

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՄԲԱՆՐԱԿԱՆ ԿՈՒՆԻՒՆՎ

Խասյան Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Աղոնյ Զ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ), Արևելսկի Վ. Վ.,
Անանյան Ա. Կ., Գուրյան Տ. Ա., Չաղոյան Մ. Ա., Խազարով Ա. Ի., Տեր-Ազարե Ի. Ա., Փինաժ-
յան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ)
Փաստախառնատու ծառայողար Ստեփանյան Զ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (посмет. редактор), Агониц Г. Т. (зам. ответ. редактора), Алексеевский
В. В., Аницян А. К., Горюян Т. А., Зидоян М. А., Изларон А. Г., Пинаджян В. В. (зам.
ответ. редактора), Тер-Азарьев И. А.
Ответственный секретарь Степанян З. К.

Խմբագրության հասցեն՝ Երևան—1, Արղիսյան փող. 15.
Адрес редакции Ереван—1, ул. Абовяна, 15.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Д. О. МЕЛКУМЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Известно [1, 2, 3], что исследование устойчивости линейных систем с запаздыванием сводится к установлению того, что все корни характеристического уравнения лежат в левой полуплоскости. Однако в данном случае характеристическое уравнение трансцендентное, что существенно усложняет исследование устойчивости из-за наличия бесконечного числа корней. Поэтому алгебраические критерии устойчивости и численные методы вычисления корней оказываются непригодными. Графические критерии Найквиста и Михайлова хотя и применимы, но не удобны для реализации на ЦВМ.

В работе предлагается новый критерий устойчивости для линейных систем с запаздыванием, который, наряду с простотой и наглядностью, удобен при реализации на ЦВМ. Заметим, что аналогичный критерий устойчивости существует для линейных систем с сосредоточенными параметрами [4].

Критерий устойчивости. Пусть характеристический квазиполином линейных замкнутых систем с запаздыванием имеет вид:

$$D(p) = N(p) + M(p)e^{-p\tau}, \quad (1)$$

где

$$W(p) = \frac{M(p)}{N(p)} \quad (2)$$

— передаточная функция разомкнутой системы без запаздывания, которая представляет собой рациональную функцию.

Докажем справедливость следующего утверждения: для устойчивости линейной системы с запаздыванием, имеющей характеристический квазиполином (1), необходимо и достаточно, чтобы площадь, заключенная между графиком производной аргумента характеристического квазиполинома и осью абсцисс, была равна π , т. е.

$$\int_0^\infty \theta(\omega) d\omega = \pi, \quad (3)$$

где

$$H(\omega) = \frac{d}{d\omega} [\arg D(i\omega)]. \quad (4)$$

Доказательство. Известно [3], что для управляемых систем с запаздыванием справедлив критерий устойчивости Михайлова:

$$\Delta \arg D(i\omega) = n\pi. \quad (5)$$

Ясно, что равенство (5) можно представить в виде (3), учитывая обозначение (4). Так как (5) является необходимым и достаточным условием устойчивости [3], то предложенный критерий устойчивости (3) также является необходимым и достаточным.

Формулы вычисления. Положив в (1) $p = i\omega$, получим

$$D(i\omega) = u(\omega) + i v(\omega), \quad (6)$$

откуда

$$\arg D(i\omega) = \operatorname{Arctg} \frac{v(\omega)}{u(\omega)}, \quad (7)$$

следовательно

$$H(\omega) = \frac{d}{d\omega} [\arg D(i\omega)] = \frac{uv' - v u'}{u^2 + v^2}, \quad (8)$$

если u и v одновременно не равны нулю, т. е. если характеристический квазиполynomial (1) не имеет нулей на мнимой оси.

Учитывая, что $e^{i\omega\tau} = \cos \omega\tau + i \sin \omega\tau$, получим:

$$\begin{aligned} u &= u_n + u_m \cos \omega\tau - v_m \sin \omega\tau; \\ v &= v_n + u_m \sin \omega\tau + v_m \cos \omega\tau; \\ u' &= u'_n + (u'_m - \tau v'_m) \cos \omega\tau - (v'_m + \tau u'_m) \sin \omega\tau; \\ v' &= v'_n + (u'_m + \tau v'_m) \sin \omega\tau + (v'_m - \tau u'_m) \cos \omega\tau, \end{aligned} \quad (9)$$

где u_n , v_n , u_m , v_m — соответственно действительные и мнимые части многочленов $N(i\omega)$ и $M(i\omega)$, т. е.

$$\begin{aligned} u_n &= \operatorname{Re} N(i\omega); & u_m &= \operatorname{Re} M(i\omega); \\ v_n &= \operatorname{Im} N(i\omega); & v_m &= \operatorname{Im} M(i\omega). \end{aligned}$$

В силу четности функций u_n , u_m , $\cos \omega\tau$, v_n , v_m и нечетности функций v_n , v_m , $\sin \omega\tau$, u'_n , u'_m нетрудно заметить, что u , v' являются четными функциями, а u' , v — нечетными. Поэтому, согласно формуле (8), функция $H(\omega)$ четная, т. е.

$$H(-\omega) = H(\omega). \quad (10)$$

Следовательно, условие (3) примет вид:

$$\int_0^{\infty} H(\omega) d\omega = n\pi/2. \quad (11)$$

Пример. Определить устойчивость замкнутой системы, если передаточная функция разомкнутой системы имеет вид [5]

$$W(p) = \frac{e^{-p\tau}}{2p^2 + 0,5p + 2} \quad (12)$$

Решение. Характеристический квазиполином замкнутой системы можно получить суммированием знаменателя и числителя функции

$$D(p) = 2p^2 + 0,5p + 2 - e^{-p\tau}. \quad (13)$$

На основании (9) получим:

$$\begin{aligned} u &= 2 - 2\omega^2 + \cos\omega\tau; & u' &= -4\omega - \tau\sin\omega\tau; \\ v &= 0,5\omega - \sin\omega\tau; & v' &= 0,5 - \tau\cos\omega\tau. \end{aligned} \quad (14)$$

Численным интегрированием по формуле (11) в интервале (0,4) легко установить, что система устойчива, когда $\tau=0$, $\tau=5$ и не устойчива при $\tau=1$, $\tau=10$. Графики функции $H(\omega)$, вычисленные для соответствующих случаев по формуле (8), приведены на рис. 1. Годографы Михайлова для соответствующих случаев представлены на рис. 2. Заметим, что для линейных систем с запаздыванием требование последовательного пересечения годографа Михайлова с координатными осями не имеет места ($\tau=5$), а в предложенном критерии не имеет места условие $\Theta(\omega) > 0$ — кривая $H(\omega)$ стремится к нулю с колебанием относительно оси абсцисс.

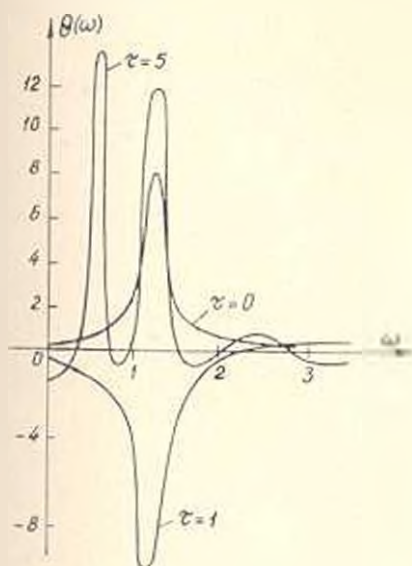


Рис. 1.

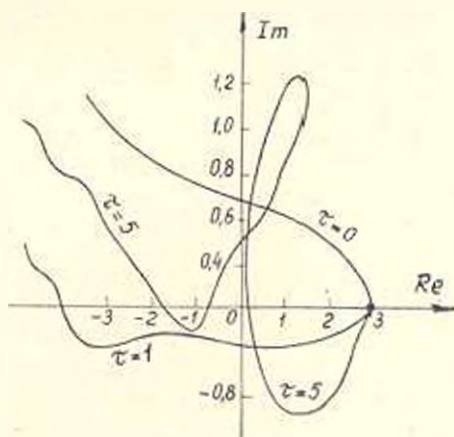


Рис. 2.

Сравнение критериев устойчивости. Так как в данном случае алгебраические критерии устойчивости и численные методы вычисления корней не эффективны в силу четного количества корней, то сравнение

производим только между критериями Михайлова, Найквиста и предлагаемым. Можно полагать, что в качестве графического критерия они эквивалентны, только по объему вычислений предложенный критерий уступает в два раза. Однако с точки зрения реализации на ЦВМ предложенный критерий имеет существенные преимущества. Если предложенный критерий реализуется на ЦВМ в виде численного интегрирования функции $\Theta(\omega)$ в определенном интервале, то критерий Михайлова реализуется на ЦВМ в виде определения действительных корней трансцендентных уравнений

$$u = \operatorname{Re} D(i\omega) = 0; \quad v = \operatorname{Im} D(i\omega) = 0,$$

а критерий Найквиста — в виде определения действительных корней трансцендентных уравнений

$$|W(i\omega)| = 1; \quad \arg W(i\omega) = -\pi.$$

Ясно, что определение действительных корней трансцендентного уравнения значительно более трудная задача, чем вычисление определенного интеграла.

