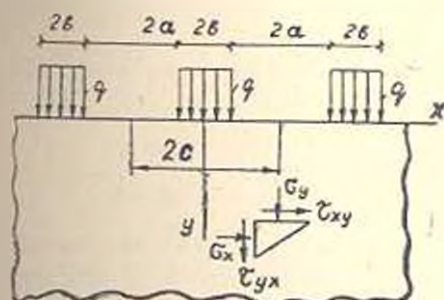


Рис. 1. Расчетная схема распределения напряжений в линейно-деформируемом полупространстве при нормальных нагрузках на его границе.

В настоящей работе в рамках плоской задачи теории упругости дается попытка оценить закономерность распределения напряжений в грунтовом массиве под действием периодически расположенных нормальных полосовых нагрузок на его границе.

Пусть на границе линейно-деформируемого однородного грунтового полупространства (рис. 1) действует периодически расположенная нормальная полосовая нагрузка интенсивностью q на ширину $2b$ с расстоянием между ними $2a$, т. е. с периодом $2c = 2(b + a)$.

В этом случае функция напряжений может быть взята в виде [2]:

$$L(x, y) = q \frac{bx^2}{2c} - \frac{2qc^2}{\pi^3} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{A_n}{n^3} \frac{\pi nb}{c} \left(1 + \frac{\pi ny}{c}\right) \times \\ \times \exp\left(-\frac{\pi ny}{c}\right) \cos \frac{\pi nx}{c} \quad (1)$$

где A_n — коэффициенты, определяемые из граничного условия для нормальных напряжений, которые можно представить в виде ряда

$$\sigma_y = \frac{\partial^2 L}{\partial x^2} = \frac{2qb}{c} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi n} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{\pi nb}{c} \cos \frac{\pi nx}{c} \right] \quad (2)$$

Тогда, воспользуясь граничными условиями (2), функцию напряжений можно представить в виде

$$L(x, y) = q \frac{bx^2}{2c} - q \frac{2c^2}{\pi^3} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n^3} \sin \frac{\pi nb}{c} \left(1 + \frac{\pi ny}{c}\right) \times \\ \times \exp\left(-\frac{\pi ny}{c}\right) \cos \left(\frac{\pi nx}{c}\right) \quad (3)$$

Компоненты напряжений в грунтовом массиве могут быть определены на основании известных соотношений:

$$\sigma_y = \frac{\partial^2 L}{\partial x^2}; \quad \sigma_x = \frac{\partial^2 L}{\partial y^2}; \quad \tau_{xy} = \frac{\partial^2 L}{\partial x \cdot \partial y}$$

следующим образом:

$$\sigma_y = q \left[\frac{b}{c} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{\pi nb}{c} \left(1 + \frac{\pi ny}{c}\right) \exp\left(-\frac{\pi ny}{c}\right) \cos \frac{\pi nx}{c} \right]; \\ \sigma_x = \frac{2q}{\pi} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{\pi nb}{c} \cos \frac{\pi nx}{c} \left(1 - \frac{\pi ny}{c}\right) \exp\left(-\frac{\pi ny}{c}\right); \quad (4) \\ \tau_{xy} = \frac{2qy}{\pi} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{\pi nb}{c} \sin \left(\frac{\pi nx}{c}\right) \exp\left(-\frac{\pi ny}{c}\right).$$

Таким образом, поставленная задача о распределении напряжений в грунтовом массиве под действием периодически расположенных нормальных полосовых нагрузок на его границе в рамках теории линейно-деформируемого полупространства решена полностью. Она позволяет в первом приближении и с достаточной для практических расчетов точностью определить все компоненты напряжений в грунтовом массиве

и, следовательно, приступить к расчетам по предельным состояниям. Очевидно, что на основании этого решения можно получить и выражения для компонентов деформации на основе обобщенного закона Гука.

На основании формулы (4) были рассчитаны примеры и построены изолинии напряжений и коэффициентов прочности для различных соотношений b/a (рис. 2, 3).

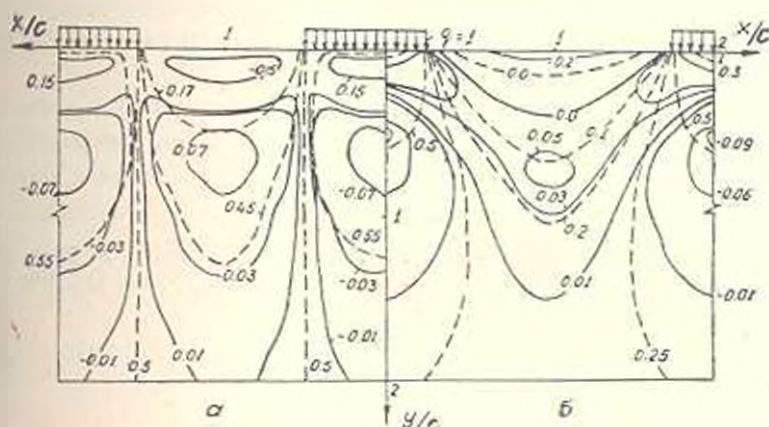


Рис. 2. Изолинии напряжений σ_x (сплошные линии) и τ_{xy} (пунктир) при $b/a = 1$ (а) и при $b/a = 1.3$ (б) в относительных координатах x/c и y/c при $q = 1$ мПа.

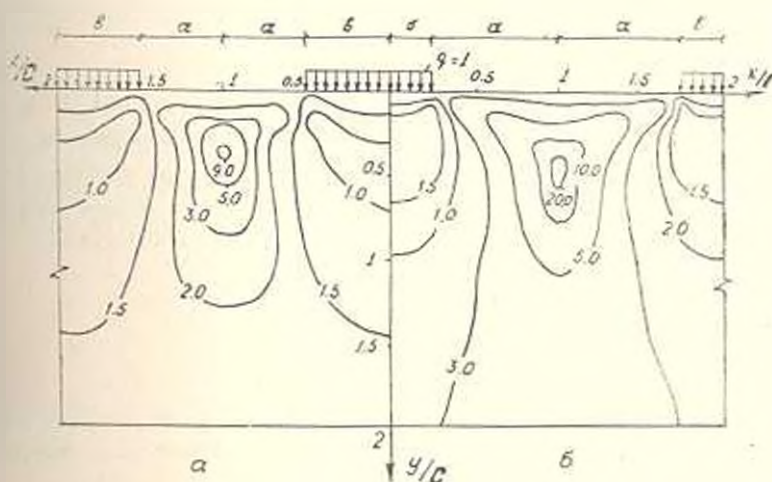


Рис. 3. Изолинии коэффициентов прочности k_d , рассчитанные по формуле (5) при $b/a = 1$ (а) и при $b/a = 1.3$ (б) для следующих параметров: $q = 0.2$ мПа, $2b = 2$ м, $c = 0.07$ мПа, $\varphi = 15^\circ$.

Значения коэффициентов прочности грунта рассчитаны по формуле [3]:

$$k_d = \frac{2\sigma_{\max} \cos \varphi}{c + \lg \varphi (\tau_1 + \tau_2 - 2\sigma_{\max} \sin \varphi)} \quad (5)$$

где c — сцепление; φ — угол внутреннего трения.

Представленный на рис. 3 пример соответствует случаю, когда $q = 0.2 \text{ МПа}$, $c = 0.07 \text{ МПа}$, $\varphi = 15^\circ$, $2b = 2 \text{ м}$, $b/a = 1$ (рис. 3а) и $b/a = 1/3$ (рис. 3б).

Как видно из приведенных рисунков, в зависимости от соотношения b/a характер распределения напряжений меняется существенно. С увеличением b/a напряжение σ_x и σ_y увеличивается, τ_{xy} уменьшается, а область пластического течения (при прочих равных условиях) уменьшается. Следовательно, изменяя соотношения b/a и величину q , можно управлять напряженным состоянием массива грунта таким образом, чтобы он находился в допредельном состоянии.

На основании полученного решения можно прогнозировать напряженное состояние в грунтовом полупространстве при периодически расположенных конструкциях в виде ленточных фундаментов или свайного ряда, удерживающего вертикальный откос или оползневый массив и, следовательно, определить оптимальное расстояние между ними из условия отсутствия пластической зоны или из условия заданной глубины развития этой зоны.

Лей. фил. ЕрПИ им. К. Маркса

13. VI 1985

Ձ. Գ. ՏԵՐ-ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ռ. Գ. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ

ԲՆԱՀԱՆՈՒՄԻ ՉԱՆԳՎԱԾՈՒՄ ԼԱՐՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ԲԱՇԽՈՒՄԸ ՆՐԱ ՍԱՀՄԱՆՈՒՄ ՊԱՐԲԵՐԱՐԱՐ ՏԵՂԱՐԱՇԽՎԱԾ ՆՈՐՄԱԼ ԲԵՌՆԵՐԻՑ

Ա Մ Փ Ն Փ Ն Մ

Առաձգականության տեսության հարթ խնդրի շրջանակներում դիտարկվում է հարթ ունեֆոլ բնահողային դանկվածի լարվածային վիճակը սյուրբերալար տեղաբաշխված նորմալ բեռներից, որոնք ազդում են նրա մակերևույթի վրա: Ստացված բանաձևերի հիման վրա լուծված են օրինակներ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Цытович Н. А. Механика грунтов.— М.: 1963.— 288 с.
2. Исаев А. Пластичность и разрушение твердых тел.— М.: Т.Г.М., 1969 — 86: с
3. Цытович Н. А., Тер-Мартirosян Э. Г. Основы прикладной геомеханики в строительстве.— М.: 1981.— 317 с.

В. С. САФАРЯН

ПРИМЕНЕНИЕ ДРОБНО-ЛИНЕЙНЫХ ФУНКЦИЙ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ К ИССЛЕДОВАНИЮ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Линейной электрической цепью (ЛЭЦ) назовем систему S_n из n линейных уравнений

$$YU = I, \quad (1)$$

где $Y = \{y_{ij}\}$, $i, j = \overline{1, n}$ — квадратная матрица порядка n ; $U = \{U_i\}$; $I = \{I_i\}$, $i = \overline{1, n}$ — векторы-столбцы порядка n , удовлетворяющие условиям: а) $y_{ij} = y_{ji}$, $i, j = \overline{1, n}$; б) $y_{ii} = -\sum_{j=1}^n y_{ij}$, $i = \overline{1, n}$, $j \neq i$; в) $\sum_{i=1}^n I_i = 0$; г) в каждой строке (столбце) матрицы Y имеется хотя бы два ненулевых элемента.

Векторы U и I назовем соответственно выходным и входным векторами. Будем считать, что неориентированный связанный граф $G = G(V, E)$ наделен структурой ЛЭЦ, если:

- 1) каждому ребру $(i, j) \in E$, $i, j \in V$ графа G сопоставлено комплексное число Z_{ij} , называемое весом ребра, причем, $Z_{ij} = Z_{ji} \neq 0$;
- 2) каждой вершине $i \in V$ графа G сопоставлены две величины U_i и I_i ;
- 3) установлено однозначное отображение $\varphi: G \rightarrow S_n$, где считаем $\varphi(I_i) \equiv I_i$, $\varphi(U_i) \equiv U_i$,

$$y_{ij} = \begin{cases} -\frac{1}{Z_{ij}}, & \text{если } (i, j) \in E, \\ 0, & \text{если } (i, j) \notin E. \end{cases}$$

Если $\operatorname{Re} y_{ij} \leq 0$, $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{i+1, n}$, то ЛЭЦ называется реальной. Отметим, что существует обратное однозначное отображение: $\varphi^{-1}: S_n \rightarrow G$, т. е. φ биективное отображение. При фиксированных матрицах преобразования Y и входном векторе I существует бесконечное множество выходных векторов U , отличающихся друг от друга на константу.

Определение. Свертыванием [1] (метод исключения Гаусса) k -ой вершины G (k -ого уравнения S_n) назовем следующее преобразование:

1. Матрица преобразования Y справа умножается на матрицу

$$A = \{a_{ij}\}, \quad i, j = \overline{1, n},$$

где

$$a_{ii} = 1, \quad i = \overline{1, n}; \quad a_{ik} = -y_{ik}/y_{kk}, \quad i = \overline{1, n}; \quad a_{ij} = 0, \quad i, j = \overline{1, n}, \quad i \neq j, \quad j \neq k.$$

2. Вектор I справа умножается на матрицу A .

3. Порядок ЛЭЦ уменьшается на единицу (исключается k -ая вершина из графы G и k -ое уравнение из S_n).

Теорема. ЛЭЦ инварианта относительно преобразования свертывания.

Для доказательства теоремы необходимо и достаточно показать инвариантность свойств а), б) и в) ЛЭЦ относительно преобразования свертывания.

Согласно определению свертывания: $\Gamma_k: S_n \rightarrow S_{n-1}$;

$$\Gamma_k(y_{ij}) = y_{ij} - y_{ik} y_{kk}^{-1} y_{kj}, \quad i, j = \overline{1, n}; \quad (2)$$

$$\Gamma_k(I_i) = I_i - y_{ik} y_{kk}^{-1} I_k, \quad i = \overline{1, n}.$$

Из выражений (2) непосредственно следует инвариантность а), б), и в) относительно преобразования Γ_k .

$$\Gamma_k(y_{ij}) = \Gamma_k(y_{ji}), \quad i, j = \overline{1, n}; \quad \Gamma_k(y_{ii}) = - \sum_{j=1}^n \Gamma_k(y_{ij}), \quad i = \overline{1, n};$$

$$\sum_{i=1}^n \Gamma_k(I_i) = 0.$$

Свойство реальности ЛЭЦ может быть неинвариантно относительно отображения Γ_k , т. е. если $\operatorname{Re} y_{ij} \leq 0$, $\operatorname{Re} y_{ik} \leq 0$, $\operatorname{Re} y_{kj} \leq 0$, $\operatorname{Re} y_{kk} \leq 0$, то это вовсе не означает, что $\operatorname{Re} \Gamma_k(y_{ij}) \leq 0$.

Определение. ЛЭЦ называется элементарной, если граф $G = \gamma^{-1}(S_n)$ имеет две или три вершины.