ЕрНННММ

Поступило 6.VII.1970.

Պ. Հ. ՄԵԼԵՔՈՒՄՅԱՆ

ՀԱՊԱՂՈՒՄՈՎ ԳԾԱԿԻՆ ԱՌՍՏԵՄԱՆԵՐԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հայտնի է [1,2,3], որ հապաղումով գծային սխեմաների բեռնադրիչ հավասարումը տրանսցենդենտ է՝ օժտված անվերջ (հաշվիչի) քանակի արժատերերով, Այդ հանդամանքը էսպես դժվարացնում է նշված սխեմաների կայունության ուսումնասիրումը, շնայած որ որպես կայունության չափանիշ է ծառայում բոլոր արժատերերի իրական մասերի բացասական լինելը: Ըստ որում կայունության հանրահաշվական չափանիշները և արժատերի հաշվման թվային մեթոդները դործնականում անպիտո են, քանի որ վերջավոր քանակի դործողությունների միջոցով արդյունքի չեն հասնում, իսկ նախկինտի և Միխայլովի գրաֆիկ չափանիշները թեպետ և կիրառելի են, սակայն հարմար չեն հաշվիչ մեքենաներում իրագործման տեսակետից:

Հապաղումով գծային սխեմաների կայունության որոշման համար առաջարկում է նոր չափանիշ, որը պարզության հետ միասին հարմար է հաշվողական տեսակետից, Ըստ էության այն իրենից ներկայացնում է արգումենտի սկզբունքի ինտեգրալային տեսքը: Քերված է չափանիշը լուսարանող օրինակ: Տրված է գոյություն ունեցող չափանիշների համեմատությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Чеботарев Н. Г., Мейман Н. Н. Проблема Рауса-Гурвица для полиномов и целых функций. Тр. Матем. ин-та им. Стеклова, 26 (1949).
2. Васильев Р., Кук К. Л. Дифференциально-разностные уравнения. «Мир», М., 1967.
3. Гиллеспи Л. С., Каменский Г. А., Эльсгольц Л. Э. Математические основы теории управляемых систем. «Наука», М., 1969.
4. Молкумян Л. О. Исследование систем автоматического управления методом произвольной аргумента. «Известия АН Арм. ССР теории ТН», том XXIV, № 6, 1971.
5. Воронин А. А. Основы теории автоматического управления, Ч. II. «Энергия», М., 1966.

ГИДРОТЕХНИКА

А. К. АНАНИН

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА
В ОБЛАСТИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Научно-технический прогресс имеет первостепенное значение для решения задач, предусмотренных в директивах XXIV съезда КПСС по дальнейшему повышению материального и культурного благосостояния народа на базе высокой производительности труда во всех областях народного хозяйства.

Большое значение в этом деле имеет развитие водохозяйственного строительства в связи с осуществлением грандиозных планов по расширению орошаемых площадей и развернутому наступлению на засуху. Эти вопросы, которые в нашей республике разрабатываются ММ и ВХ Арм. ССР и соответствующими проектными и научно-исследовательскими институтами, имеют первостепенное значение и для развития народного хозяйства Арм. ССР.

Рост производительных сил в нашей республике в будущем приведет к потребности воды в объеме 6,7 куб. км.

Средний многолетний речной сток республики составляет 6,3 куб. км. Эксплуатационные запасы подземных вод составляют 1,0 куб. км. в год. Сток рек Арм. ССР имеет резко выраженный паводочный характер: больше половины речного стока протекает в течение трех месяцев (апрель — июнь).

Следует отметить, что в маловодные годы сток всех рек Арм. ССР в внепаводочный период составляет 2,2 куб. км.

Суммарный объем сточных в будущем составит примерно 1,0 куб. км., который, как видно, составляет половину стока всех рек Арм. ССР внепаводочного периода маловодного года.

Из изложенного видно, что по балансовым показателям годовая потребность всех отраслей народного хозяйства республики в воде в будущем примерно будет равняться годовому стоку. Из этих же показателей видно, что режим водопотребления и естественный режим стока рек резко расходятся. Поэтому без регулирования стока не может быть решена проблема обеспеченности всех отраслей народного хозяйства республики водой.

Растущая потребность в воде может быть обеспечена только при условии создания большого числа водохранилищ и повторного использования сточных вод населенных мест и промышленности. Наиболее

сложной проблемой использования и охраны водных ресурсов республики является очистка сточных вод, их обезвреживание и повторное использование. В этом деле существенную роль должны сыграть развитие научно-исследовательских работ и научно-технический прогресс.

Одним из основных путей интенсификации и прогрессивного развития сельскохозяйственного производства является повышение водообеспеченности орошаемого земледелия. Нельзя мириться с тем, что в мало-водные годы сельскохозяйственное производство падает. Поэтому если раньше вопрос о многолетнем и полном регулировании стока отодвигался на более отдаленную перспективу, то теперь этого допускать нельзя.

Совмещение графиков водопотребления всех отраслей народного хозяйства (бездефицитное покрытие потребности в воде при высокой обеспеченности, в том числе и в мало-водные годы) с режимами водотоков возможно только на основе полного регулирования стока и создания единой водной и водохозяйственной системы. В состав единой системы войдут: водохранилища и водоподъемные плотины, системы электропотребления, каналы и тоннели, крупные насосные станции для переброски стока многоводных речных бассейнов в мало-водные и т. п. Единая водохозяйственная система должна быть создана на основе оптимального водного баланса, удовлетворяющего многообразные интересы народного хозяйства и населения различных районов нашей республики.

В условиях массового строительства водохозяйственных объектов крайне необходимо нахождение оптимальных вариантов решения задачи, иначе создание единой водохозяйственной системы может привести к неоправданно большим затратам. Например, в нашей республике большой размах должно получить строительство плотин из местных строительных материалов (земляные, каменно-набросные, комбинированные и другие виды плотин), так как вблизи почти любого строительного участка можно найти соответствующие карьеры для взведения тела плотины. При этом можно значительно уменьшить расход цемента и ослабить напряженность в цементном производстве. Несмотря на это, строительство плотин из каменной наброски не получило развития ни в нашей республике, ни в других республиках потому, что трудоемкие работы, связанные с возведением плотин, не механизированы. В данном случае необходимо иметь в виду механизацию всего комплекса строительства, включая карьерное хозяйство и вопросы транспорта.

Для интенсификации и удешевления водохозяйственного строительства немаловажное значение имеет также создание механизма для ускоренной проходки тоннелей и каналов в скальных породах.

Вопросы нахождения оптимальных параметров единой водохозяйственной системы и автоматизация процессов управления режимов вполне разрешимы при современном уровне развития науки и техники.

В деле регулирования режимов водных ресурсов, повышения эффективности их использования и уменьшения затрат по строительству

водохранилища и плотины очень важное значение имеют лесомелиоративные мероприятия. Лесомелиоративные мероприятия, выполняемые на подосборных площадях тех или иных речных бассейнов, позволяют задержать сток талых вод, повысить степень естественной зарегулированности стока, ослабить силу паводков, уменьшить эрозионные процессы, улучшить режим грунтовых вод и т. п.

Орошаемые площади в нашей республике в настоящее время составляют 255 тыс. га, из годового стока рек Арм. ССР им выделяется 2,0 куб. км. воды. В будущем орошаемые площади будут расширены на 400 тыс. га. Для этой цели планируется ежегодно выделять дополнительно 2,3 куб. км. воды. Из приведенных цифр видно, что расширение орошаемых площадей в значительной степени намечается осуществить за счет более эффективного и рационального использования имеющихся водных ресурсов. В связи с этим возникает необходимость разработать ряд мероприятий по уменьшению потерь воды.

Наибольшей экономии можно добиться путем повышения коэффициента полезного действия межхозяйственных и внутрихозяйственных оросительных систем, применения более прогрессивных или улучшения существующих способов орошения и техники поливов, более широкого использования подземных вод для орошения. В отношении повышения к. п. д. пригационных систем ограничимся только указанием на целесообразность применения поточного метода бетонирования каналов, более широкого применения железобетонных сборных лотков и труб и различных пленочных экранов из полимерных материалов для борьбы с фильтрацией из каналов и водохранилищ. Фильтрационные потери можно уменьшить также путем укрупнения межхозяйственных каналов, сокращения их длины и числа хозяйственных водовыделов и т. д. В отношении техники полива ограничимся указанием на необходимость резкого расширения площадей механического орошения, т. е. перехода на дождевальную технику там, где это возможно по климатическим и почвенным условиям.

При поверхностном способе полива необходимо добиваться максимального удлинения борозд. При этом можно значительно повысить коэффициент использования земель, механизировать процесс полива и повысить производительность поливальной машины. Методы удлинения борозд разработаны в НИИВПиг. В дальнейшем необходимо ускорить процесс внедрения. Необходимо также в определенных почвенных, климатических и рельефных условиях смелее применять канальное и подпочвенное орошение.

При разработке более совершенной поливной техники главное заключается в том, чтобы максимально механизировать и автоматизировать процессы полива с минимальными затратами, свести к минимуму фильтрационные потери.

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур тесно связано с режимом орошения, в частности на засоленных и переувлажненных землях Араратской равнины. При этом основная задача

заключается в том, чтобы исключить вторичное засоление земель, склонных к засолению, и предотвратить возможность переувлажнения почвы. Необходимо также на прогрессивном агротехническом фоне установить оптимальные нормы и режимы орошения сельскохозяйственных культур, обеспечивающие получение максимального урожая. Перечисленные выше вопросы частично разрабатывались в ИИИВЦиГ. В будущем необходимо расширить эти исследования и шире охватить проблему в целом, привлекая к этим работам институты сельскохозяйственного профиля.

Эффективность дренажа в борьбе со вторичным засолением и переувлажнением земель и вообще для поддержания их в хорошем мелиоративном состоянии не требует дополнительного доказательства. Однако выбор рационального типа дренажа и установление его оптимальных параметров в условиях Араратской равнины требует более глубокого и всестороннего анализа и связи с улучшением мелиоративного состояния земель.

Освоение содовых солончаков и переувлажненных земель Араратской равнины и создание оптимального водно-селевого режима на мелиорируемых землях при максимальном использовании подземных вод для орошения является проблемой первоочередной важности для нашей республики. Эти работы были и остаются в центре внимания ММиВХ и МСХ Арм. ССР.

Строительство дренажа требует выполнения большого объема гидрогеологических изысканий для обоснования выбора типа дренажа и установления его оптимальных параметров. Стоимость гидрогеологических работ составляет значительную долю стоимости дренажных работ. Поэтому уменьшение объема гидрогеологических изысканий, повышение их точности и сокращение сроков выполнения работ является задачей большой важности. Поставленную задачу можно разрешить различными путями. Одним из эффективных путей является внедрение в мелиоративную гидрогеологию геофизических методов (сейсморазведка, электрозондирование, ВЭЗ, метод вызванных потенциалов и т. д.). Комплекс геофизических методов позволяет произвести литологическое расчленение разрезов местности, количественно определить общую минерализацию подземных вод и степень засоления грунтов в зоне аэрации, определить высоту стояния уровня грунтовых вод и фильтрационные свойства водоносных пластов и т. д. Очень важное значение имеет также применение математических методов моделирования гидрогеологических, фильтрационных процессов для оценки запасов подземных вод и установления режимов отбора при помощи дренажных устройств. Математические методы моделирования позволяют также определить гидрогеологические параметры водоносных пластов, что в конечном счете сводится к резкому сокращению объемов дорогостоящих гидрогеологических изысканий и повышению надежности и точности искомых величин.

Одним из путей прогресса в водохозяйственном строительстве

является вопрос перевода всех видов полевых работ, в том числе и гидрогеологических съемок, на современные информационные методы учета, хранения и обработки. В частности представляет большой интерес внедрение в практику разработанных ВСЕГИНГЭО методов сбора и машинной обработки массовых данных по изучению режимов подземных вод на больших площадях.

В деле научно-технического прогресса немаловажную роль играет создание приборов и систем для оперативного получения информации, их хранения и обработки, например, о режимах подземных вод, об изменении их уровня и химизма на больших орошаемых площадях. При организации режимных наблюдений за влажностью и динамикой солей в зоне аэрации весьма эффективным является использование ядерно-физических методов и технических средств.

В деле научно-технического прогресса в области мелиоративной гидрогеологии и водного хозяйства определенную роль должны играть и теоретические исследования. Например, необходимо развить теоретические исследования по проблеме формирования режима и баланса подземных вод в речных бассейнах и в межгорных впадинах, по прогнозу изменения гидромелиоративной обстановки больших массивов в результате орошения, по процессам взаимодействия поверхностных и подземных вод на больших орошаемых площадях, по формированию водно-солевого режима в зоне аэрации и т. д.

Рассмотренные вопросы являются только частью общей проблемы научно-технического процесса в области водохозяйственного строительства. В настоящее время перечисленные выше вопросы в той или иной степени разрабатываются различными организациями. Однако внедрение результатов исследований не удовлетворяет запросам практики. Это частично можно объяснить недостаточным объемом выполненных работ и отсутствием должного взаимодействия между различными заинтересованными организациями.

ЕрПН им. К. Маркса

Поступило 9 IX.1972.

ՈՒՆՈՒՄ

ՋՐԱՆԵԱՐԱՐՈՒԹՅԱՆ ԲՆԱԳԱՎԱՌՈՒՄ ԿԵՏԱ-ՏՆՆԱԴՐԱԿԱՆ ԱՌԱՋԱԿՈՒՐՈՒԹՅԱՆ ՄԵ ԳԱՆԻ ՀԱՐՑՆԵՐ ՄԱՍԻՆ (ԱՐԳՈՓՈՒՄ)

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հանրապետության ժողովրդական տնտեսության ներառյալ գյուղատնտեսական տնտեսության կարևոր տեղ են զբաղում ջրատարափութիւնների հարցերը, որոնք կարող են լուծվել միայն գետերի բնական հոսքերի լրիվ կանոնադրման պայմաններում: Միայնակ ջրալին և ջրատնտեսական օբյեկտների ստեղծումը հնարավորություն կընձեռնի վերաբուշխել ջրալին սևտուրսները տարբեր կլիմայական պայմանները ունեցող շրջանների միջև և պահանջի սեփմները եպատակա-

արմար ձևով հարմարեցնել դեռերի հոսքերի ուժիմներին։ Սխալ ալ ջրային սխառնմի ստեղծումը նաարալորուլլուն կաա ուուլլող հողերը լրիւ աղահովել չլլալ՝ պահպանելով պլուդաաաաաաաա մլերերի ալաաղրուլլաա քարծր մակարղակը նաա ջրաաակալ աալինելում։

Հողլածում րնաարկլած եա նաա ջրային ուսուրաաերի ապիոնալ օղաաղործաաեր վերաբերող ալլ «ալցեր» կրարաալաա դալաաալալրի աղաաաերի և դերիաաաաաա հողերի օղաաղործումը, դրնաաալին սխաաաաաերի սաեղաումը, մալլեաաաակաա մողալալումը, դեռֆիգիկաաա մլողերի կիրաաումը և ալլա։

ГИДРОТЕХНИКА

Г. Д. СТЕПАНИАН, Г. Г. АЦАГОРЦЯН

К МЕТОДИКЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ПРОЕКТИРУЕМЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СКВАЖИН

Освоение засоленных земель связано со снижением уровня грунтовых вод на определенную глубину. В этих целях применяются различные виды вертикального и горизонтального дренажа. В условиях засоленных почв, встречающихся на Араратской равнине Арм. ССР, наиболее целесообразным видом дренажа, дающим наибольший эффект дренирования, является осушение насосными колодцами (вертикальный дренаж), при помощи которого можно понизить грунтовые воды до любой заданной отметки.

Поскольку уровень грунтовых вод в колодце зависит от их запасов, однозначно определяемых работой существующей дренажной системы, то колебания этого уровня являются функцией всего многообразия действующих в данных конкретных условиях факторов: климатических, геологических, гидрогеологических, метеорологических и т. д.

Основной задачей проектирования вертикального дренажа является правильный расчет дебита каждой скважины, обеспечивающей понижение уровня грунтовых вод к любой точке осушаемой территории до отметки, соответствующей норме осушения. Существующие методы расчета дебита скважин вертикального дренажа [1—2] основываются на определении необходимого объема грунтовой воды, подлежащего удалению.

В настоящей статье приводится метод расчета параметров вертикальных скважин, заложенных в однослойной водоносной толще и имеющих постоянный дебит. Предлагаемая линейная модель решения этой задачи учитывает взаимовлияние системы вертикальных скважин с выбором их оптимальных параметров при условии минимизации приведенных затрат.

В основе линейной модели решаемой задачи лежит следующее соотношение:

$$P_0 - P_k(t) = q_k f(t), \quad (1)$$

где P_0 —начальный напор в скважине; $P_k(t)$ —мгновенный напор в скважине при откачке; q_k —дебит скважины; $f(t)$ —функция, выражающая влияние откачки воды на напор в скважине; $q_k f(t)$ —напор в скважине после завершения откачки.