В элементарной ЛЭЦ (рис. 1) компонент выходного вектора U выражается через вес ребра дробно-линейной функцией комплексной переменной. Для элементарной ЛЭЦ имеем:

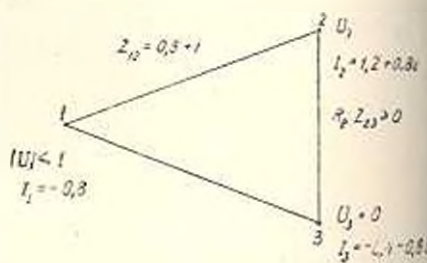


Рис. 1.

$$\begin{vmatrix} I_1 + I_2 + I_3 = 0 \\ \frac{1}{Z_{12}} + \frac{1}{Z_{13}}, & -\frac{1}{Z_{13}}, & -\frac{1}{Z_{13}} \\ -\frac{1}{Z_{12}}, & \frac{1}{Z_{12}} + \frac{1}{Z_{23}}, & -\frac{1}{Z_{23}} \\ -\frac{1}{Z_{13}}, & -\frac{1}{Z_{23}}, & \frac{1}{Z_{13}} + \frac{1}{Z_{23}} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Принимая $U_3=0$, из (3) получаем:

$$\begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{Z_{12} + Z_{13}}{Z_{12} Z_{13}}, & -\frac{1}{Z_{12}} \\ -\frac{1}{Z_{12}}, & \frac{Z_{12} + Z_{23}}{Z_{12}} \end{pmatrix}^{-1} \times \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Раскрывая (4), для U_1 имеем:

$$U_1 = \frac{Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}} [(Z_{12} + Z_{23}) I_1 + Z_{23} I_2]. \quad (5)$$

Из (5) видно, что U_1 выражается через вес ребра дробно-линейной функцией. Теперь покажем, что для сложной ЛЭЦ ($|V| > 3$) компонент вектора U_m выражается через вес ребра $(i, j) \in E$ линейно-дробной функцией комплексной переменной

$$U_m = L(Z_{ij}) = \frac{a Z_{ij} + b}{c Z_{ij} + d}, \quad (6)$$

где a, b, c, d — фиксированные комплексные числа (c и d одновременно не равны нулю), выраженные через компоненты входного вектора I и вес ребер, кроме (i, j) .

Применяя неоднократное преобразование свертывания, сложную ЛЭЦ можно свести к элементарной, сохраняя лишь вершины $m, -i, j \in V$ (если $m=i$ или j , то получается элементарная ЛЭЦ с двумя вершинами). Легко заметить, что произведение $L_1 L_2$ двух дробно-линейных отображений L_1 и L_2 есть также дробно-линейное отображение [2]. Заметим, что преобразование свертывания (2) также является дробно-линейным. Таким образом, т. к. отображение $U = L(Z)$ складывается произведением дробно-линейных отображений, есть снова дробно-линейное. Если $ad - bc \neq 0$, то $L(Z) = \text{const} = \frac{a}{c}$. Для ЛЭЦ это означает, что вершина $i(j)$ является висющей и $m \neq i$ ($m \neq j$).

В заключение рассмотрим следующую задачу: построить элементарную ЛЭЦ, конформно отображающую правую полуплоскость $\text{Re } Z \geq 0$ на единичный круг $|U| \leq 1$ (рис. 2).

Для решения поставленной задачи установим следующее соответствие граничных точек данных областей:

$$Z_1 = i \rightarrow U_1 = i; \quad Z_2 = 0 \rightarrow U_2 = -1; \quad Z_3 = \infty \rightarrow U_3 = 1. \quad (7)$$

Дробно-линейную функцию (6) можно записать в эквивалентной форме:

$$U = \lambda \frac{\alpha + Z}{\beta + Z}; \quad \lambda = \frac{a}{c}; \quad \alpha = \frac{b}{a}; \quad \beta = \frac{d}{c}; \quad \alpha \neq \beta.$$

Из условий (7) найдем значения α, β, λ .

$i = \lambda \frac{\alpha + i}{\beta + i}$; $-1 = \lambda \frac{\alpha}{\beta}$; $\lambda = 1$, откуда $\lambda = \beta = 1$, $\alpha = -1$. Тем самым, функция, осуществляющая искомое отображение, имеет вид:

$$U = \frac{Z-1}{Z+1}; \quad Z \neq -1. \quad (8)$$

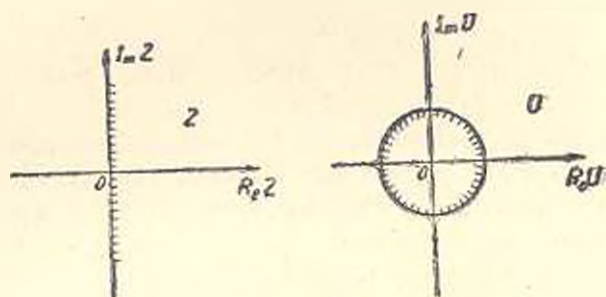


Рис. 2.

В элементарной ЛЭЦ (рис. 1), принимая в качестве ребра с переменным весом ребро (2, 3), для компонента U , выходного вектора имеем:

$$U_1 = \frac{Z_{12}(I_1 + I_2)Z + Z_{13}Z_{12}I_1}{Z + Z_{12} + Z_{13}}. \quad (9)$$

Из (8) и (9) получаем:

$$Z_{12} + Z_{13} = 1; \quad Z_{12}(I_1 + I_2) = 1; \quad Z_{13}Z_{12}I_1 = -1. \quad (10)$$

Из множества решений (10) выбираем одно такое, при котором элементарная ЛЭЦ получается реальной (рис.). Полагая $Z_{12} = 0,5 + i$ и $Z_{13} = 0,5 - i$, для I_1 и I_2 получаем: $I_1 = -0,8$; $I_2 = 1,2 + i0,8$.

Аналогичным образом можно определить область изменения U_2 при $\text{Re } Z_{23} > 0$.

АрмИИИЭ

25. IV. 1984

Վ. Ս. ՍԱՅՐՔԱՆ

ԿՈՄՊԼԵՔՍ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ԿՈՏՈՐԱԿԱՆ-ԳԾԱՅԻՆ ՖՈՒՆԿՏԻՆԱՆԵՐԻ ԿՐԱՌՈՒՄԸ
ԳԻՄՆԻՆ ԷԼԵՄԵՆՏԱՐ ԶԳՐԱՆԵՐԻ շԵՍԱԶՈՏՈՐԱՆ ՄԵՋ

Ա. Վ. ՓԻՆՓԻՆ

Ցույց է տրվում, որ գծային էլեկտրական շղթաների հանգույցային կոմպլեքս լարումը արտահայտվում է ճյուղի լրիվ (կոմպլեքս) դիմադրությամբ կոտորակա-գծային ֆունկցիայի միջոցով: Հետևաբար, այն բոլոր հատկությունները, որոնցով օժտված են կոմպլեքս փոփոխականի կոտորակա-գծային ֆունկցիաները, կարելի է վերադրել նաև գծային էլեկտրական շղթաներին:

1. Максимович М. Г. Линейные электрические цепи и их преобразование. — М.: Госэнергоиздат, 1961. — 265 с.
2. Маркушевич А. И., Маркушевич Л. А. Введение в теорию аналитических функций. — М.: Просвещение, 1977. — 320 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 2, 1987

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

А. М. КАРАПЕТЯН, Ф. И. ФИНАЕВ, М. Ф. САРИМАХМУДОВ

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРЕДСТАВИМОСТИ МОДЕЛИ ДИСКРЕТНОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ВИДЕ ВЕРОЯТНОГО АВТОМАТА

Общезвестным моделям каналов передачи дискретной информации (КПДИ) присущи существенные недостатки, связанные с детерминистическим подходом, а именно: введение искусственных коэффициентов; невозможность учета медленно меняющихся параметров канала; абстрагирование от реальной помеховой обстановки. Устранить эти недостатки моделей возможно при статистическом подходе и построении модели КПДИ, формально описываемой вероятностным автоматом (ВА).

В настоящее время известен широкий класс представлений ВА [1] для задач моделирования, причем универсальная модель КПДИ может быть реализована на ВА Мура с детерминированными выходами, который функционирует в дискретном времени.

Утверждение 1. Инициальный ВА Мура с детерминированными выходами

$$A = \langle I, Y, \bar{A}, A(I), a_0, \varphi(a) \rangle, \quad (1)$$

где $I, Y, \bar{A}$ — входной, выходной и внутренний алфавиты; $A(I)$ — матрица переходных вероятностей; a_0 — начальное состояние; $\varphi(a)$ — функция выходов, является универсальной автоматной моделью дискретного канала связи.

Доказательство. Утверждать, что ВА является универсальной моделью КПДИ возможно, если: существует идентификация геометрических картин преобразований, осуществляемых КПДИ и ВА; КПДИ описывается полностью стохастическими матрицами, как и ВА; КПДИ эквивалентен и гомоморфен ВА по принципу функционирования.

Рассмотрим геометрическую картину функционирования ВА, которую возможно описать следующим образом:

$$\bar{r}(p) = r(e) L(p), \quad p \in F_L, \quad (2)$$

где $\bar{r}(p) = r(a_i/p)$, $a_i \in \bar{A}$ — вектор состояний;

$\bar{r}(e) = r(a_i)$, $a_i \in \bar{A}$ — стохастический вектор строки.

1. Максимович М. Г. Линейные электрические цепи и их преобразование. — М.: Госэнергоиздат, 1961. — 265 с.
2. Маркушевич А. И., Маркушевич Л. А. Введение в теорию аналитических функций. — М.: Просвещение, 1977. — 320 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 2, 1987

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

А. М. КАРАПЕТЯН, Ф. И. ФИНАЕВ, М. Ф. САРИМАХМУДОВ

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРЕДСТАВИМОСТИ МОДЕЛИ ДИСКРЕТНОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ВИДЕ ВЕРОЯТНОГО АВТОМАТА

Общезвестным моделям каналов передачи дискретной информации (КПДИ) присущи существенные недостатки, связанные с детерминистическим подходом, а именно: введение искусственных коэффициентов; невозможность учета медленно меняющихся параметров канала; абстрагирование от реальной помеховой обстановки. Устранить эти недостатки моделей возможно при статистическом подходе и построении модели КПДИ, формально описываемой вероятностным автоматом (ВА).

В настоящее время известен широкий класс представлений ВА [1] для задач моделирования, причем универсальная модель КПДИ может быть реализована на ВА Мура с детерминированными выходами, который функционирует в дискретном времени.

Утверждение 1. Инициальный ВА Мура с детерминированными выходами

$$A = \langle I, Y, \bar{A}, A(I), a_0, \varphi(a) \rangle, \quad (1)$$

где $I, Y, \bar{A}$ — входной, выходной и внутренний алфавиты; $A(I)$ — матрица переходных вероятностей; a_0 — начальное состояние; $\varphi(a)$ — функция выходов, является универсальной автоматной моделью дискретного канала связи.

Доказательство. Утверждать, что ВА является универсальной моделью КПДИ возможно, если: существует идентификация геометрических картин преобразований, осуществляемых КПДИ и ВА; КПДИ описывается полностью стохастическими матрицами, как и ВА; КПДИ эквивалентен и гомоморфен ВА по принципу функционирования.

Рассмотрим геометрическую картину функционирования ВА, которую возможно описать следующим образом:

$$\bar{r}(p) = r(e) L(p), \quad p \in F_L, \quad (2)$$

где $\bar{r}(p) = r(a_i/p)$, $a_i \in \bar{A}$ — вектор состояний;

$\bar{r}(e) = r(a_i)$, $a_i \in \bar{A}$ — стохастический вектор строки.

Некоторый фиксированный стохастический вектор строки $\bar{\mu}_0 = \bar{\mu}(e) \in T^n$ в процессе функционирования подвергается полугруппе стохастических преобразований с системой образующих $L(I_1), \dots, L(I_n)$, $I_i \in L$, индуцирующей счетную систему векторов Σ_L , полностью принадлежащую комплексу T^n :

$$\Sigma_L = \{\bar{\mu}(p) = \bar{\mu}(e) L(p), p \in F_L\}, T^n: \Sigma_L \in T^n.$$

Покажем, что стохастический процесс в КПДИ описывается стохастическими матрицами, как и ВА. На вход канала подается случайная входная последовательность таких кодовых комбинаций $l(t) = \{l(t_0), l(t_1), l(t_2), \dots\}$, что $l(t) \in L^T$, а при каждом фиксированном $t \in T$ — множество значений параметра времени ($T = \{t_0, t_1, t_2, \dots\}$, $t_0 < t_1 < t_2 < t_3 \dots$) $l(t) \in L$. Таким образом, L^T — множество входных кодовых комбинаций является входным алфавитом модели КПДИ. Кодовые комбинации на выходе КПДИ: $y(t) = \{y(t_i)\}$, причем, $y(t) \in Y^T$ при фиксированных $t \in T$, $y(t) \in Y$, где Y — множество выходных кодовых комбинаций, являющееся выходным алфавитом КПДИ.

Процесс передачи кодовых комбинаций по КПДИ является марковским, поэтому, как и для ВА возможно задать семейство случайных процессов $a(t/t)$ на пространстве элементарных событий $(\omega, N, \mu(I))$. Здесь $\omega = \bar{A}^T$; $\bar{A}$ — числовое множество, определяющее стохастический процесс трансформации кодовых комбинаций при передаче их по каналу; $N = V^*$, где V — G алгебра, заданная на множестве $\bar{A}$; $\mu(e)$ — условная вероятностная мера, заданная на σ алгебре N .

Процесс $a(t/t)$ в КПДИ имеет в этом случае известную для ВА переходную функцию

$$p(a/a(t), l(t)), a \in V, a(t) \in \bar{A}, l(t) \in L.$$

Функционирование КПДИ возможно описать также функцией (2), и геометрическая картина преобразований при функционировании КПДИ будет заключаться в том, что с некоторым фиксированным стохастическим вектором строкой $\bar{\mu}_0 = \bar{\mu}(l) \in T^n$, отображающим стохастический набор переходных вероятностей в процессе функционирования, принадлежит полугруппа стохастических преобразований с системой образующих $L(I_1), \dots, L(I_n)$, $I_i \in L$, индуцирующая счетную систему векторов

$$\Sigma_A = \{\bar{\mu}(p) = \bar{\mu}(e) L(p), p \in F_L\},$$

которая входит в симплекс $T^n: \Sigma_A \in T^n$.

Рассмотрим эквивалентность и гомоморфность КПДИ и ВА по способу функционирования на основе принципов, изложенных в [2, 3].

Определение 1. Вектор состояний $\bar{\mu}$, КПДИ и вектор состояний $\bar{\mu}$, ВА называются эквивалентными при совпадении многотактных ка-

валов специального вида, индуцированных КПДИ и ВА соответственно при векторах состояний $\bar{p}_1 = \bar{p}_{\text{КПДИ}}(e)$ и $\bar{p}_2 = \bar{p}_{\text{ВА}}(e)$, как начальных

$$J_{\text{КПДИ}}^{J_{\text{ВА}}} (q/p) = J_{\text{ВА}}^{J_{\text{КПДИ}}} (q/p), \quad p \in F_L, \quad q \in F_Y, \quad |p| = |q|,$$

где p, q — слова на входе и выходе, а многотактным каналом специального вида при условии, что вероятностная мера $\mu(q/p)$ определена при любых $p \in F_L$ и $q \in F_Y$, называется объект

$$I | L, Y, F_L, F_Y, \mu(q/p)|.$$

Из определения 1 вытекают определения 2 и 3.

Определение 2. Если КПДИ и моделирующий его функционирование ВА имеют одинаковые множества входных и выходных алфавитов, а также одинаковые допустимые множества векторов состояний $Z_{\text{КПДИ}}$ и $Z_{\text{ВА}}$, то КПДИ и ВА эквивалентны, если для каждого вектора состояний $\bar{p}_1 \in Z_{\text{КПДИ}}$ имеется эквивалентный ему вектор состояний $\bar{p}_2 \in Z_{\text{ВА}}$ и обратно — для каждого вектора состояний $\bar{p}_2 \in Z_{\text{ВА}}$ имеется эквивалентный ему вектор состояний $\bar{p}_1 \in Z_{\text{КПДИ}}$, где допустимым множеством векторов состояний Z называется множество векторов состояний $Z \in T^n$, если выполнено условие [3]:

$$ZL(p) \in Z, \quad p \in F_L. \quad (3)$$

Определение 3. КПДИ, описываемый как ВА в виде

$$\text{КПДИ}_{\text{ВА}} < L, Y, A_1, A_1(I), a_0, \varphi_a >$$

с допустимым множеством векторов состояний $Z_{\text{КПДИ}}$, гомоморфно отображается на ВА, моделирующий функционирование КПДИ и описываемый как

$$\text{ВА} < L, Y, \bar{A}_1, A_2(I), a_0, \varphi_a >$$

с допустимым множеством векторов состояний $Z_{\text{ВА}}$, если существует прямоугольная матрица $H = (h_{ij})$ полного ранга с числом строк, равным числу состояний $\text{КПДИ}_{\text{ВА}}$ и с числом столбцов, равным числу состояний ВА, такая, что

$$Z_{\text{ВА}} = Z_{\text{КПДИ}} \quad (4)$$

и для любых $l \in L, y \in Y$

$$A_1(y/l)H = HA_2(y/l). \quad (5)$$

Имея определения 1, 2 и 3, докажем следующее утверждение.

Утверждение 2. Если КПДИ, описываемый как $\text{КПДИ}_{\text{ВА}} < L, Y, \bar{A}_1, A_1(I), a_0, \varphi_a >$ с допустимым множеством векторов состояний $Z_{\text{КПДИ}}$ гомоморфно отображается на ВА, описываемый как $\text{ВА} < L, Y, A_2, A_2(I), a_0, \varphi_a >$ с допустимым множеством векторов состояний $Z_{\text{ВА}}$



согласно условиям (4) и (5), то КПДИ и ВА, моделирующие его функционирование, эквивалентны, причем начальному вектору состояний $\bar{\mu}_{\text{КПДИ}}(e)$ эквивалентен начальный вектор состояний $\bar{\mu}_{\text{ВА}}(e)$.

Доказательство. Если для КПДИ и ВА, моделирующего его функционирование, выполнены условия (4) и (5), то тогда

$$A_1(q/p)H = HA_2(q/p), \quad p \in F_L, \quad q \in F_Y, \quad |p| = |q|. \quad (6)$$

Из условия (4) следует, что в матрице $A_1(I)$ сумма элементов по строкам равна единице. Тогда:

$$\begin{aligned} J_{\text{КПДИ}}^{\text{КПДИ}}(q/p) &= \bar{\mu}_{\text{КПДИ}}(e) A_1(q/p) I_{\text{КПДИ}} = \\ &= \bar{\mu}_{\text{КПДИ}}(e) A_1(q/p) H I_{\text{ВА}} = \bar{\mu}_{\text{КПДИ}}(e) H A_2(q/p) I_{\text{ВА}} = \\ &= \bar{\mu}_{\text{ВА}} A_2(q/p), \end{aligned}$$

при условии

$$\bar{\mu}_{\text{ВА}}(e) = \bar{\mu}_{\text{КПДИ}}(e) H. \quad (7)$$

Таким образом показано, что каждое допустимое распределение $\bar{\mu}_{\text{КПДИ}}(e)$ имеет эквивалентное себе допустимое распределение $\bar{\mu}_{\text{ВА}}(e)$.

Определение 4. КПДИ и ВА, моделирующие процесс функционирования КПДИ, с одинаковыми множествами входных и выходных букв изначально эквивалентны, если для каждого состояния КПДИ найдется эквивалентное ему состояние ВА и обратно — для каждого состояния ВА найдется эквивалентное ему состояние КПДИ.

Определение 5. КПДИ, описываемый как ВА и заданный в виде

$$\text{КПДИ}_{\text{ВА}} < L, Y, A_1, \mu_1(a'_1, y/a_1, e) >$$

гомоморфно отображается на ВА, заданный в виде:

$$\text{ВА} < L, Y, A_2, \mu_2(a'_2, y/a_2, e) >, \quad \text{если существует такое однозначное отображение } \bar{A}_1^* \rightarrow A_2, \quad a_2 = \varphi(a_1),$$

при котором выполняются соотношения:

$$\sum_{a'_2 = \varphi(a'_1)} \mu_1(a'_1, y/a_1, l) = \mu_2(a'_2, y/a_2, l); \quad (8)$$

$$\sum \mu_1(a'_1, y/a_1, l) = \sum \mu_2(a'_2, y/a_2, l), \quad \text{если } \varphi(a'_1) = \varphi(a'_2). \quad (9)$$

Следствие. Пусть КПДИ по принципу функционирования гомоморфно отображается на ВА, моделирующий состояния КПДИ, в смысле определены.

Доказательство. Множество допустимых состояний Z должно совпадать с множествами $Z_{\text{КПДИ}}$ и $Z_{\text{ВА}}$. Пусть в условии (7) $\bar{\mu}_{\text{КПДИ}}(e)$ вырождено и матрица H состоит из нулей и единиц. Тогда $\bar{\mu}_{\text{ВА}}(l)$ может быть только вырожденным. Аналогично, если распределение

$r_{BA}(e)$ вырождено, то имеется всегда вырожденное $r_{КПДИ}(e)$ такое, что выполняется условие (7). Далее доказательство строится по плану доказательства утверждения 2.

Из иннициальной эквивалентности $КПДИ_{BA}$ и BA , в силу линейности операторов A_1H и HA_2 следует эквивалентность $КПДИ$ и BA .

Таким образом доказано, что BA является универсальной формальной моделью $КПДИ$, что в свою очередь дает возможность решить задачи функциональной надежности $КПДИ$. Данная модель использована при оценке надежности информационных центров и каналов передачи информации.

20. X. 1985

Ա. Մ. ՆԱՐԿԵՅԱՆ, Վ. Ի. ՅԻՆԿՅՈՒՆ, Մ. Ն. ՍԱՐԻՍԱՅԱՆԻՐՈՎ

ԻՆՖՐԱՅԻՆԱՅԻ ՀԱՎՈՐԴՄԱՆ ԸՆԴՀԱՆ ԿԱՆԱԼԻ ՄՈԴԵԼԻ ՆԵՐԿԱՅԱՑՄԱՆ ՀԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԻ ՏԵՍԵՐՈՎ

Ռ. Վ. Փ. Ո. Փ. Ո. Վ.

Դիտարկվում է ինֆորմացիայի հաղորդման ընդհատ կանալի (ԻՀԴԿ) հավանական ավտոմատի (ՀԱ) ձևական նկարագրության նախադրությունը:

Ապացուցվում է, որ գոյություն ունի երկրաչափական պատկերների փոխակերպման նույնացում, իրականացվում է ԻՀԴԿ-ում և ՀԱ-ում կանալի համարժեք և համարժեք ընդհատ հաղորդման ֆունկցիոնալ հավանական ավտոմատի սկզբունքով:

ЛИТЕРАТУРА

1. Паршиков Н. Я. Декомпозиционная модель вероятностного автомата.— В кн. Построение управляющих устройств и систем.— М.: Наука, 1974, с. 125--136.
2. Бухарин Р. Г. Вероятностные автоматы.— Казань, КГУ, 1970.— 374 с.
3. Бухарин Р. Г. Некоторые эквивалентности в теории вероятностных автоматов.— В кн.: Вероятностные методы в кибернетике, — Казань, КГУ, 1966, вып. 3, с. 96—101.

Р. М. ТАЦЯНИ

ОБ ОДНОМ ВОПРОСЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С ПРОИЗВОЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ

Сложные системы, состоящие из большого числа взаимозаменяемых модулей и разветвленных коммуникаций, предоставляют возможность автоматического тестирования своих составных частей (самодиагностирование). Обычно методика проверки и соответствующие тесты данного модуля i , поставляются разработчиком и при этом предполагается достаточно полный охват и глубина диагностирования этого модуля. С системной точки зрения вся совокупность — методика проверки и диагностические тесты (последовательность элементарных проверок) отдельного модуля i , обычно принимается за один полный тест t_i элемента системы n . Таким образом, совокупность любого количества отказов в одном модуле рассматривается как одиночный отказ в системе.

При одновременном появлении нескольких отказов в системе желательно получить максимальную информацию о состоянии системы посредством пропуска тестов для отдельных модулей (устройств). Так как тесты, поставляемые с устройствами, разработаны для одиночных отказов, то при кратных отказах информация, получаемая о прохождении теста, может быть искажена, поскольку устройства, используемые при проведении некоторого теста, в свою очередь могут быть неисправными. В [1] введено предположение о симметричном искажении (СИ) в системе, т. е. предполагается, что тестирование, проведенное исправными устройствами, всегда дает корректные результаты, тогда как тестирование, проведенное неисправными устройствами, может давать любые результаты. В [2] введено предположение об асимметричном искажении (АИ) в системе, при котором принимается, что тестирование, проведенное исправными устройствами, всегда дает корректные результаты, а неисправное устройство всегда обнаруживается, даже если устройства, которые могут исказить результаты теста, неисправны.

В [1] была предложена модель, позволяющая описывать системы, состоящие из крупных устройств с большими диагностическими возможностями. Предполагалось, что рассматриваются системы, в которых для проведения теста достаточно одного устройства и каждый тест в свою очередь проверяет одно устройство. В [3] была рассмотрена модель, позволяющая описывать системы, в которых допустимо использование нескольких устройств для проведения теста над одним устройством.

В данной статье предлагается обобщенная диагностическая модель, позволяющая описывать системы, в которых для проведения теста

может быть использовано несколько устройств и тест может проводиться над несколькими устройствами. Модель позволяет учитывать оба предположения об искажениях тестов в системе [1, 2]. Получен алгоритм, позволяющий формализовать описание искажений результатов тестирования систем, представляющих обобщенной диагностической моделью. В результате работы алгоритма получается система линейных неравенств, решения которой однозначно соответствуют кратным отказам, приводящим к данному синдрому [1] системы.

Диагностическая модель. Нет необходимости предполагать АИ или СИ для системы в целом. Так как эти предположения касаются организации прохождения теста, то отнесем эти ограничения к тестам. Из этой связи будем обозначать t_j^k -тест, проходящий при предположении об АИ, и t_j^c -тест, проходящий при предположении о СИ.

Пусть задана некоторая система S , состоящая из устройств $U = \{u_1, \dots, u_n\}$ и множество тестов $T = \{t_j^k, k \in \{A, C\}, j \in \{1, \dots, m\}\}$. Для каждого $u_i \in U$ существует хотя бы один полный тест $t_j^k \in T$. В системе допускается наличие кратных отказов и поэтому рассматриваются наборы отказов $M' \in M(U)$ ($M(U)$ — множество подмножеств U). Отказы полагаются постоянными. При этом предлагается представлять систему S посредством диагностического графа $D = (N, E)$, где $N = U \cup T$ — множество вершин, $E = E_1 \cup E_2$ — множество ребер, $E_1 = \{(x, t_j^k) | x \in U(t_j^k)\}$, $E_2 = \{(t_j^k, x) | x \in u(t_j^k)\}$. Под $U(t_j^k)$ понимается множество устройств, которые могут исказить тест t_j^k , а под $u(t_j^k)$ — множество устройств, для которых тест t_j^k полный.

Пример. Рассмотрим систему, состоящую из двух процессоров блока памяти двух шин и внешнего устройства. Шины дуплексные с аппаратным самоконтролем (сравниваются две копии) и обеспечивается синхронизация сигналов (рис. 1). Соответствующий диагностический граф представлен на рис. 2. Каждый из процессоров тестирует один другого (t_1, t_2, t_3, t_4), используя память и одну из шин, память (t_5, t_6, t_7, t_8) и внешнее устройство ($t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}$). При тестировании внешнего устройства предполагается, что шины полностью проверяются, проводится полный тест шины посредством ее схем самоконтроля (из графа видно, что $t_1, t_{10}, t_{11}, t_{12}$ являются полными как для внешнего устройства, так и для шины). Матрица смежностей $A(D)$ диагностического графа представлена на рис. 3. Единицы в строке t_j^k соответствуют устройствам $u_i \in U(t_j^k)$, а единицы в столбце t_j^k — $u_i \in u(t_j^k)$. Пусть теперь $y = \{f(t_j^k), j \in \{1, \dots, m\}, k \in \{A, C\}\}$, где $f(t_j^k) = 0$, если t_j^k проходит (т. е. отказа не обнаружено) и $f(t_j^k) = 1$, если t_j^k не проходит (некоторый синдром системы). Легко убедиться, что для теста $t_j^k \in T$ имеют место следующие соотношения:

$$f(t_j^k) = 1 \Rightarrow (u(t_j^k) \cap M') \cup (U(t_j^k) \cap M') \neq \emptyset, k \in \{A, C\}; \quad (1)$$

$$f(t_j^k) = 0 \Rightarrow u(t_j^k) \cap M' = \emptyset; \quad (2)$$

$$f(t_j^c) = 0 \Rightarrow \text{либо } u(t_j^c) \cap M^i = \emptyset;$$

(3)

$$\text{либо } u(t_j^c) \cap M_i \neq \emptyset \text{ и } U(t_j^c) \cap M^i \neq \emptyset.$$

где $M^i \in M(U)$ — набор отказов (кратный отказ), приводящий к заданному синдрому.