При проектировании системы из n скважин, напор в j -ой скважине, учитывая взаимовлияние скважин, можно выразить следующим образом:

$$P_j(t) = P_{j0} - \sum_{i=1}^n q_i q_{ij}(t), \quad (2)$$

где q_{ij} — функция влияния i -ой скважины на j -ую.

Для определения оптимальных параметров проектируемых скважин, разбивка сети скважин на осушаемой территории производится с таким условием, чтобы было обеспечено понижение уровня грунтовых вод в выбранных характерных точках.

В однородных грунтах расчетные затраты ($З_p$) для скважин с заданным радиусом (r_0) являются функцией глубины скважины (s), длины фильтра (l_ϕ) и дебита скважины (q).

$$З_p = З_p(r_0, s, l_\phi, q). \quad (3)$$

Все эти параметры взаимосвязаны и, в свою очередь, определяются в зависимости от геологических, гидрогеологических, гидрологических и др. условий, т. е. $q = q(s)$, $l_\phi = l_\phi(s)$ и т. д.

Суммарные приведенные затраты для j -ой скважины можно выразить в виде $Н_j(q_j) + \frac{K_j(q_j)}{T}$ (T — срок службы скважины), а для всей системы проектируемых скважин —

$$\sum_{j=1}^n \left[Н_j(q_j) + \frac{K_j(q_j)}{T} \right], \quad (4)$$

где $Н_j(q_j)$ — текущие затраты на эксплуатацию j -ой скважины при ее дебите q_j ;

$K_j(q_j)$ — капитальные вложения на постройку j -ой скважины при ее дебите q_j ;

n — количество скважин системы.

На основании данных исследований отдела подземных вод и дренажа АрмНИИВПиГ [3] с использованием выражений (1) и (2) строится сеть депрессионных воронок для различных расходов и определяются функции влияния, как для скважины, так и для характерных точек осушаемого массива. По выражению $\frac{P_0 - P_k(t)}{q} = f(t)$ определяется функция влияния $f(t)$, которая в дальнейшем используется при построении модели. В расчетах использованы данные, полученные на опытной осушаемой территории АрмНИИВПиГ в Октемберянском районе Арм ССР (рис. 1).

Аппроксимация полученных зависимостей (3) и (4) значительно облегчает трудоемкость ручного подсчета. Зависимость расчетных затрат от глубины скважины можно выразить в виде $З_p = 28s$.

При установлении этой зависимости учтены капиталовложения и

эксплуатационные издержки, а также затраты на постройку фильтров. Зависимость длины фильтра от глубины погружения скважины получена на основании данных по действующим системам вертикальных дрен

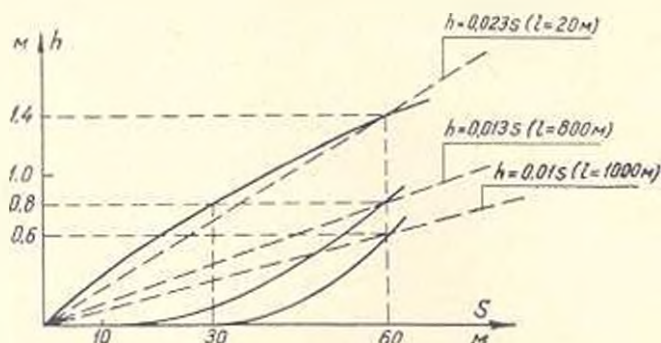


Рис. 1. Графики зависимости снижения уровня грунтовых вод (h) от глубины скважины (s) — расстояние характерной точки от скважины

Исходя из этих данных здесь принимается прямолинейная зависимость между длиной фильтра и глубиной скважины в виде $l_{\phi}=0,6s$.

При сравнении вариантов капиталовложений, осуществляемых в разные сроки, учитывая изменение текущих затрат во времени, необходимо и те и другие привести к первому году планирования (t_1), т. е. учесть фактор времени.

$$Z_p = \sum_{t_1=t_0}^{t_1} \left| \sum_{j=1}^n H_j(q_j) + \frac{K_j(q_j)}{T} \right| (1+\alpha)^{-t_s} = \min, \quad (5)$$

где α — коэффициент приведения затрат к данному моменту (в расчетах принимается равным нормативному коэффициенту эффективности);

$T_1 - t_1$ — срок планирования.

Балансовое соотношение для целевой функции имеет вид:

$$P_j(t) - P_{0j} - \sum_{i=1}^n q_i \cdot q_{ij}(t) \leq H_j, \quad (6)$$

где H_j — проектный напор воды в скважине. При этом должны иметь место следующие ограничения:

$$0 \leq q_i \leq d_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, n, \dots, n+m). \quad (7)$$

Здесь n — число предусмотренных скважин, а m — число характерных точек на осушаемом массиве.

В случае безнапорных скважин напоры в них $P_i(t)$ заменяются уровнями грунтовых вод, устанавливающимися после откачки, а q_i , т. е. дебит i -ой скважины заменяется ее глубиной s_i .

Используя вышеприведенные характеристики для проектного понижения уровня грунтовых вод на некоторую величину (принятую здесь

равной 1.0 м), задача определения оптимальных глубин скважин решается следующим образом.

Согласно разбивке, скважины расположены на расстоянии 1000 м друг от друга. Рассматривая две скважины и характерную точку, находящуюся на расстоянии 800 м от скважины № 1 и на расстоянии 1000 м от скважины № 2, выражение (3) запишем в виде:

$$Z_p = 28 \sum_{i=1}^2 s_i - \min; \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} 0,023s_1 + 0,01s_2 &\geq 1 \\ 0,01s_1 + 0,023s_2 &\geq 1 \\ 0,013s_1 + 0,01s_2 &\geq 1 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$0 \leq s \leq 60. \quad (10)$$

Эта задача линейного программирования с двусторонними ограничениями решается методом последовательного улучшения плана. Нормальный вид зависимостей (8), (9) и (10) следующий:

$$Z_p = -28 \sum_{i=1}^2 y_i + 28 \cdot 2 \cdot 60; \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} 0,023y_1 + 0,01y_2 + x_1 &= 0,68 \\ 0,01y_1 + 0,023y_2 + x_2 &= 0,68 \\ 0,013y_1 + 0,01y_2 + x_3 &= 0,38 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

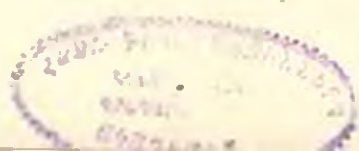
$$\left. \begin{aligned} y_i &\geq 0 & x_j &\geq 0 \\ i &= 1, 2 & j &= 1, 2, 3. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Получив задачу с однородными ограничениями, решаем ее, применив первый алгоритм симплекс метода. Результаты решения:

$$s_1 = 22 \text{ м}, \quad s_2 = 60 \text{ м}.$$

Задача решена также и для случая трех скважин и одной характерной точки при следующем их расположении. В одном случае скважины образуют равносторонний треугольник со стороной 1000 м ($s_1 = 40$ м; $s_2 = 60$ м), а в другом случае — со стороной 800 м ($s_1 = 16,5$ м; $s_2 = 60$ м).

Результаты решений показывают, что на территории осушаемого массива можно произвольно распределить сеть вертикальных скважин и удовлетворить условие понижения уровня грунтовых вод в характерных точках. На основании расчетов определяются оптимальные глубины закладываемых скважин, которые соответствуют минимуму приведенных расчетных затрат.