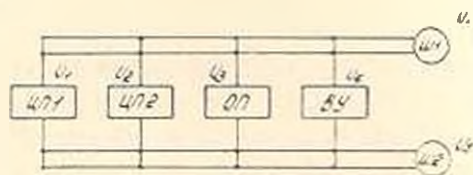


Рис. 1

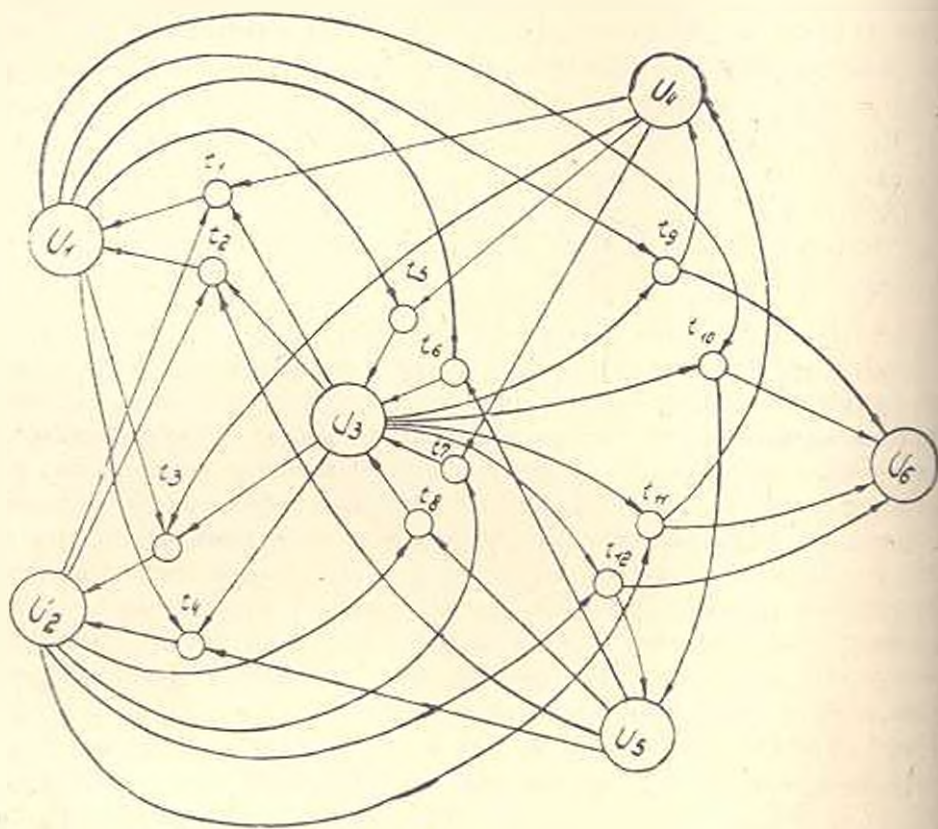


Рис. 2.

Очевидно, что в общем случае более чем одно множество $M^i \subseteq U$ будет удовлетворять совокупности условий (1) — (3) (по всем компонентам вектора y). Назовем такие подмножества возможными кратными отказами. Одной из задач, на которые распадается проблема диагностирования систем при кратных отказах, является получение формализо-

ванного описания условий, которым должны удовлетворять возможные кратные отказы, приводящие к заданному синдрому.

Формализация результатов тестирования. Пусть заданы некоторая система S , матрица смежностей $A(D)$ ее диагностического графа D и некоторый синдром $y = \{f(t_j^A)\}$, $k \in \{A, C\}$, $j \in \{1, \dots, m\}$. Пусть $x = \{x_i\}$, $i \in \{1, \dots, n+m\}$ — $n+m$ — мерный вектор, где $x_i \in \{0, 1\}$ для $i \in \{1, \dots, n\}$ и $x_i = 0$ при $i \in \{n+1, \dots, n+m\}$. Пусть $x_i \leftrightarrow u_i$, $i \in \{1, \dots, n\}$ находятся в взаимно-однозначном соответствии и $x_i = 1$ означает, что u_i неисправно, а $x_i = 0$ — u_i исправно.

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}	t_{12}
u_1							0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
u_2							1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
u_3							1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
u_4							1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
u_5							0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
u_6							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_1	1	0	0	0	0	0												
t_2	1	0	0	0	0	0												
t_3	0	1	0	0	0	0												
t_4	0	1	0	0	0	0												
t_5	0	0	1	0	0	0												
t_6	0	0	1	0	0	0												
t_7	0	0	1	0	0	0												
t_8	0	0	1	0	0	0												
t_9	0	0	0	1	0	1												
t_{10}	0	0	0	0	1	1												
t_{11}	0	0	0	1	0	1												
t_{12}	0	0	0	0	1	1												

Рис. 3.

В результате выполнения предложенного алгоритма получается следующая система линейных неравенств, решения которой соответствуют возможным кратным отказам:

$$\begin{cases} (\bar{x}, C_{n+j}) = 0, & f(t_j^A) = 0; \\ |u(t_j^C)| \cdot (\bar{x}, \overline{C_{n+j}}) - (\bar{x}, C_{n+j}) > 0, & f(t_j^C) = 0; \\ (\bar{x}, C_{n+j}) + (\bar{x}, \overline{C_{n+j}}) = 1, & f(t_j^A) = 1, \quad k \in \{A, C\}. \end{cases}$$

Здесь приняты следующие обозначения: C_{n+j} — $n+j$ -ая вектор-строка матрицы $A(D)$; $\overline{C_{n+j}}$ — $n+j$ -ый вектор-столбец матрицы $A(D)$; $|X|$ — мощность множества X ; $(x, y) = \sum x_i y_i$ — скалярное произведение.

Таким образом, предложенная обобщенная диагностическая модель допускает формализованное описание искажений тестовых результатов в реальных системах.

В.И. Минавтотрансларга Арм.ССР

5. VI. 1985.

Լ. Մ. ԲԱՇՇԱՆ

ԿԱՄԱՅԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑԱԾՔՈՎ ԲԱՐԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԿԱՆՈՐՈՇՄԱՆ ՄԻ ՀԱՐՑԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո ռ ի մ

Առաջարկվում է ընդհանրացված կանխորոշման մոդել: Քննարկվում է տեսանքի թողարկումից ստացված արդյունքների աղավաղումը կամալական կառուցվածքով համակարգերում քաղմալի խափանումների առկայության դեպքում, որի համար ստացված է ֆորմալիզացիայի ալգորիթմ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Preparata F. P., Metz G., Chien R. T. On the connection assignment problem of diagnosable systems. — IEEE Trans. Electron. Comput., 1967, Dec., V. EC-16, p. 848—854.
2. Harsí F., Girandoni F., Maestrini P. A theory of diagnosability of digital systems. — IEEE Trans. Comput., 1976, June, V. C-25, p. 585—593.
3. Russell J. D., Kime C. R. System fault diagnosis, Closure and diagnosability with repair. — IEEE Trans. Comput., 1975, Nov., V. C-24, p. 1078—1088.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 2, 1987

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

А. С. ДАНИЕЛЯН, Г. Г. АРУНЯНЦ, М. А. РАФАЕЛЯН, О. А. АРУТЮНЯН

РАСЧЕТ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И МАТРИЦ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ В САПР СУ

Рациональным и нередко единственно возможным способом определения частотных характеристик (ЧХ) и передаточных функций каналов воздействия при синтезе систем автоматического регулирования (САР) в условиях САПР является расчет по математическим описаниям динамики объекта. Возможны два пути получения матриц передаточных функций (МПФ) многомерных объектов: численный и аналитический. Последний способ получения МПФ объекта с сосредоточенными параметрами предполагает линеаризацию нелинейных членов математического описания и его представление в форме:

$$F(D)X = B(D)U, \quad (1)$$

Таким образом, предложенная обобщенная диагностическая модель допускает формализованное описание искажений тестовых результатов в реальных системах.

В.И. Минавтотрансларга Арм.ССР

5. VI. 1985.

Ա. Մ. ՔԱՇԵՅԱՆ

ԿԱՄԱՅԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑԱԾՔՈՎ ԲԱՐԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԿԱՆՈՐՈՇՄԱՆ ՄԻ ՀԱՐՑԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Առաջարկվում է ընդհանրացված կանխորոշման մոդել: Քննարկվում է տեսանքի թողարկումից ստացված արդյունքների աղավաղումը կամալական կառուցվածքով համակարգերում քաղմալի խափանումների առկայության դեպքում, որի համար ստացված է ֆորմալիզացիայի ալգորիթմ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Preparata F. P., Metz G., Chien R. T. On the connection assignment problem of diagnosable systems. — IEEE Trans. Electron. Comput., 1967, Dec., V. EC-16, p. 848-854.
2. Harsí F., Girandoni F., Maestrini P. A theory of diagnosability of digital systems. — IEEE Trans. Comput., 1976, June, V. C-25, p. 585-593.
3. Russell J. D., Kime C. R. System fault diagnosis, Closure and diagnosability with repair. — IEEE Trans. Comput., 1975, Nov., V. C-24, p. 1078-1088.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 2, 1987

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

А. С. ДАНИЕЛЯН, Г. Г. АРУНЯՆՇ, М. А. РАФАЕЛЯՆ, О. А. АРУՅՈՅՅԱՆ

РАСЧЕТ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И МАТРИЦ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ В САПР СУ

Рациональным и нередко единственно возможным способом определения частотных характеристик (ЧХ) и передаточных функций каналов воздействия при синтезе систем автоматического регулирования (САР) в условиях САПР является расчет по математическим описаниям динамики объекта. Возможны два пути получения матриц передаточных функций (МПФ) многомерных объектов: численный и аналитический. Последний способ получения МПФ объекта с сосредоточенными параметрами предполагает линеаризацию нелинейных членов математического описания и его представление в форме:

$$F(D) X = B(D) U, \quad (1)$$

где $F(D)$ и $B(D)$ — полиномиальные матрицы от $D = \frac{d}{dt}$; U, X — векторы входных и выходных переменных управляемого объекта соответственно. Для математического описания вида (1) МПФ объекта в предположении нулевых начальных условий определяется выражением

$$G(S) = F^{-1}(S) B(S). \quad (2)$$

При размерности системы уже более трех, использование выражения (2) вызывает вычислительные сложности.

Получение МПФ объектов с распределенными параметрами связано с большими трудностями. Основной путь решения задачи в этом случае лежит через переход от системы уравнений в частных производных к системе обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными в операторной форме и последующим их аналитическим решением. Однако, получаемые таким путем передаточные функции оказываются сложными и имеют трансцендентный вид [1, 2].

Принципиально передаточные матрицы сложных объектов могут быть получены путем формального применения известных методов идентификации к математическим моделям. Этот способ получения МПФ характеризуется простотой реализации, однако не всегда обеспечивает удовлетворительную точность. Для повышения точности последующего синтеза САР желательно получение и аппроксимация непосредственно частотных характеристик.

Расчет матричной ЧХ многомерного объекта с сосредоточенными параметрами заключается в вычислении матричного операторного выражения (2) для заданной совокупности частот. Предлагаются алгоритмы аппроксимации частотных характеристик многомерного объекта передаточными функциями.

Корректная форма МПФ объекта с сосредоточенными параметрами предполагает равенство знаменателей всех ее элементов, представляющих собой характеристический определитель

$$\Delta(S) = \det F(S). \quad (3)$$

Учитывая (3), МПФ объекта $G(S)$ можно представить в виде:

$$G(S) = (\det F(S))^{-1} A(S), \quad (4)$$

где

$$A(S) = F_{nn}(S) \cdot B(S). \quad (5)$$

В выражении (5) через $F_{nn}(S)$ обозначена присоединенная матрица. Такое представление МПФ $G(S)$ позволяет использовать эффективную процедуру раздельной аппроксимации частотных характеристик $\Delta(i\omega)$ и элементов $A(i\omega)$ полиномиальными функциями. Обозначим через $\Psi(i\omega_k)$ значение неизвестной полиномиальной функции при $\omega = \omega_k (k = \overline{1, n})$ и через

$$Z(i\omega) = \sum_{j=0}^n C_j (i\omega)^j \quad (6)$$

(C_j — коэффициент, l — порядок полинома) — аппроксимирующую функцию. Выберем в качестве критерия близости функций $\Psi(i\omega)$ и $Z(i\omega)$ функцию вида:

$$I = \sum_{k=1}^N |(\Psi(i\omega_k) - Z(i\omega_k)) / Z(i\omega_k)|^2. \quad (7)$$

Сделаем обозначение $\mu_k = 1/Z(i\omega_k)$. После подстановок критерий (7) получает вид:

$$I = \sum_{k=1}^N |\Psi(i\omega_k) - \sum_{j=0}^n C_j (i\omega_k)^j|^2 |\mu_k|^2. \quad (8)$$

Выбирая некоторый первоначальный набор коэффициентов $C_j^{(0)}$ и считая весовые коэффициенты μ_k постоянными, при помощи метода наименьших квадратов определение последующих приближений коэффициентов $C_j^{(i)}$ сводится к решению систем неоднородных линейных уравнений. После этого определяется новый набор коэффициентов μ_k . Итерации повторяются до удовлетворения условия

$$|C_j^{(i)} - C_j^{(i-1)}| \leq \varepsilon C_j^{(i)}, \quad j = \overline{0, m}. \quad (9)$$

Эта же процедура аппроксимации используется при определении элементов матрицы $A(S)$ (числителей выражений передаточных функций).

Выбор порядков аппроксимирующих полиномов $Z(i\omega)$, равных числу квадрантов комплексной плоскости, пересекаемых годографами $\Psi(i\omega)$, позволяет восстановить аналитический вид характеристического определителя и передаточных функций объекта, что ценно с точки зрения строгости синтеза и анализа САР.