2. Կ. ՍՏԻՓԱՆՅԱՆ, Կ. Կ. ՀԱՅԱԳՈՐԾՅԱՆ:

ՆԱԽԱԳԻՐՈՂ ՈՒՂԱԶԻԻ ՀՈՐԱՆԳՔՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԻ ԸՆՏՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱՅԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Ա մ փ ո ս ո ո մ

Հողածոմ բերվում է միաշերտ ջրատար միջավայրում գտնվող հաս-
տատուն ելքով աշխատող ուղղաձիգ հորանցքների պարամետրների հաշ-
վարկման մեթոդ, Ի սարքերություն գոյություն ունեցող մեթոդների, այդ
խնդրի լուծման համար առաջարկվող պայման մոդելում հաշվի է առնվում
հորանցքների սխառեմի փոխադրեցությունը և պայման է դրվում միևնույն
պայմանում բերված ծախսերը: Հաշվարկի արդյունքները ցույց են տալիս, որ ըն-
դացվող տերիտորիայի վրա կարելի է նախապես դասավորել ուղղաձիգ հո-
րանցքների աշխատի ցանց, որն ապահովի բնորոշ կետերում դրանտային
ջրերի հորիզոնի իջեցման արված մեծությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Առաքելյան Կ. Կ. Проектирование и расчет вертикального дренажа, Ереван, 1957.
2. Боченко В. М. и Веригин Н. П. Методическое пособие по расчетам эксплуатационных параметров подземных вод для водоснабжения, М., 1961.
3. Исследование и разработка методов повышения эффективности работы дренажа
Научный отчет АрмНИИВНП, 1969.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Г. А. ТИГРЯНИ

МНОГОКАНАЛЬНАЯ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОПРОСОВ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Использование многоканальных телеметрических систем для изучения вопросов прогноза землетрясений имеет чрезвычайно важное значение и позволяет производить непрерывный контроль над очагами землетрясений, что до сих пор не применялось в практике. Одновременно большой интерес представляет совместный анализ информации, полученной от сейсмических, магнитометрических и гравиметрических датчиков на современные ЭВМ. С этой целью в зонах очагов землетрясений можно установить датчики регистрации деформаций, изменения естественного электромагнитного поля Земли, изменения радиоактивности воды и рудников и т. д. В этой же зоне можно установить датчики, регистрирующие колебания почвы при землетрясениях с аналоговой магнитной записью информации, которая по каналам связи может передаваться для обработки на ЭВМ.

Для связи датчиков с цифровой вычислительной машиной необходимо применять преобразователи типа аналог-код, входной величиной большей части которых является напряжение. Поэтому при создании автоматизированных систем для изучения вопросов прогноза землетрясений стоит задача унификации выходных параметров датчиков. Решение задачи приведения параметров к напряжению U_x может быть осуществлено при помощи специальных измерительных усилителей [1]. Входными сигналами этих усилителей могут быть такие параметры, как $U_x, I_x, R_x, U_{\dot{x}}, I_{\dot{x}}$. Помимо своей основной задачи, эти усилители решают задачу нормализации, т. е. приведения всего возможного диапазона аналоговой величины на входе к единому диапазону выходной величины, например, к диапазону 0—10 в. Последнее обстоятельство является весьма важным, поскольку облегчаются требования к преобразователю напряжения-код, который в этом случае будет работать всего на одном диапазоне и с сигналом достаточной мощности.

Для прогноза землетрясения на территории Арм. ССР прогнозирующие датчики (ПД) и регистрирующие датчики (РД) достаточно установить на 5 контрольно-измерительных станциях и наиболее вероятных очагах землетрясений. Исходя из этого, необходимое число каналов должно быть не менее 65—70, которому соответствует система обтекающего контроля логическое регистрирующее устройство ЭЛРХ-2М [2].

Устройство может работать совместно с потенциальными датчиками постоянного напряжения (термопары, генераторные преобразователи), термодатчиками сопротивления, с индукционными, дифференциально-трансформаторными и другими преобразователями технологических параметров. Число контролируемых параметров равно 56. Время измерения на одном канале 4,5 сек.

Блок-схема многоканальной телеметрической системы для изучения вопросов прогноза землетрясений может иметь вид, показанный на рис. 1. Система работает следующим образом.

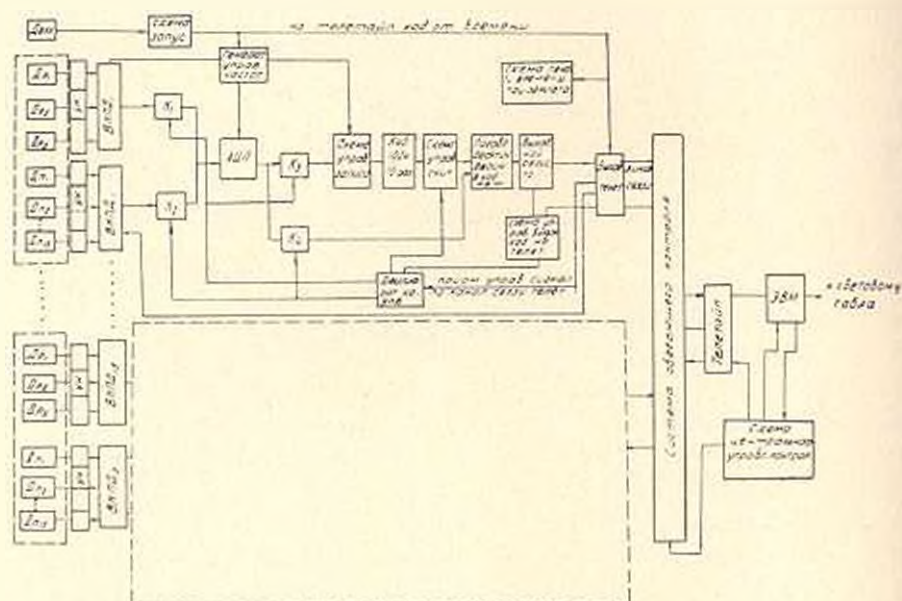


Рис. 1. Блок-схема системы

По команде из ЭВМ система обегавшего контроля поочередно запрашивает через выходной телетайп группу прогнозирующих датчиков в различных зонах очага. Информация от прогнозирующих датчиков при помощи входного коммутатора прогнозирующих датчиков поочередно через усилители нормализации УН и ключ K_1 подается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), затем через ключ K_2 на преобразователь двоично-десятичного кода и международный и далее через выходной регистр, выходной телетайп и линию связи вводится в ЭВМ. Ключами K_1 , K_2 , K_3 , K_4 управляется дешифратор кодов. Если уровень контролируемого сигнала превышает предельное значение, то повышается частота обегания при контроле, и система обегавшего контроля начинает выдавать информацию на ЭЦВМ для анализа. Вычислительная машина, анализируя данные от датчиков по заранее введенной в нее программе, начинает прогнозировать возможность появления землетрясений, и ЭВМ выдает сигнал на визуальное табло. В момент начала землетрясения датчик включения ($Д_{вкл.}$) выдает сигнал

для включения входного коммутатора регистрирующих датчиков (ВКРД). После этого полученная информация с регистрирующих датчиков через УН и ключ K_1 подается на АЦП и далее через K_2 при помощи схемы управления записи сигнал записывается на 10-разрядный куб. При необходимости записанная информация при помощи схемы управления считывания подается на преобразователь двоично-десятичного кода в международный и через выходной регистр, выходной телетайп и линию связи вводится в ЭВМ, одновременно через выходной телетайп и ЭВМ передается код времени.

Если примем, что величины параметров, характеризующих электрическое или магнитное поле в очаге землетрясения, прошли заранее выбранную границу, то это принимается как класс H_1 изменения параметров, характеризующих электрическое или магнитное поле и, наоборот, если параметры измеряемых величин не прошли заранее принятую границу, то это принимается H_2 . Таким образом, имеем двухклассное состояние.

Для повышения условной вероятности нахождения состояния в очаге землетрясения в соответствующем классе состояний можно использовать метод многократных проверок.

Если проводить m независимых проверок в очаге землетрясения, то условная вероятность нахождения состояния очага землетрясений в H_1 -ом классе будет [3, 4].

$$p(H_1/k^{(m)}) = \frac{p_0(H_1) \cdot p_c(k^{(m)}|H_1)}{p_0(H_1) \cdot p_c(k^{(m)}|H_1) + p_0(H_2) \cdot p_c(k^{(m)}|H_2)} \quad (1)$$

где $p_c(k^{(m)}|H_1)$ —вероятность того, что при m -кратных проверках будет получена $k^{(m)}$ -ая выборка результатов контроля, если состояние очага находится в допустимом (первом) классе состояний; $p_c(k^{(m)}|H_2)$ —вероятность того, что при m -кратных проверках будет получена $k^{(m)}$ -ая выборка результатов контроля, если состояние очага находится в недопустимом (втором) классе состояний.

$$\begin{aligned} p_c(k^{(m)}|H_1) &= C_m^n p^n g^{m-n}; \\ p_c(k^{(m)}|H_2) &= C_m^n p^{m-n} g^n, \end{aligned} \quad (2)$$

где m —число проверок; n —число указаний системой контроля на принадлежность состояния очага к H_1 -ому классу состояний при проверках; p —вероятность того, что параметры измеряемых величин прошли заранее принятую границу; g —обратная вероятность (при каждой проверке $g = 1 - p$).

Если подставить (2) в (1), то условная вероятность нахождения состояния очага землетрясений в H_1 -ом классе будет:

$$p(H_1/k^{(m)}) = \frac{p_0(H_1)}{p_0(H_1) + p_0(H_2) \cdot (g \cdot p^{-1})^{2n-m}} \quad (3)$$

Таким образом, достоверность контроля возрастает с увеличением числа проводимых проверок.

При записи из РД на 10-разрядный куб лучше использовать метод записи данных с временным разделением каналов, который обеспечивает достаточную высокую помехоустойчивость [5]. Принципы временного разделения каналов (ВРК) и его теоретическая правомерность основаны на известной теореме В. А. Котельникова [6], согласно которой непрерывный сигнал $S(t)$ полностью определяется дискретной последовательностью своих значений, отсчитанных через интервалы времени Δt , равные половине периода наивысшей частоты F_m этого сигнала, т. е.

$$\Delta t = \frac{1}{2F_m} \quad (4)$$

Доказано, что выражение (4) точно определяет функцию не только в точках отсчета $t = k\Delta t$ ($k = 1, 2, 3, \dots$), но и в любой момент времени в интервалах между этими точками.

Можно подробно рассмотреть полную ошибку измерения системы $E(t)$, состоящую из аппаратурных $A(t)$ и динамических $B(t)$ ошибок, к которым могут добавляться также ошибка обегания $\Theta(t)$ и ошибка квантования по уровню $H(t)$. Полная ошибка в рассмотренном случае будет:

$$E(t) = B(t) + A(t) + \Theta(t) + H(t).$$

С целью повышения надежности и обеспечения требуемого быстродействия коммутирующие элементы коммутаторов можно выполнить в виде транзисторных, компенсирующих ключей [7]. Эти ключи имеют ряд преимуществ по сравнению с диодными, так как обладают более высоким перепадом проводимости в открытом и закрытом состояниях, широким динамическим диапазоном и низким уровнем шумов. Немаловажным их достоинством является простота настройки и отсутствие необходимости специального подбора транзисторов. Благодаря встречному включению транзисторов и управлению ими по цепи база-коллектор, эти ключи применяются для коммутации малых напряжений, составляющих десятки мкВ.

ИГИС АН Арм. ССР.

Получено 8.X.1971.

Գ. Ա. ՏԻԳՐԱՅԱՆ

ԲԱԶՄԱՆԱԿԱԿԱՆ ՀԻՄՈՋԱՓՈԿԱԿԱՆ ՈՒՍԵՏԻՄ ԵՐԿՐԱՇԱՐԳՆԵՐԻ
ԿԱՆԿԱՐԴՈՒՄԻՆԻՍՏԻՆ ՀԱՐՑՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱԽԻՐՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. լ. մ.

Հողի փոփոխումը առաջարկվում է ավտոմատացված սխեմով, որը հնարավորություն է ընձեռնում ապրրեր հեռավորություններից ուղարկել գեոֆիզիկական և

ներմէջ ինֆորմացիա և ավտոմատացված կերպով մշակել էլեկտրոնային հաշիշ մեքենայի միջոցով: Բազմականալ հեռաչափական սխեման օղնո-
թյամբ ստացված արդյունքների հետադարձադրութունը հնարավորութուն կտա
լուծել երկրաչարմների կանխագուշակման հետ կապված շատ հարցեր:
Բերված է բազմականալ հեռաչափական սխեման ըլով-սխեման և աշխա-
տանքի սկզբունքը:

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы построения автоматизированных систем контроля сложных объектов. Под редакцией Н. И. Кузнецова. Изд. «Энергия», 1969.
2. Хрисман С. С. Цифровые измерительные приборы и системы. Изд. «Научкова думка». Киев, 1970.
3. Венцель Е. С. Теория вероятностей. Изд. «Наука», 1964.
4. Харкевич А. А. Борьба с помехами. Изд. «Наука», 1965.
5. Екатеринбург В. С., Стапанян А. А. Применение магнитной лент и промышленности. Куйбышевское книжное издательство, 1968.
6. Гоморовский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. «Советское радио», 1963.
7. Подтепский М. М. Транзисторные переключатели малых напряжений. Обмен опытом ВДНТ, 1965.

В. А. СПИНОВ, Г. А. ВИНЮГРАДОВ, Р. Л. ОГАНЯН

Для работы с давлениями (p_n) малого порядка ($10^{-2} - 10^{-3}$ н/м²) необходимо располагать высокой чувствительностью сдвигового прибора, которая может быть достигнута путем увеличения номинальной площади контакта S_n .

Рассмотрим эксперимент на сдвиг при условии, что перед засыпкой порошка в обойму прямоугольного сечения с площадью контакта $S_0 = l^2 = 36 \text{ см}^2$ на ее дно укладываются гонки (диаметром 0,3 мм) проволоки и фиксируется их расположение (рис. 1). Далее засыпается порошок (железо марки ПЖ4М), производится сдвиг на некоторую величину l_x и определяется смещение проволок относительно их исходного положения.

Если бы сдвиг происходил по всей длине l одновременно, то смещение проволок относительно их мест фиксации в обойме не наблюдалось бы. В действительности (рис. 1, б и в) это предположение для малых давлений не подтверждается.

Сравнивая рис. 1,б и в, легко заметить, что уменьшение абсолютной величины сдвига l_x вызывает увеличение относительно смещения проводков x . При небольших сдвигах ($l_x = 3-5$ мм и менее) можно полагать, что засорение частицами сыпучей среды контакта «обойма-контролер» незначительно и не влияет на результаты измерений. Это можно объяснить тем, что вдоль всего отрезка контакта l сопротивление сдвигу больше, чем сопротивление выдавливанию вверх локального объема, заштрихованного на рис. 1,а. Поэтому в процессе сдвига некоторая часть объема сыпучего тела (в зависимости от величины p_x) остается

покоящейся на контртеле и фактически номинальная поверхность сдвига переменна. Если за номинальную поверхность сдвига принять площадь дна обоймы, то, чем меньше p_n , тем заниженными будут численные значения $\mu(p_n)$. В этом и причина появления внутреннего максимума на упомянутой выше опытной кривой $\mu = \mu(p_n)$. Для уменьшения столь нежелательного эффекта необходимо линейный размер обоймы l в направлении сдвига сделать достаточно малым. Однако это не должно повлечь за собой существенного уменьшения сдвигающего усилия, поэтому рекомендуется увеличить поперечный размер b .

Технические возможности наклонной плоскости как прибора для исследования коэффициента трения на контакте «сыпучее тело-опорная поверхность» практически такие же, как и у сдвиговых приборов с нижним расположением контртела.

Практика показала, что как измерительный прибор следует отдавать предпочтение наклонной плоскости. Последнее подтверждается теоретическим рассмотрением сдвига сыпучего тела по наклонной плоскости.

Выберем площадь обоймы в свету, равную площади S_0 поверхности сдвига (это достигается выбором продольного размера обоймы). Нормальная нагрузка, действующая на контакт «сыпучее тело-опорная поверхность», распределена равномерно по S_0 с известной номинальной интенсивностью (давлением) p_n , а $\mu(N)$ является известной функцией коэффициента трения на контакте «обойма-контртело» от известной нормальной нагрузки N . Численные значения искомой функции $\mu(p_n, p_{n0,11})$ могут быть найдены

из условия предельного равновесия загруженной порошковой обоймы на наклонной плоскости. Предельное равновесие можно считать полностью определенным, если известен угол β отклонения плоскости контртела от горизонтальной плоскости (рис. 2). Тогда, обозначая

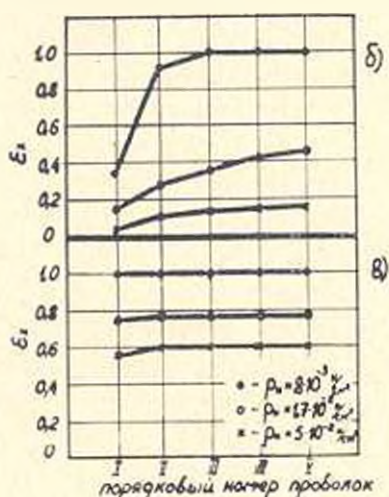
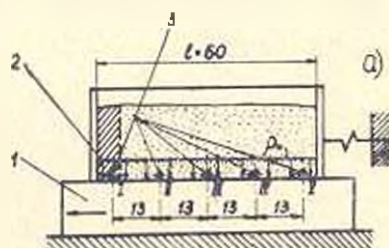


Рис. 1. Оценка характера смещения сыпучего тела и неподвижной обоймы сдвигового прибора с нижним расположением контртела.

а — схема эксперимента: 1 — подвижное основание-контртело, 2 — обойма, 3 — проволоки (с порядковой нумерацией 1—4); б — зависимость относительного (ϵ) смещения расположенных в загруженной обойме специальных проволок от места их фиксации в обойме при $l_k = 13$ мм;

в — то же при $l_k = 3$ мм.