Применение метода коллокаций для расчета частотных характеристик представляется на примере объекта, описываемого системой:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = -B \frac{\partial X}{\partial z} + R(X), \quad z \in [0, 1], \quad (10)$$

при $z = 0$ $X(z, t) = X_n(t)$,

при $t = 0$ $X(z, t) = X_s(z)$,

где $X = \|x_1, x_2, \dots, x_m\|'$; $R(X) = \|r_1(X), r_2(X), \dots, r_m(X)\|'$; B — $(m \times m)$ положительная диагональная матрица коэффициентов; $X_n(t)$, $X_s(z)$ — соответственно начальные и граничные условия. Для любых приближенных решений системы уравнений (10) формы

$$x_i(z, t) = \sum_{j=1}^n a_{ij}(t) \Phi_j(z), \quad i = \overline{1, m}, \quad (11)$$

где

$$a_{i1}(t) = x_{ni}(t), \quad \Phi_1 = 1,$$

справедливы уравнения:

$$\frac{dx_i}{dz} = N_i N_0^{-1} x_i(z), \quad i = \overline{1, m}, \quad (12)$$

в которых $x_i(z) = \|x_i(z_1), x_i(z_2), \dots, x_i(z_n)\|^T$; N_0, N_1 — $n \times n$ — матрицы с элементами $\Phi_i(z)$ и $\Phi'_i(z)$ соответственно (Φ_i — многочлен $\Phi_i(z)$ в точке z_i); n — число точек коллокаций; $\sigma_{ji}(t)$ — произвольные функции от t ; $x_i(z_j)$ — значение переменной x_i в точке z_j .

Используя подстановку (12), получаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений размерности $n \times m$, приближенно эквивалентной исходной (10). Переходя к приращениям $X = \dot{X} - \dot{X}_s$ и линеаризируя (при необходимости) нелинейные члены $R(X)$, ограничиваясь членами первого порядка разложения в ряд Тейлора, полученная система представляется в виде

$$\dot{X} = A(X), \quad (13)$$

где $X = \|x_1(z_1), x_1(z_2), \dots, x_1(z_n), x_2(z_1), \dots, x_2(z_n), \dots, x_m(z_1), \dots, x_m(z_n)\|^T$; A — блочная матрица размерности $\{(n \times m) \times (n \times m)\}$.

Далее, выделяя из векторов $\dot{X}$ и X компоненты, соответствующие точке z_1 , преобразуем (13) к виду:

$$\dot{X}^{(1)} = A^{(1)} X^{(1)} + CX^{(0)}, \quad (14)$$

где $X^{(1)} = \|x_1(z_2), x_1(z_3), \dots, x_1(z_n), x_2(z_2), \dots, x_m(z_n)\|^T$;

$$X^{(0)} = \underbrace{\|x_1(z_1), x_1(z_2), \dots, x_1(z_1), x_2(z_1), \dots, x_2(z_1),$$

 $\quad \quad \quad n-1 \quad \quad \quad n-1$
 $\quad \quad \quad x_1(z_1), \dots, x_m(z_1)\|^T}_{n-1}$

$A^{(1)} = \{(n-1) \times m\} \times \{(n-1) \times m\}$ — матрица, полученная из матрицы A исключением первых строк и столбцов ее подматриц; $C = \{(n-1) \times m\} \times m$ — блочно-диагональная матрица, блоки которой являются столбцовыми матрицами, составленными из соответствующих исключенных столбцов подматриц матрицы A .

Система (14) при переходе к операторной форме принимает вид:

$$(SI - A^{(1)}) X^{(1)} = CX^{(0)}, \quad (15)$$

где I — единичная матрица. Дальнейшая последовательность действий получения МПФ аналогична описанному выше случаю сосредоточенных объектов. Приведенный метод приемлем также в случаях, если система уравнений, описывающая динамику объекта, содержит в своем составе члены с производными второго порядка или интегральные члены.

Для противоточных систем алгоритм остается тем же, однако появляется необходимость в решениях типа (11) сохранить граничные

условия на обоих концах. В программе аппроксимации методом ортогональных коллокаций используется многочлен Якоби, удовлетворяющий условиям ортогональности в интервале $x \in [0, 1]$. Учитывая, что обычно на практике нет необходимости в получении МПФ по всем сечениям коллокаций, в программе предусмотрена возможность вычисления МПФ относительно только выборочных сечений. Эта особенность позволяет значительно сократить затраты машинного времени.

Описанный метод расчета частотных характеристик позволяет практически без потерь в точности значительно снизить затраты машинного времени по сравнению с методом, основанным на расчете частотных характеристик по модели при стандартных возмущениях. Программы реализованы на алгоритмическом языке PL/I ОС ЕС (MVT 6.1) и включены в комплекс программ САПР СУ.

В/о ОНПО «Пластикмер»

20 IV 1985

Ա. Ս. ԳԱՆԻՔՅԱՆ, Դ. Դ. ԱՐՈՒՅԱՆ, Մ. Ա. ՌԱԶԱՅԵՅԱՆ, Օ. Ա. ՀԱՐՈՒԹՅԱՆՅԱՆ

ՀԱՆՈՒՍԱԿԱՆ ԻՆՈՒԹԱԳՐՆԵՐԻ ՆՎ ՐԱԶՄԱԶՈՒՓ ՈՔՅԵԿՏՆԵՐԻ ՓՈՅԼԱՆՑԻՈՒ
ՅՈՒՆԿՑԻԱՆԵՐԻ ԽԱՏՐԻՑԱՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻՆ ԴՆ ԱՊՂ-ՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո : մ

Ներկայացվում են բազմաշափային օբյեկտների մատրիցային փոխանցիկ ֆունկցիաների մաթեմատիկական նկարագրությամբ չափարկի արդյունաբերական լեթոդներ, որոնք կարելի է կիրառել ավտոմատացված նախազման համակարգերում: Կենտրոնացված պարամետրերով օբյեկտների համար առաջարկված են ընդլայնված որոշիչի առանձին որոշումը և օպտիմալ ֆունկցիաների մոտարկման ալգորիթմը: Բաշխված ֆունկցիաներով մատրիցաների չափարկի ժամանակ իրականացվում է համապատասխան մաթեմատիկական նկարագրությունների նախնական բերումը սովորական դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգին:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Девятон Б. И., Демиденко Н. Л., Охорзин В. А. Динамика распределенных процессов в технологических аппаратах, распределенный контроль и управление.— Красноярск: Кн. изд-во, 1976 — 310 с.
2. Бутковский А. Г. Характеристики систем с распределенными параметрами.— М.: Наука, 1979.— 224 с.

С. М. КАЗАРЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ВОДНОГО ОБМЕНА НА ОРОШАЕМЫХ
ЗЕМЛЯХ НА ФОНЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Проблема рационального и экономически эффективного использования водных ресурсов, в том числе подземных вод, является весьма актуальной и важной в практическом отношении. Основной идеей методики решения данной задачи оптимизации является получение достаточно надежных результатов, оптимальных технико-экономических показателей и допустимых в гидродинамическом отношении [1]. Математическая модель задачи выбора рационального варианта водозабора подземных вод из многослойной толщи разрабатывалась при следующих предпосылках:

1) откачка воды происходит или одновременно из двух напорных горизонтов, или только из нижнего, или только из верхнего напорных горизонтов [2]; 2) водозабор состоит из n эксплуатационных скважин, каждая из которых имеет расход Q_k ; 3) расходы всех скважин различны, но сохраняются постоянными в течение всего периода эксплуатации: $Q = \text{const}$ ($0 < t \leq t^*$); 4) понижения уровней в скважинах и в определенных точках не должны превышать их предельно допустимого значения:

$$S_k^{(i)}(t^*) \leq S_k^{(i)*}(t^*) \quad (i = 0, 1, 2, \quad k = 1, 2, \dots, n);$$

5) используемое на рассматриваемой водохозяйственной системе насосное оборудование позволяет эксплуатировать скважины с расходами, лежащими в допустимых пределах: $0 < Q_k \leq Q^*$.

Требуется определить количество эксплуатационных скважин, их расположение в пределах рассматриваемого участка, расход каждой скважины так, чтобы обеспечить максимальный суммарный водозабор при минимальных затратах на сооружение и эксплуатацию водозабора.

Математическая постановка задачи записывается в виде

$$Q_{\text{сум}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = \max, \quad S_k^{(i)}(t^*) \leq S_k^{(i)*}(t^*), \quad (1)$$

$$0 < Q_k \leq Q^*, \quad a \leq x_k \leq b, \quad c \leq y_k \leq d, \quad F = P + E \cdot K = \min,$$

где $S_k^{(i)}(t^*)$ — понижения уровней подземных вод в скважинах, определяемые аналитическими формулами, при различных режимах откачки из напорных горизонтов [2].

Общая постановка (1) относится к классу задач нелинейного программирования сложной структуры, поэтому она будет несколько упрощена, если рассмотреть ее частные случаи.

1. Предполагается, что все скважины работают с одинаковым постоянным расходом, при этом расчетные формулы [2] приводятся к виду при откачке:

из двух горизонтов —

$$Q_k = \frac{A}{R(r_k, t^*) + \sum_{j=1}^{n-1} R(r_{kj}, t^*)}; \quad (2)$$

где

$$A = \left\{ S_{10}^0(t^*) - S_{10}(t^*) - \left(\Delta H - \frac{\delta_1}{a_1} \right) \right\} M^* \sum_{j=1}^{n-1} R(r_{kj}, t^*) + \\ + D_1 \sum_{j=1}^{n-1} K_0 \left(\sqrt{\frac{r_{kj}^2 c b_0}{A^0 a_1}} \right) - \frac{T_2}{T^1} \left\{ 4\pi T; \right.$$

из нижнего горизонта —

$$Q_k = \frac{4\pi T_2 [S_{10}^0(t^*) - S_{10}(t^*)]}{R(r_k, t^*) + \frac{A^0 B_1^0}{c} \sum_{j=1}^{n-1} R(r_{kj}, t^*) + 2 \frac{B_2^0}{c} \sum_{j=1}^{n-1} K_0 \left(\sqrt{\frac{r_{kj}^2 c b_0}{A_0 a_1}} \right)}; \quad (3)$$

из верхнего горизонта —

$$Q_k = \frac{4\pi T_1 (S_{10}^{b(1)}(t^*) - S_{10}^0(t^*))}{R(r_k, t^*) + \frac{B_2^0}{c} \sum_{j=1}^{n-1} R(r_{kj}, t^*) + \frac{2A^0 B_1^0}{c} \sum_{j=1}^{n-1} K_0 \left(\sqrt{\frac{r_{kj}^2 c b_0}{A_0 a_1}} \right)}. \quad (4)$$

Получаем следующую постановку:

$$Q_{\text{сум}} = \max; \quad a \leq x_k \leq b; \quad c \leq y_k \leq d; \quad E = P + EK. \quad (5)$$

2. При фиксированном расположении скважин постановка (1) существенно упрощается и рассматривается задача линейного программирования. При этом имеем:

$$Q_{\text{сум}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = \max; \\ S_k^{(1)} = a_{k1} Q_1 + a_{k2} Q_2 + \dots + a_{kn} Q_n + b_{k3} \leq S_k^*; \quad (6) \\ 0 \leq Q \leq Q'_k; \quad F = P + EK = \min,$$

где $a_{kj}, b_{kj} = \text{const}$ — для принятой геометрии расположения скважин и могут быть определены из формул [2] в зависимости от режимов откачки воды из напорных горизонтов.

Такое разделение общей постановки на более простые позволяет при решении задачи комплексно использовать на различных этапах ее решения численные методы нелинейного и линейного программирования. Алгоритм решения задачи разрабатывался для фиксированного

количества эксплуатационных скважин n . Предполагается, что для каждого заданного количества скважин n требуется такое их расположение (координаты x_k, y_k) и режим работы Q_k в течение расчетного периода t^* , при котором обеспечивается максимальный суммарный водо-забор $Q_{\text{сум}}$ при наименьших затратах на его строительство и эксплуатацию.

Принята следующая схема алгоритма:

1. Задается начальное расположение скважин: векторы $x^0 \{x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0\}$ и $y^0 \{y_1^0, y_2^0, \dots, y_n^0\}$ — точка $M^0 \{x_k, y_k\}$.
2. Рассматривается постановка (6) — для заданного расположения определяются такие расходы скважин $Q_k^0, k = 1, 2, \dots, n$, при которых $Q_{\text{сум}} = \sum_{k=1}^n Q_k^0 = \max$, если выполняется ограничение $S_k^0 \leq S_k^{\text{доп}}$ (симплекс-метод). Функция критерия качества полученного решения — суммарный водоотбор

$$\Phi^0 = \sum_{k=1}^n Q_k^0 = \max.$$

3. По специальному алгоритму (датчик случайных чисел) вырабатываются $2n$ случайных чисел — векторы $\alpha^{(1)} = \{\alpha_1^{(1)}, \alpha_2^{(1)}, \dots, \alpha_n^{(1)}\}$ и $\beta = \{\beta_1^{(1)}, \beta_2^{(1)}, \dots, \beta_n^{(1)}\}$ [3].

4. Из точки $\{x^0, y^0\}$ делается случайный шаг в пространстве параметров (x_k, y_k) ; $x^{(1)} = x^{(0)} + h_1 \alpha^{(1)}, y^{(1)} = y^{(0)} + h_2 \beta^{(1)}$ — точка $M^{(1)} \{x^{(1)}, y^{(1)}\}$, где h_k — величина рабочего шага поиска. Проверяются условия попадания новой точки $\{x^{(1)}, y^{(1)}\}$ в область допустимых значений параметров (x_k, y_k) . Если ограничения не выполнены, то изменением шага h_k точку возвращают в область D .

6. Для нового расположения скважин $\{x^{(1)}, y^{(1)}\}$ снова решается задача линейного программирования (постановка 5). Получаем новый вектор $Q^{(1)} = \{Q_1^{(1)}, Q_2^{(1)}, \dots, Q_n^{(1)}\}$ такой, что $\Phi^{(1)} = \sum_{k=1}^n Q_k^{(1)} = \max$.

7. Сравниваются значения функции Φ на двух последовательных шагах — значения $\Phi^{(1)}$ и $\Phi^{(0)}$. Если $\Phi^{(1)} > \Phi^{(0)}$, то это означает, что случайный шаг по координатам по направлению векторов α и β приводит к увеличению функций цели $\Phi(Q_k)$. В этом случае попытка считается удачной, и переход к следующей точке $\{x^{(2)}, y^{(2)}\}$ происходит из точки $\{x^{(1)}, y^{(1)}\}$ в том же направлении случайных векторов $\alpha^{(1)}, \beta^{(1)}$: $x^{(2)} = x^{(1)} + h_1 \alpha^{(1)}, y^{(2)} = y^{(1)} + h_2 \beta^{(1)}$. После проверки условия $(x^{(2)}, y^{(2)}) \in D$ снова решается задача линейного программирования — определяется Q и весь процесс поиска повторяется.

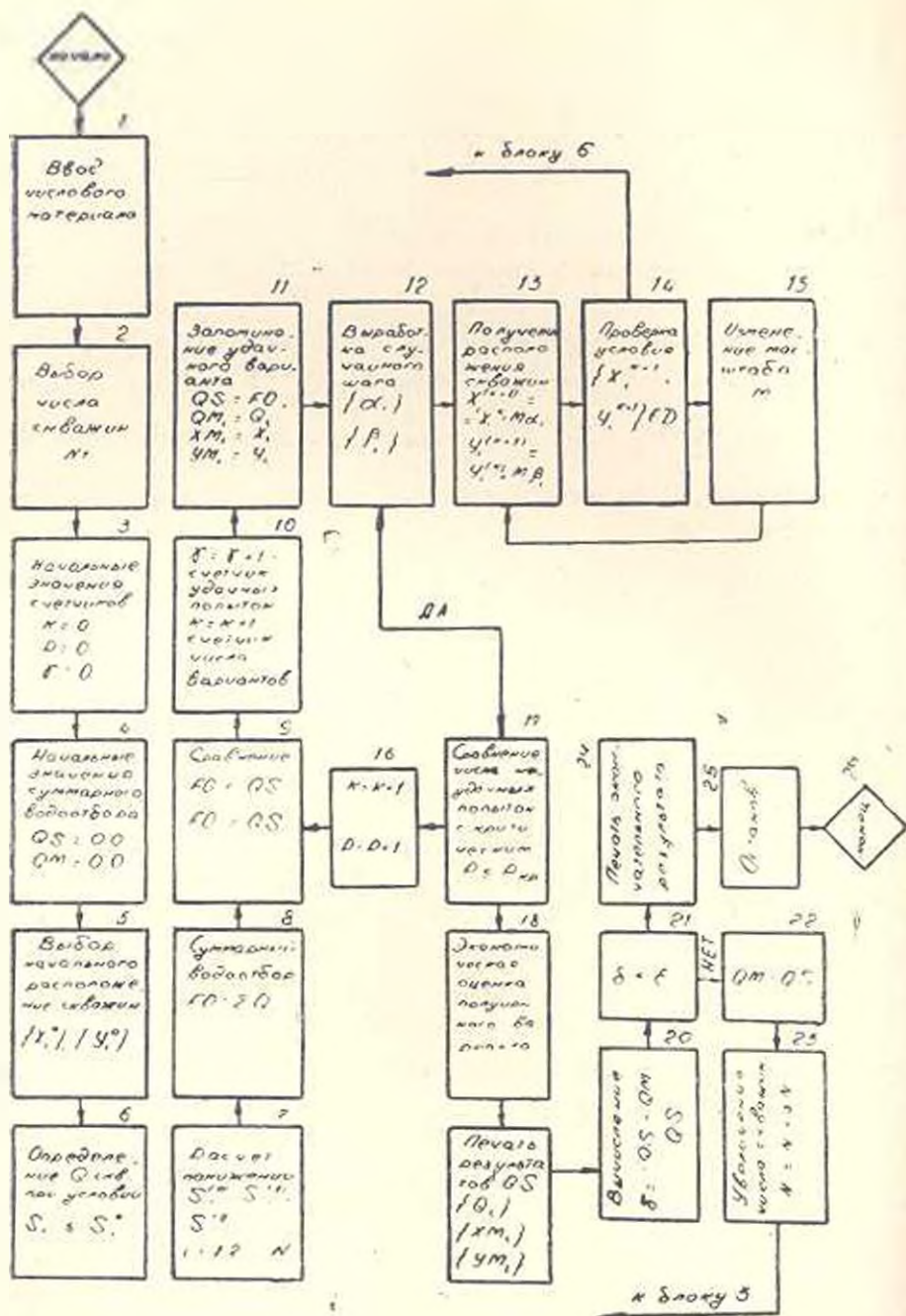


Рис. 1. Блок-схема полного алгоритма задачи оптимизации.

Если $\Phi^{(1)} < \Phi^0$, то попытка считается неудачной, точка $\{x^{(1)}, y^{(1)}\}$ отбрасывается как "неудачное расположение координат" и переход к новой точке осуществляется из предыдущей $\{x^{(0)}, y^{(0)}\}$, но в направлении нового случайного вектора $x^{(2)} = (x_1^{(2)}, \dots, x_n^{(2)})$ и $y^{(2)} = (y_1^{(2)}, \dots, y_n^{(2)})$. Таким образом, если $\Phi(M_1) > \Phi(M_{1-1})$, то $x^{(1)} = x^{(0)} + h x^{(1)}$.

$y^{l+1} = y^l + h\beta^{(l)}$. Если $\Phi(M_l) < \Phi(M_{l-1})$, то $x^{l+1} = x^{l-1} + ha^{(l+1)}$, $y^{l+1} = y^{l-1} + h\beta^{(l+1)}$.

Процесс поиска считается законченным, если число подряд неудачных попыток после некоторого удачного шага становится больше заданного критического числа. В этом случае последняя точка (x, y) принимается за наилучшее расположение водозаборных скважин, а величины расходов Q_k , которые при полученном расположении дают максимальный водоотбор, — за оптимальный режим эксплуатации водозабора. Для полученного варианта водозабора дается его экономическая оценка — капитальные затраты на строительство и текущие затраты на эксплуатацию.

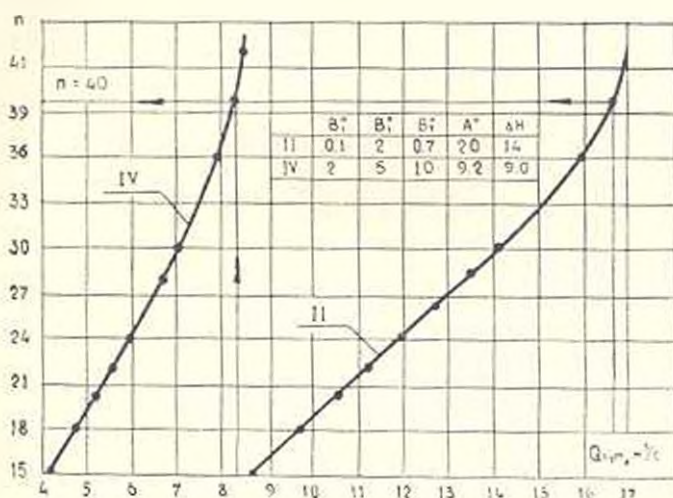


Рис. 2. График зависимости суммарного расхода от числа скважин.

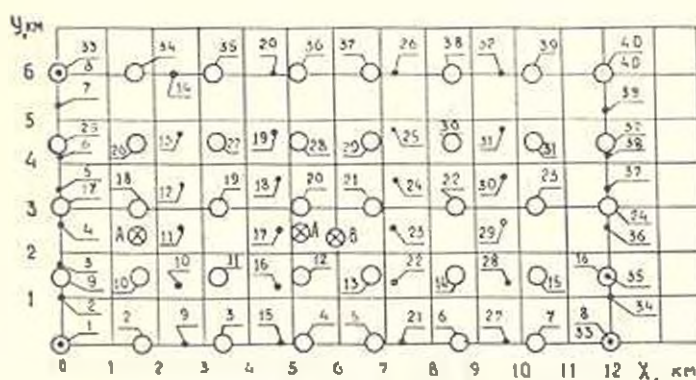


Рис. 3. Плановое размещение 40 скважин. Большие и малые круги-скважины соответственно 4-го и 2-го вариантов гидрогеологических параметров.

8. После решения задачи для фиксированного n производится увеличение числа скважин и снова решается полная задача. Два значения суммарного водоотбора $Q_{\text{сум}}$ для предыдущего количества скважин $n \rightarrow Q_{\text{сум}}(n)$ и для нового $Q_{\text{сум}}(n^*)$ сравниваются между собой. Если

$Q_{\text{сум}}(n^*) \gg Q_{\text{сум}}(n)$, то снова увеличиваем число скважин и повторяем процесс решения. Если же при некотором $\hat{n}$ получим, что $Q_{\text{сум}}(\hat{n}) = Q_{\text{сум}}(n^*)$, то это будет означать, что дальнейшее увеличение числа скважин экономически нецелесообразно. Последний результат $\{(x_k, y_k), n^*, Q_k, Q_{\text{сум}}, F\}$ и принимается за окончательное решение задачи.

Блок-схема полного алгоритма приведена на рис. 1, а результаты решения применительно к определенному участку — на рис. 2 и 3.

Агросельхозинститут

25. XII. 1985

И. И. АХАДЯН

ՈՌՈՂԵԼԻ ՀՈՂԱՏԱՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆՈՒՄ ՈՒՂԱԶԻԳ ԴՐԵԱԺԻ ՖՈՆԻ ՎՐԱ ՋՐԱՓՈԽԱՆԱԿՄԱՆ ԽԵԻՐԻ ՕՊՏԻՄԻԶԱՑԻՈՒՄԸ

Ա. Մ. ՓԻՆՓԻՆԻՍԻ

Դիտարկվում է ուղեղի շողատարածությունում ստորերկրյա ճնշումային ջրերի ջրհորների միջոցով ագտագործման օպտիմիզացիայի խնդրի լուծումը: Օպտիմիզով ջրատար շերտերից տարբեր ռեժիմներով խումբ ջրհորների միջոցով ջրածման տեսակի քանակներից՝ առաջարկվում է ալգորիթմ $EC-1035$ էՆՆ-ի վրա ջրհորների թվի, նրանց օպտիմալ դասավորության և ելրի հաշվման համար, որի դեպքում նվազագույն ծախսումներով ստացվում է առավելագույն քանակությամբ ջրառում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Глазунов Н. С. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию рациональных схем скважинных позолaborов при разведке подземных вод — М.: Наука, 1973. — 128 с.
2. Козирян С. М. Расчет взаимодействующих систем скважин в слоистых толщах — Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1986, т. XXXIX, № 2, с. 36—41.
3. Растрини А. А. Случайный поиск в задачах оптимизации многопараметрических систем. — Рязань: Зинатне, 1965. — 211 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XI., № 2, 1987

ГИДРАВЛИКА

В. О. ТОКМАДЖЯН, Р. Г. МАРТИРОСЯН

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА УЧАСТКАХ КАНАЛА С КРИВОЛИНЕЙНЫМ ОЧЕРТАНИЕМ ПРОФИЛЯ ДНА

При гидравлическом расчете каналов с криволинейным очертанием профиля дна в отличие от обычных принимаются следующие условия: а) живые сечения и глубина потока определяются в нормальном

$Q_{\text{сум}}(n^*) \gg Q_{\text{сум}}(n)$, то снова увеличиваем число скважин и повторяем процесс решения. Если же при некотором $\hat{n}$ получим, что $Q_{\text{сум}}(\hat{n}) = Q_{\text{сум}}(n^*)$, то это будет означать, что дальнейшее увеличение числа скважин экономически нецелесообразно. Последний результат $\{(x_k, y_k), n^*, Q_k, Q_{\text{сум}}, F\}$ и принимается за окончательное решение задачи.

Блок-схема полного алгоритма приведена на рис. 1, а результаты решения применительно к определенному участку — на рис. 2 и 3.

Агросельхозинститут

25. XII. 1985

И. И. АХАДЯН

ՈՌՈՐԵԼԻ ՀՈՂԱՏԱՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆՈՒՄ ՈՒՂԱԶԻԳ ԴՐԵԱԺԻ ՖՈՆԻ ՎՐԱ ՋՐԱՓՈԽԱՆԱԿՄԱՆ ԽԵԻՐԻ ՕՊՏԻՄԻԶԱՑԻՈՒՄԸ

Ա. Մ. ՓԻՆՓԻՆԻՍԻ

Դիտարկվում է ուղղակի հողատարածությունում ստորերկրյա ճնշումային ջրերի ջրհորների միջոցով ագրագործման օպտիմիզացիայի խնդրի լուծումը: Օպտիմիզով ջրատար շերտերից տարբեր ակտիվներով խումբ ջրհորների միջոցով ջրառման տեսակի քանակներից՝ առաջարկվում է ալգորիթմ $EC-1035$ էՆՆ-ի վրա ջրհորների թվի, նրանց օպտիմալ դասավորության և ելրի հաշվման համար, որի դեպքում նվազագույն ծախսումներով ստացվում է առավելագույն քանակությամբ ջրառում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Глазунов Н. С. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию рациональных схем скважинных позолaborов при разведке подземных вод — М.: Наука, 1973. — 128 с.
2. Казарян С. М. Расчет взаимодействующих систем скважин в слоистых толщах — Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1986, т. XXXIX, № 2, с. 36—41.
3. Растрини А. А. Случайный поиск в задачах оптимизации многопараметрических систем. — Рязань: Зинатне, 1965. — 211 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XI., № 2, 1987

ГИДРАВЛИКА

В. О. ТОКМАДЖЯН, Р. Г. МАРТИРОСЯН

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА УЧАСТКАХ КАНАЛА С КРИВОЛИНЕЙНЫМ ОЧЕРТАНИЕМ ПРОФИЛЯ ДНА

При гидравлическом расчете каналов с криволинейным очертанием профиля дна в отличие от обычных принимаются следующие условия: а) живые сечения и глубина потока определяются в нормальном

к движению направлению; б) угол наклона дна меняется по пути; в) распределение давления по живому сечению отличается от гидростатического вследствие возникновения центробежных сил.

Для такой расчетной схемы поток можно рассматривать как одномерный, плавноизменяющийся. В [1] отклонение давления от гидростатического в произвольной точке потока предлагается определить по формуле

$$c = \frac{h-y}{g} \cdot \frac{u^2}{r}, \quad (1)$$

где h — глубина потока по нормали; y — расстояние произвольной точки потока от дна по направлению нормали; u — скорость в произвольной точке потока; r — радиус кривизны в произвольной точке (рис. 1).