через T_x , T_x и T соответственно усилия сдвига общее, обоймы и сыпучего тела, а полную нормальную нагрузку на контакт—через N_z можно записать

$$\operatorname{tg} \beta_z = \frac{T_x}{N_z} = \frac{T_N + T}{N_z} = \frac{N_p^* N + p_n S_n \mu - (p_n \cdot p_{n \max})}{N_z},$$

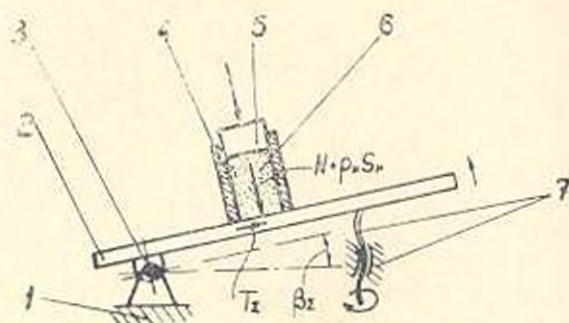


Рис. 2 Схема наклонного сдвигового прибора: 1 — неподвижное основание; 2 — наклонная плоскость—контроль; 3 — ось вращения плоскости 2; 4 — обойма; 5 — нагружающее устройство; 6 — сыпучее тело; 7 — реборчатая пара.

учитывая, что

$$\min p_{n \max} = \frac{p_n}{\cos \beta_z}, \quad (1)$$

окончательно получаем

$$\mu \left(p_n, p_{n \max} \geq \frac{p_n}{\cos \beta_z} \right) = \frac{|N_z \operatorname{tg} \beta_z - N_p^* (N)|}{p_n S_n}. \quad (2)$$

Варируя параметром p_n в уравнении (2), получим соответствующие численные значения функции μ . Поскольку каждому p_n соответствует отдельный эксперимент на сдвиг, то можно перебрать только конечное число значений p_n . Следовательно, можно получить лишь конечное множество (или же таблицу) численных значений функции μ . Поэтому правильнее (2) представить в следующем виде:

$$\mu \left(p_n, p_{n \max} \geq \frac{p_n}{\cos \beta_z} \right) = \mu_{i \text{ и }} = \frac{|N_{zi} \operatorname{tg} \beta_{zi} - N_{pi}^* (N_i)|}{p_{ni} S_{ni}}, \quad (2a)$$

где возможно аналитическое представление функции μ эмпирической формулой.

Из соотношений (2) и (2a) непосредственно следует, что необходимо предпринять, чтобы $\max_{V p_n} |\mu - \mu^*| \rightarrow 0$. Легко видеть, что для этого надо стремиться к уменьшению функции $\mu^*(N)$. Такое требова-

ние мызможно еще и тем, что при относительно больших $\beta_z(N, p_n)$ отыскание величин p_n , которым мы займемся ниже, сопряжено с введением дополнительных погрешностей в искомую функцию μ . Поэтому использование наклонной плоскости желательно лишь тогда, когда обеспечивается выполнение неравенства

$$\operatorname{tg} \beta_z(N, p_n) > \mu(N), \quad (3)$$

что, в свою очередь, реализуемо, если

$$\mu(N) = \min_{p_n} (p_n, p_{\text{норм}}), \quad (4)$$

Соотношения (2) и (2а) позволяют также правильно произвести выбор веса обоймы. Он должен быть таким, чтобы $|\operatorname{tg} \beta_z(N, p_n) - \mu(N)|$ был бы небольшим и в то же время достаточно удобным для регистрации.

При выводе формулы (2а) мы предполагали, что прилагаемые ее правой частью известны. В действительности, при любом i -ом эксперименте на сдвиг сыпучего тела по наклонной плоскости известным является только численное значение угла β_z (в обычных сдвиговых приборах с нижним расположением контртела известными являются усилия T_{zi}). Это следует из того, что p_n в действительности не равно отношению к S_z весу столба сыпучего тела в обойме (или же весу столба сыпучего тела и приложенной к нему нормальной нагрузке), а N и $\mu(N)$ изменяются при варьировании p_n .

Рассмотрим задачу отыскания p_n и N для выбранной нами конфигурации обоймы параллелепипеда с площадью основания $l \cdot b$, где $l \ll b$. (5)

Допуская согласно работам [2, 3] приемлемость уравнений равновесия механики сплошных сред для описания поведения сыпучей среды и используя соотношение (5), приходим к известной задаче о плоской деформации. В выбранной нами системе координат (рис. 3) уравнения равновесия произвольной элементарной области сыпучего тела, находящегося в обойме, примут вид:

$$\frac{d}{dx} \sigma_{ik}(x, z) - \gamma_n R_i = 0; \quad i, k = x, z. \quad (6)$$

где σ_{ik} — тензор напряжений, действующий в пространстве R_2 ; γ_n — плотность насыпки сыпучего тела;

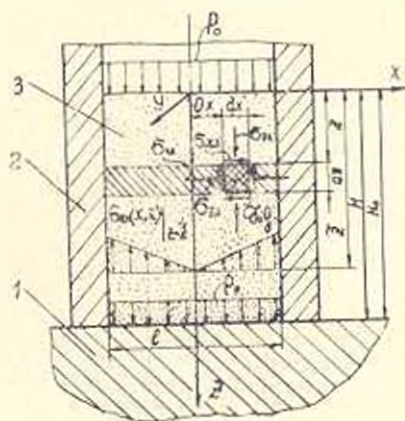


Рис. 3. Схема к отысканию p_n и N : 1 — контртело; 2 — обойма; 3 — сыпучее тело. Размер обоймы b расположен вдоль оси OY .

g — вектор ускорения силы тяжести. Заметим, что при выводе (6) мы воспользовались допущением

$$\frac{\partial \tau_i}{\partial t} = 0 \left(\frac{\partial}{\partial k} \tau_{ik} \right); \quad i, k = x, y, z. \quad (7)$$

корректность которого применительно к поставленной нами задаче очевидна. Упомянем также, что $\tau_{yy} = 0$, и составляет некоторую линейную комбинацию τ_{xx} и τ_{zz} , однако, уточнение конкретного вида последней нам в дальнейшем не понадобится.

Как известно, система (6) замкнутого решения не имеет. Для отыскания неизвестных функций напряжений в различных теориях деформируемых сред [2—6] вводят в рассмотрение дополнительные уравнения физического и геометрического характера. Мы воспользуемся наиболее элементарным методом, основанным на решении так называемых приближенных уравнений равновесия (см., например, [5]), сводящих поставленную нами задачу к задаче Коши для обыкновенного дифференциального уравнения. Примем согласно [5]

$$\tau_{ik} = \tau_{ik}(z); \quad i, k = x, z; \quad i = k. \quad (8)$$

Это тем более возможно, что размер l обоймы весьма мал ($l \leq 5 \text{ м.м.}$). Тогда (6) может быть преобразована к виду:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z} \tau_{xz}(x, z) &= \gamma_0 g \sin \beta_z \\ \frac{\partial}{\partial x} \tau_{zx}(x, z) + \frac{d}{dz} \tau_{zz}(z) &= \gamma_0 g \cos \beta_z \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

откуда в силу закона о парности касательных напряжений должно следовать

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \tau_{zx}(x). \quad (10)$$

Но вывод о независимости напряжения τ_{zx} от z противоречит опыту (см., например, [6]). Построение приближенных уравнений равновесия как раз и состоит в устранении указанного противоречия при одновременном сохранении допущения (8). Это достигается отбрасыванием первого уравнения системы (9). Вновь вводимое противоречие при этом состоит в нарушении закона парности касательных напряжений или же равенства нулю главного момента сил, действующих на элементарную область (рис. 3), заключенную в обойме сыпучего тела.

Допущение (8) позволяет оперировать с равновесием элементарной области сыпучего тела в виде полоски $dz \cdot l$ (рис. 3). Для этого второе уравнение системы (9) достаточно проинтегрировать по всей длине полоски, т. е.

$$2 \int_0^{l/2} \left| \frac{\partial}{\partial x} \tau_{zx}(x, z) + \frac{d}{dz} \tau_{zz}(z) \right| dx = 2 \int_0^{l/2} \gamma_0 g \cos \beta_z dx. \quad (11)$$

Допуская далее (см. рис. 3), что $\sigma_{zx}(x, z)$ линейна по x и такая, что $\sigma_{zx}(0, z) = 0$, представим

$$\frac{\partial}{\partial x} \sigma_{zx}(x, z) = \frac{2}{l} \bar{\mu} [\sigma_{xx}(z)] \sigma_{xx}(z), \quad (12)$$