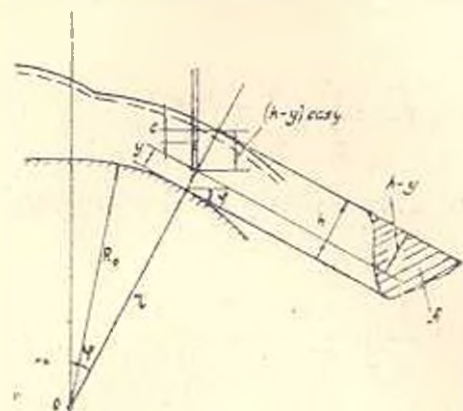


Рис. 1. Расчетная схема.

Там же в практических целях предлагается заменить скорость в произвольной точке u средней скоростью потока $\bar{u}$. Расчет значения c по (1) не только приводит к погрешностям (на дне $u = 0$, а $c \neq 0$), но и определяет отклонение давления от гидростатического лишь при допущении, что вся масса столба высотой $(h-y)$ сосредоточена в той точке, где определяется давление.

При выводе формулы распределения давления в каналах с криволинейным профилем дна дополнительно принимаются следующие условия: г) при определении центробежных сил принимается, что все линии тока являются дугами concentрических окружностей; д) по направлению движения центр кривизны не меняет места.

В произвольной точке потока выделим элементарный объем с основанием dA (по направлению нормали радиуса) и высотой dt (рис. 2).

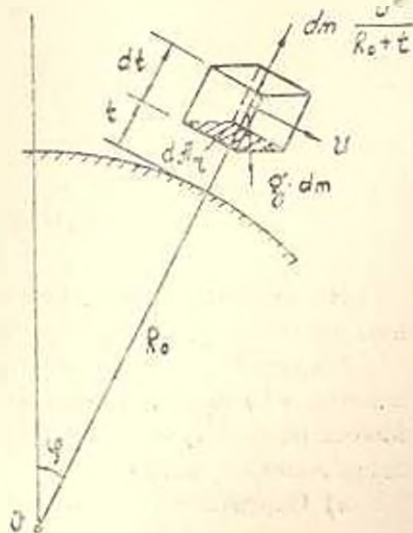


Рис. 2.

Силы, действующие на выделенный объем с массой $dm = \rho dA dt$, будут: сила тяжести gdm и центробежная сила $dm \frac{u^2}{r}$.

Проектируя эти силы на направление радиуса и имея в виду, что $r = R_0 + t$, получаем:

$$dF_r = \rho g dA_r dt \cos \varphi \pm \rho dA_r dt \frac{u^2}{R_0 + l}. \quad (2)$$

Здесь и далее верхний знак соответствует вогнутым, а нижний — выпуклым профилям.

Интегрируя (2) по l и разделив на площадь основания dA_r , получаем абсолютное давление в произвольной точке потока:

$$p = p_{\text{атм}} + \rho g (h - y) \cos \varphi \pm \rho \int_y^h \frac{u^2}{R_0 + l} dl. \quad (3)$$

Давление на дне канала ($y = 0$), выраженное через высоту жидкостного столба, будет:

$$\frac{p}{\rho g} = \frac{p_{\text{атм}}}{\rho g} + h \cos \varphi \pm \frac{1}{g} \int_0^h \frac{u^2}{R_0 + l} dl, \quad (4)$$

где $p_{\text{атм}}$ — атмосферное давление; φ — угол наклона дна.

В общем случае аналитическое или численное интегрирование (3) возможно осуществить при наличии закона распределения скоростей по сечению.

Последний член (4) можно представить в виде:

$$c = \frac{v^2}{g} \Phi_1(h/R_0), \quad (5)$$

где

$$\Phi_1(h/R_0) = \frac{\int_0^h \frac{u^2}{R_0 + l} dl}{v^2}.$$

Итак, определение давления на дне канала сводится к нахождению функции $\Phi_1(h/R_0)$. Рассмотрим частные случаи.

1) случай, $u = v = \text{const}$. Отметим, что постоянство скоростей относится только к данному живому сечению, а по пути l скорость меняется по закону $u = v = Q/A(h, l)$ (Q — расход жидкости, A — площадь живого сечения).

а) Определяя c по (1) и принимая $r = R_0$, получаем:

$$\Phi_1(h/R_0) = h/R_0; \quad (6)$$

б) для того же закона распределения скоростей, интегрируя (4) и имея в виду (5), находим:

$$\Phi_1(h/R_0) = \ln(1 + h/R_0). \quad (7)$$

II случай. $u = \omega (R_0 + t)$, где $\omega = \text{const}$ — угловая скорость вращения всех точек живого сечения вокруг общего центра кривизны. Интегрируя (4) по данному закону u , получаем:

$$\Phi_1(h/R_0) = \frac{h/R_0 + h^2/2R_0^2}{(1 + h/R_0)^2} \quad (8)$$

Так как скорость по радиусу меняется по линейному закону, то в середине сечения ($y = h/2$) она будет равна средней скорости потока.

III случай. $u(R_0 + t) = \text{const}$. Такая эпюра скоростей характерна потенциальному движению потока.

Аналогично получаем:

$$\Phi_1(h/R_0) = \frac{h/R_0 + h^2/2R_0^2}{[\ln^2(1 + h/R_0)](R_0/h + 1)^2} \quad (9)$$

Скорость будет равна средней на расстоянии y , определяемой из формулы

$$\frac{y}{R_0} = \frac{h/R_0}{\ln(1 + h/R_0)}$$

IV случай. $u = 2\frac{y}{h}$, t -эпюра скоростей треугольная с нулевой скоростью на дне канала:

$$\Phi_1(h/R_0) = 2 - 4\frac{R_0}{h} + 4\left(\frac{R_0}{h}\right)^2 \ln\left(1 + \frac{h}{R_0}\right) \quad (10)$$

Скорость равна средней в середине сечения ($y = h/2$).

V случай. $u = 2\frac{y}{h} - (h-t)$ -эпюра скоростей треугольная с нулевой скоростью на свободной поверхности:

$$\Phi_1(h/R_0) = 4\frac{R_0^2}{h^2} \left(1 + \frac{h}{R_0}\right)^2 \ln\left(1 + \frac{h}{R_0}\right) - 4\frac{R_0}{h} - 6 \quad (11)$$

Скорость будет равна средней в середине сечения.

Для оценки влияния закона распределения скоростей на давление на дне канала введем показатели $n_{i-1} = \frac{c_i}{c_s}$ и $n_{i-2} = \frac{c_i}{c_b}$, т. е. значения c_i отнесенные к случаям I (а) и I (б), соответственно.

В таблице приводятся значения n_{i-1} и n_{i-2} для вышеуказанных случаев. На рис. 3 показано изменение $\Phi_1(h/R_0)$ в зависимости от отношения h/R_0 для тех же случаев.

Уточнение распределения давления может служить базой для гидравлического расчета каналов с криволинейным очертанием профиля дна.

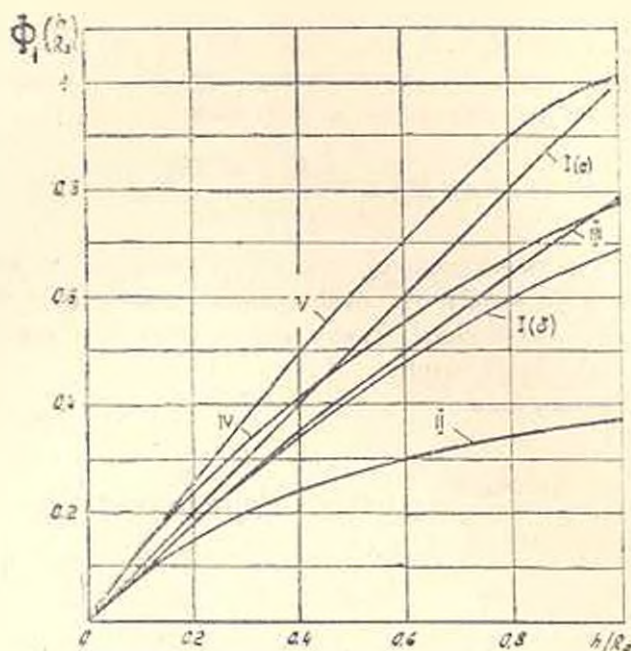


Рис. 3. Зависимость $\Phi_1(h/R_0)$ от $\frac{h}{R_0}$ при разных эярах скоростей:

I (a) — $u = \frac{Q}{A} = \text{const}$ (по формуле В. Т. Чоу); I (б) — $u = \frac{Q}{A} = \text{const}$

(по уточненной формуле); II — $u = \omega(R_0 + t)$; III — $u(R_0 + t) = \text{const}$;

IV — $u = 2 \frac{v}{h} t$; V — $u = 2 \frac{v}{h} (h - t)$.

Таблица

Значения n_{1-1} и n_{1-2}

Случай	Вид эяры скорости	h/R_0				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1
I (a)	$u = \frac{Q}{A} = \text{const}$	1	1	1	1	1
		1,097	1,1888	1,2765	1,361	1,4127
I (б)	$u = \frac{Q}{A} = \text{const}$	0,9166	0,8412	0,7833	0,7347	0,6931
		1	1	1	1	1
II	$u = \omega(R_0 + t)$	0,7639	0,6122	0,5078	0,4321	0,375
		0,8381	0,7278	0,6483	0,5881	0,541
III	$u(R_0 + t) = \text{const}$	0,9192	0,8653	0,8276	0,8004	0,7805
		1,0085	1,0285	1,0565	1,0894	1,1261
IV	$u = 2 \frac{v}{h} t$	1,1605	1,0295	0,920	0,8421	0,7726
		1,2732	1,2239	1,1821	1,1461	1,1147
V	$u = 2 \frac{v}{h} (h - t)$	1,2711	1,2178	1,1705	1,1283	1,0903
		1,3945	1,4476	1,4943	1,5357	1,5731

Примечание: верхняя строка — n_{1-1} , нижняя — n_{1-2}

Для определения реальных эпюр скоростей и давления необходимо их получить экспериментально, однако при отсутствии таких данных можно с практической точностью определить эти значения по указанной методике расчета.

ԵրԱՄ ԻՄ. Կ. ՄԱՐԿՍ

8. V 1985

Վ. Հ. ԽՈՔՄԱՋՅԱՆ, Թ. Գ. ՄԱՐԿՍԻՐՈՅԱՆ

ՃՆՇՄԱՆ ԲԱՇԽՈՒՐԸ ՀԱՏԱԿԻ ԿՈՐԱԳԻՄ ՀԱՏՎԱԾՔ ՈՒՆԵՅՈՂ ՀՈՒՆԵՐՈՒՄ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Ստացված է հատակի կորագիծ հատվածք ունեցող հոներում ճնշման բաշխման հալիաարումը, որը հաշվի է առնում կենտրոնախույս ուժերի ազդեցությունը:

Տրվում է նախորդ հաշվային սխեմաներում տեղ գտած անճշտությունների գնահատումը: Դիտարկված են հոգի կենդանի կտրվածքով ճնշման բաշխման մի քանի մասնավոր դեպքեր՝ կախված արագության բաշխման օրենքից և րերված են հզորակացություններ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Чоу В. Т. Гидравлика открытых каналов.— М.: Стройиздат, 1969 — 463 с.

Изд. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 2, 1987

ՈՍԱՑՈՒՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐՆԵՐԸ

Մ. Դ. ՏՈԳՅԱՆ

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАНАВОК ПРИ РОТАЦИОННОМ ОБКАТЫВАНИИ ВАЛОВ

Ротационное обкатывание как один из способов поверхностного пластического деформирования (ППД) деталей машин получило широкое распространение.

В отличие от существующих схем [1] с целью получения растянутых канавок с определенной длиной спроектирована специальная головка, ось вращения которой расположена в вертикальной плоскости. Головка устанавливается либо в резцодержателе токарного станка (при обработке тел вращения), либо в шпинделе вертикального фрезерного станка (при обработке плоскости). Принцип работы головки заключается в следующем: на обойму внутреннего кольца шарикоподшипника 1 надето специальное наружное кольцо-сепаратор 2, на боковой поверх-

Для определения реальных эпюр скоростей и давления необходимо их получить экспериментально, однако при отсутствии таких данных можно с практической точностью определить эти значения по указанной методике расчета.

ԵրПІІ им. К. Маркса

8. V 1985

Վ. Հ. ԽՈՔՄԱՋՅԱՆ, Թ. Գ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

ՃՆՇՄԱՆ ԲԱՇԽՈՒՐԸ ՀԱՏԱԿԻ ԿՈՐԱԳԻՄ ՀԱՏՎԱԾՔ ՈՒՆԵՅՈՂ ՀՈՒՆԵՐՈՒՄ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Ստացված է հատակի կորագիծ հատվածք ունեցող հոներում ճնշման բաշխման հալիաարումը, որը հաշվի է առնում կենտրոնախույս ուժերի ազդեցությունը:

Տրվում է նախորդ հաշվային սխեմաներում տեղ գտած անհշտությունների գնահատումը: Դիտարկված են հոգրի կենդանի կտրվածքով ճնշման բաշխման մի քանի մասնավոր դեպքեր՝ կախված արագության բաշխման օրենքից և րերված են հզրակացություններ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Чоу В. Т. Гидравлика открытых каналов.— М.: Стройиздат, 1969 — 463 с.

Изд. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 2, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

М. Т. СОГОЯН

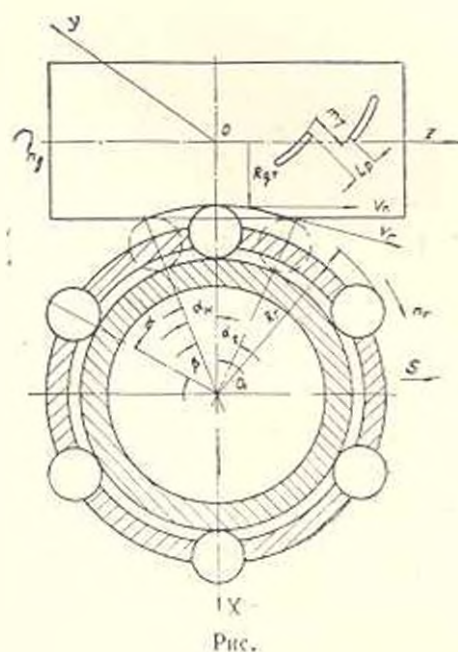
РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАНАВОК ПРИ РОТАЦИОННОМ ОБКАТЫВАНИИ ВАЛОВ

Ротационное обкатывание как один из способов поверхностного пластического деформирования (ППД) деталей машин получило широкое распространение.

В отличие от существующих схем [1] с целью получения растянутых канавок с определенной длиной спроектирована специальная головка, ось вращения которой расположена в вертикальной плоскости. Головка устанавливается либо в резцодержателе токарного станка (при обработке тел вращения), либо в шпинделе вертикального фрезерного станка (при обработке плоскости). Принцип работы головки заключается в следующем: на обойму внутреннего кольца шарикоподшипника 1 надето специальное наружное кольцо-сепаратор 2, на боковой поверх-

ности которого сделаны отверстия, куда вставляются шарики. В процессе обработки наружное кольцо получает принудительное вращение вокруг своей оси в вертикальной плоскости и перемещается вдоль образующей обрабатываемой детали на величину подачи. Под воздействием вращающего момента и предварительного натяга между шариковой головкой и обрабатываемой деталью шарики поочередно погружаются в деформируемую среду, перемещаются за счет подачи и выходят из среды.

Для управления этим процессом необходимо выявление основных кинематических зависимостей движения деформирующих шаров по обрабатываемой поверхности, а также определение режима обработки, обеспечивающего получение как частично регулярного микрорельефа (ЧРМР), так и проведение чистовой упрочняющей обработки (ЧУО). Для этого подготовлены образцы из алюминиевого сплава марки Д16Т $\phi = 60$ мм, предварительно обточены R_1 1,25 и затем обкатаны. Режим обкатки: диаметр шариковой головки 60 мм; количество и диаметр шариков $z = 8$, $D_{ш} = 8$ мм; частота вращения шариковой головки $n_1 = 1440$ об/мин. При этом варьировались частота вращения заготовки n_2 и осевая подача головки S . При $n_2 = 80$ об/мин, $S = 2$ мм/об нанесенные канавки располагались: расстояние между шеренгами $L_{ш} = 0$ и по рядам с расстоянием $L_p = 0$, при $n_2 = 50$ об/мин, $S = 8$ мм/об — $L_{ш} = 0$, $L_p > 0$, а при $n_2 = 50$ об/мин, $S = 4$ мм/об — $L_{ш} > 0$, $L_p > 0$, т. е. в зависимости от режимов обработки и конструктивных параметров инструмента можно получить поверхности с ЧРМР или ЧУО.



Выведем зависимости для расчета геометрических параметров канавок. Примем систему координат X, Y, Z , где начало координат помещено на оси обрабатываемой детали, X перпендикулярна оси заготовки, а Z параллельна подаче.

Из плана скоростей следует

$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_n, \quad (1)$$

где

$V_1 = 2\pi n_1 R_1$; $V_2 = 2\pi n_2 R_2$; $\vec{V}_n = S n_3$ — линейные скорости точки траектории головки, заготовки и подачи; R_1 и R_2 — радиусы головки и заготовки.

Проекции линейных скоростей на оси X, Y, Z :

$$\begin{cases} V_x = V_{1x} + V_{2x} + V_{nx} = 2\pi n_1 R_1 \cos(\alpha_1 - \alpha_2); \\ V_y = V_{1y} + V_{2y} + V_{ny} = -2\pi n_2 R_2; \\ V_z = V_{1z} + V_{2z} + V_{nz} = 2\pi n_1 R_1 \sin(\alpha_1 - \alpha_2) + S n_3. \end{cases} \quad (2)$$

Проекции перемещения за время t на оси X, Y, Z :

$$\begin{cases} X = 2\pi n_1 R_1 t \cos(\alpha_1 - \alpha_2) + R_2; \\ Y = -2\pi n_2 t [OO_1 - R_1 \cos(\alpha_1 - \alpha_2)]; \\ Z = 2\pi n_1 R_1 t \sin(\alpha_1 - \alpha_2) + S t n_3 - R_1 \sin \alpha_1, \end{cases} \quad (3)$$

где $\alpha_1 = \arccos \frac{OO_1 - R_1}{R_1}$ — угол между осью X и радиусом R_1 в момент, когда шарик входит в контакт; $\alpha_2 = \arccos \frac{2\pi n_1 t}{R_2}$ — угол между радиусом R_2 , когда шарик входит в контакт, и радиусом R_1 за время t ; $OO_1 = R_1 + R_2 - h$ — межосевое расстояние; $h = \gamma D_m$ — глубина пластического вдавливания шарика согласно [2], обычно $0,02 \leq \gamma \leq 0,08$.

Имея значение проекции перемещения, определяем длину линии нанесенной канавки L_k за время $t = \frac{x_1}{2\pi n_1}$:

$$L_k = \int_0^t \sqrt{(X')^2 + (Y')^2 + (Z')^2} dt. \quad (4)$$

Расстояния между шеренгами L_m и рядами L_p определяются:

$$L_m = \frac{\alpha}{2\pi} S; \quad L_p = \frac{\alpha}{n_1} n_2 R_2,$$

$$\text{где } \alpha = \beta - \alpha_1 = \frac{2\pi}{z} - \arccos \left(1 - \frac{D_m \gamma}{R_1} \right).$$

Полученные формулы позволяют с точностью, достаточной для инженерной практики, определить режимы обработки и геометрические параметры расположения нанесенных канавок.

Лен. фил. ЕРІНІ
им. К. Маркса

12 V. 1985

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Коновалов Е. Г. Чистовая и упрочняющая ротационная обработка поверхностей — Минск: Высшая школа, 1968 — 350 с.
2. Кудрявцев Н. В. Выбор силовых параметров упрочнения валов обхатыванием роликами. — Вестник машиностроения, 1983, № 4, с. 3—7.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 2, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Б. Н. ТЕН

ОБ ОДНОМ ПРИНЦИПЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ МАШИН

Разработка математической модели надежности, описывающей процесс износа и усталостное разрушение элементов подшипникового узла при работе механизма, представляет сложную задачу, при решении которой необходимо учитывать многочисленные вопросы, связанные с технологией изготовления и процессами, протекающими в узле во время эксплуатации. В отечественном машиностроении в качестве основного количественного показателя надежности машин принята вероятность их безотказной работы (ВБР) [1].

Известная модель надежности подшипников качения [2]:

$$P(t) = e^{-\left(\frac{h}{6.54r}\right)^{1.17}} \quad (1)$$

малопригодна для расчетной оценки показателей надежности подшипниковых узлов машин, т. к. она отражает надежность лишь подшипника, а не всего подшипникового узла и не учитывает влияния на уровень надежности таких важных факторов, как технологические погрешности изготовления и воздействующие условия эксплуатации, специфичные для конкретных типов машин.

Предлагаемый принцип моделирования расчетной оценки надежности подшипникового узла машины базируется на методе дифференцирования возможных отказов отдельных его элементов.

Конструкция подшипниковой опоры механизма, состоящей обычно из подшипника качения и подшипникового щита со всеми возможными

его элементами (узлов смены и подпитки смазки, лабиринтными уплотнениями, волнистым пружинным кольцом и т. д.), рассматривается как сложная техническая система. Отказ перечисленных элементов подшипникового щита в процессе эксплуатации практически исключен, кроме крайне редких случаев их поломки при транспортировании машин. Таким образом, исследуются только следующие элементы данной системы: подшипниковый щит (точнее, его гнездо), наружное кольцо подшипника, тела качения, внутреннее кольцо подшипника и сепаратор, которые рассматриваются как независимые. Отказ любого из исследуемых элементов приводит к отказу всего подшипникового узла.

Под надежностью подшипникового узла машины понимается безотказная работа элементов подшипника качения и гнезда в подшипниковом щите в условиях заданных эксплуатационных режимов и окружающей среды в течение всей установленной для данных типов машин минимальной (расчетной) наработки.

При разработке модели расчетной оценки надежности подшипникового узла важно выделить из большого объема переменных наиболее значимые факторы, влияющие на работоспособность и вызывающие усталостное разрушение элементов узла; при этом модель должна быть удобной для использования ее при проведении инженерных расчетов. В исследуемой модели из всего разнообразия факторов, вызывающих отказ в элементах подшипникового узла, как основные, выделены следующие:

- концентрация в элементе нормальных напряжений;
- концентрация в элементе напряжений сдвига;
- наличие исходных дефектов в элементе.

В связи с этим вводятся следующие основные понятия и определения.

1. Событие А — разрушение в элементе подшипникового узла начинается по причине перенапряжений в объеме (точка с максимальным нормальным напряжением является источником разрушения);

2. Событие В — разрушение в элементе начинается по причине перенапряжений в объеме (точка с максимальным напряжением сдвига является источником разрушения);

3. Событие С — разрушение начинается в некоторой точке элемента с дефектом (данная точка не является максимально напряженной).

События А, В, С совместные, тогда вероятность отказа i -го элемента подшипникового узла выразим соотношением

$$Q_i(t) = Q_i(A + B + C). \quad (2)$$

После соответствующих преобразований получим:

$$Q_i(t) = Q_i(A) + Q_i(B) + Q_i(C) - Q_i(AB) - Q_i(AC) - Q_i(BC) + Q_i(ABC). \quad (3)$$

ВБР i -го элемента подшипникового узла будет [1]:

$$P_i(t) = 1 - Q_i(t). \quad (4)$$

Таким образом, ВБР подшипникового узла машины за время наработки t только от действия перенапряжений и наличия в его элементах исходных дефектов определим из выражения

$$P(t) = \prod_{i=1}^4 P_i(t), \quad (5)$$

где $P_i(t) = P_i(t)$, $P_1(t)$, ..., $P_4(t)$ — ВБР соответственно внутреннего и наружного колец подшипника, тел качения, сепаратора и гнезда подшипникового шита.

Вероятности износа и наступления отказов отдельных элементов от действия механических нагрузок описываются известным для подшипников качения законом распределения отказов — двухпараметрической зависимостью Вейбулла, а вероятность отказов по причине наличия исходных дефектов — по И. Меламедову [3].

Представленная модель надежности применена при разработке нормативно-технической документации на методы расчетной оценки надежности подшипниковых узлов на шарикоподшипниках для трехфазных асинхронных двигателей малой мощности, являющихся наиболее массовой продукцией электромашиностроения [4].

НИИЭлектромаш

18. II. 1983

ЛИТЕРАТУРА

1. Прохоров А. С. Надежность машин. — М.: Машиностроение, 1978. — 592 с.
2. Спришевский А. Н. Вопросы надежности и долговечности подшипников качения: Обзор. — М.: Инфорэлектро, 1967. — 191 с.
3. Меламедов И. М. Физические основы надежности. — М.: Энергия, 1972. — 152 с.
4. РТМ 16 800.717-79 «Машины электрические малой мощности. Методика расчета надежности подшипниковой сборочной единицы трехфазных АДММ» — М.: ВНИИСтандартэлектро, 1979. — 32 с.

ՆՔ ՈՒԹԱԴԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Ա. Կ. Լուսաբայան: Ընդգրկու փոշենամածուկածքների ստացման ֆիզիկա-քիմիական առանձնահատկությունները 3

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Ձ. Գ. Տեր-Մարտիրոսյան, Ի. Գ. Լիսեվսկայան: Բնահողային զանգվածում լարվածության բաշխումը երա սահմանում պարբերաբար տեղաբաշխված նորմալ բծոններից 7

ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆԻԿԱ

Վ. Լ. Սաֆարյան: Կոմպլեքս փոփոխականի կոտորակա-գծային ֆունկցիաների կիրառումը գծային էլեկտրական շղթաների հետազոտման մեջ 11

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԿՐԻՏԵՐԻԿՏԻԿԱ

Ի. Մ. Կուրապետյան, Վ. Ի. Ֆինսև, Մ. Ֆ. Սարխիմանով: Ինֆորմացիայի հաղորդման բնդհանուր կանաչի մոդելի ներկայացման հնարավորությունը հավանական ավտոմատի տեսքով 15

Ի. Լ. Փաշչյան: Կամալական կառուցվածքով բարդ համակարգի կանխորոշման մի հարցի մասին 20

Ա. Լ. Գուլիսյան, Գ. Գ. Աբուլյանց, Լ. Ա. Ռաֆայելյան, Օ. Լ. Հաբարյան: Հաճախական բնութագրերի և բազմաչափ երկնակների փոխանցիկ ֆունկցիաների մատրիցաների հայվարկը ՎՇ ԱՊՀ-ում 24

ՀԻԴՐՈՎԼԻԿԱ

Ի. Մ. Ղազարյան: Ոռոգելի նոդատարածությունում ուղղաձիգ զրենամի ֆոնի վրա չրափոխանակման խնդրի օպտիմիզացումը 29

Վ. Շ. Բաբայան, Ի. Գ. Մարտիրոսյան: Ծնշման բաշխումը հատակի կոբազիծ հասվածք ունեցող հուններում 34

ԴԻՏԱԿԱՆ ՆՈՒԹԵՐ

Մ. Ա. Սողոյան: Մշակման ոնեմների և ակոսների երկրաշափական պարամետրերի հաշվարկումը լիսեռների ոռոտացիոն զյոսեման ղեկբում 49

Ռ. Ն. Տևե: Մերեանների առանցքակայան հանգույցների հուսալիության մոդելավորման մի ակզոուչի մասին 43

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Л. Е. Саркисян. Физико-химические особенности получения прессованных порошковых сплавов 3

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

- Д. Г. Тер-Мартirosян, Р. Г. Маннелян. Распределение напряжений в грунтовой массине под действием периодически расположенных вертикальных нагрузок на его границе 7

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- В. С. Сафарян. Применение дробно-линейных функций комплексной переменнoй к исследованию линейных электрических цепей 11

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

- А. М. Карапетян, Ф. И. Финяев, М. Ф. Саримхмудов. Возможность представления модели дискретного канала передачи информации в виде перекрестного автомата 15
- Р. М. Тащиян. Об одном вопросе диагностирования сложных систем с периодической структурой 20
- А. С. Даниелян, Г. Г. Арунянц, М. А. Рафиелян, О. А. Арутюнян. Расчет частотных характеристик и матриц передаточных функций многомерных объектов в САПР СУ 24

ГИДРАВЛИКА

- С. М. Казарян. Оптимизация задачи водного обмена на орошаемых землях на фоне вертикального дренажа 29
- В. О. Тохмаджян, Р. Г. Мартirosян. Распределение давления на участке канала с криволинейным очертанием профиля дна 34

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

- М. Т. Сокоян. Расчет режимов обработки и геометрических параметров капавок при ротационном обкалывании валов 40
- Б. Н. Тян. Об одном принципе моделирования надежности подшипниковых узлов машин 43