где $\bar{\mu}[\sigma_{xx}(z)]$ — неизвестная функция коэффициента трения на контакте „боковая поверхность обоймы-сыпучее тело“. Введение в рассмотрение новой неизвестной функции сделало бы задачу отыскания p_n и N неразрешимой, поэтому материал и чистоту обработки боковой поверхности обоймы следует выбирать точно такими, как у контртела. В этом состоит один из наиболее существенных моментов методики определения коэффициента трения по схеме с нижним расположением контртела. Итак,

$$\bar{\mu}[\sigma_{xx}(z)] = \mu[\sigma_{xx}(z)], \quad (13)$$

где μ — искомая функция коэффициента трения. Решение уравнения (11) с учетом (12) и (13) можно найти лишь при сведении его к одной неизвестной функции напряжения. Для этого воспользуемся экспериментально обнаруженной М. В. Мальцевым и А. Н. Николаевым [7] зависимостью:

$$\left. \frac{\partial \sigma_{xx}(x, z)}{\partial x} \right|_{x=\frac{l}{2}} = \bar{z} j = \text{const}, \quad \sigma_{xx}\left(\frac{l}{2}, z\right) < 425 \text{ н/см}^2, \quad (14)$$

где $\bar{z}$ — коэффициент бокового давления; j — переменный индекс, пробегающий множество различных сыпучих материалов, в частности, порошков W, Mo, Cr, Cu, Al, Ni, Fe и др. (при таком подходе нет необходимости утверждать что-либо о характере напряженного состояния, заключенного в обойме сыпучего тела). Преобразовав уравнение (11) относительно функции σ_{zz} , мы приходим к задаче Коши

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dz} \sigma_{zz}(z) &= \gamma_n g \cos \beta_z - \frac{2\bar{z}}{l} \mu[\bar{z} \sigma_{zz}(z)] \sigma_{zz}(z) \\ \sigma_{zz}(0) &= p_0 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

для обыкновенного нелинейного неоднородного дифференциального уравнения 1 порядка, не имеющего общего решения в квадратурах. Решение задачи усугубляется тем, что $\mu[\bar{z} \sigma_{zz}(z)]$ является искомой функцией нашей основной задачи и, следовательно, неизвестной. Тем не менее и силу ограниченности производной по σ_{zz} от правой части уравнения можно утверждать, что решение задачи (15) единственно.

Если решение задачи (15) найдено, то, как видно из рис. 3, p_n и N могут быть представлены в виде

$$p_n = \sigma_{zz}(z)|_n; \quad (16)$$

$$N = N_0 - p_n S_n. \quad (17)$$

Итак, согласно (2а) для построения точек неизвестной функции

$\varphi(p_n, p_{n\max})$ необходимы соответствующие данные по p_n и N_i ; для нахождения же последних по (16) и (17) требуется, чтобы функция φ была задана аналитически. Это возможно, если относительно функции φ построить итерационный процесс, рабочей формулой которого может служить представление:

$$\varphi^{(k)}\left(p_n^{(k)}, p_{n\max}^{(k)}; \frac{p_n^{(k)}}{\cos\beta_2}\right) = \frac{\varphi^{(k-1)} - \frac{[N_2 \lg \beta_2 - 1][N_1(p^{(k-1)})] N_2(p^{(k-1)})}{p_{n0}(p^{(k-1)}) S_n}}{p_{n0}(p^{(k-1)}) S_n} \quad (18)$$

Формула (18) будет иметь смысл, если итерационный процесс сходится для каждого i . К сожалению, общие критерии сходимости таких процессов нам не известны. Здесь, в частности, не применима известная теорема теории итерационных методов, оценивающая в классе непрерывных функций сходимость процесса по модулю производной правой части итерационного уравнения [8]. Получить аналитический вид последней в рассматриваемой нами постановке [см. правую часть (2)] не представляется возможным, поэтому более надежно сходимость процесса (18) оценивать непосредственной проверкой. Выбор параметров нагружения контакта в каждом конкретном опыте на сдвиг следует подчинить реализации такой сходимости.

До сих пор мы неявно полагали функцию (2) однозначной. В действительности такое допущение может не иметь места. В этом случае при различном выборе значений $p_n^{(0)}$ нулевого приближения функции φ итерационный процесс (18) для каждого i может сходиться к различным пределам, только один из них будет соответствовать действительному решению задачи. Наконец, возможна ситуация, когда при определенном выборе параметров нагружения контакта искомые точки φ будут отталкивающими, а точки, не соответствующие действительному решению задачи, наоборот, притягивающими. Использование последних приведет к ошибке и, чтобы этого не произошло, необходимо идентифицировать построенную функцию φ , определяя хотя бы грубо некоторые ее значения другим способом, например, при помощи облоймы с увеличенными размерами l и b [1] и больших p_n .

В заключение отметим, что мы дали алгоритм построения функции $\varphi(p_n)$ применительно к наклонному сдвиговому прибору. Практически ничего не изменится, если эксперимент будет проводиться на обычном сдвиговом приборе с нижним расположением контртела. Надо лишь в формулах (2), (2а) и (18) под $N_2 \cdot \lg \beta_2$ подразумевать T_2 , а в (15) положить $\cos\beta_2 = 1$.

Выводы

1. Геометрия облоймы сдвиговых приборов с нижним расположением контртела не может быть выбрана произвольно. Для порошков с раз-

мером частиц 1 мм и менее линейный размер полости основания обоймы в направлении сдвига следует брать не более 5 мм.

2. В качестве сдвигового прибора с нижним расположением контртела может быть использована наклонная плоскость.

3. Задача отыскания функции коэффициента трения покоя на контакте «сыпучее тело — опорная поверхность» является разрешимой, если задана функция коэффициента трения на контакте «сыпучее тело — обойма».

4. Функция коэффициента трения на контакте «сыпучее тело — опорная поверхность» может быть построена и при неизвестном законе трения на контакте «сыпучее тело — обойма». Для этого материал обоймы и чистоту обработки ее боковой поверхности следует выбирать в точности такими же, как и у контртела.

Институт проблем
материаловедения АН УССР

Поступило 3.III.1970.

Վ. Ա. ՍԻՆԻՈՎ, Կ. Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Խ. Լ. ՕՇԱՆՅԱՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՑԱՅՐ ԳԱՍԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆԻ ՍՈՇԱԼԻՆԱԿԱՆ
ՍՈՐՈՒՆ ԴԱՐՄԻՆ-ՀԻՆԱՐԱՆԱՅԻՆ ԴԱԿԵՐԵՎՈՒՄԻ ԿՈՆՏԱԿՏՈՒՄ
ՇՔԻՄԱՆ ՈՐՈՐԴՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ԴՆԹՈՒԹՅԱՆ

Ա. ճ. փ. և փ. ռ. ի. ղ.

Քննարկված է հալածարժեքի ցածր դասավորությամբ սահմանի սպասարկումը էրազերիմենտների անցկացման մեխանիզմը և որված է «սորոսի մարմին» հինարանային մակերևույթի դույզի համար շփման անշարժության գործակցի ֆունկցիայի կառուցման ալգորիթմը:

ЛИТЕРАТУРА

1. Спикин В. А., Виноградов Г. А., Оганян Р. Л. К исследованию сдвига на контакте «сыпучее тело-опорная поверхность», «Известия АН Армянской ССР, серия технических наук», № 2, 1971.
2. Кандауров Н. И. Механика термистых сред и ее применение в строительстве. Стройиздат, Л., М., 1966.
3. Соболевский В. В. Статика сыпучей среды. Физматгиз, М., 1960.
4. Безухов Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. Под. «Высшая школа», М., 1966.
5. Шофман Л. А. Основы расчета процессов штамповки и прессования. Машиздат, М., 1961.
6. Цитович П. А. Механика грунтов. Госстройиздат, М., 1963.
7. Мельцер М. В., Николаев А. Н. Исследование бокового давления при малых усилиях прессования. «Порошковая металлургия», № 4, 1967.
8. Демидович Б. П., Мирон Н. А. Основы вычислительной математики. Изд. «Наука», М., 1966.

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

А. В. ВОРОБЬЕВ, А. В. НИКОЛАЕВ, П. М. ШАТАХЯН

МОДЕЛЬ ИНТЕГРАЛЬНОГО ТРАНЗИСТОРА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ
КАЧЕСТВО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Нелинейные компоненты интегральных схем можно моделировать аналитическими зависимостями, для получения которых могут быть использованы следующие исходные данные:

- 1) система основных уравнений, описывающих поведение носителей в полупроводниковом материале;
- 2) математические соотношения, характеризующие поведение переходов.

Такую модель можно исследовать в режимах постоянного и переменного токов или же в переходном режиме работы. Этот подход приводит к получению модели, которая является непрерывной во всем диапазоне работы нелинейного элемента. Для транзисторов такая модель имеет вид дифференциальных уравнений в частных производных.

Интересующая нас модель Эберса-Молла, основанная на суперпозиции прямого и обращенного транзисторов со смещением, очень хорошо отображает нелинейность прибора. Переходы эмиттер-база и коллектор-база описываются емкостями и диодами, тогда, как область базы изображается частотнозависимыми источниками. Модель широко применяется при определении параметров нелинейного прибора, когда выгодно его рассматривать в качестве четырехполюсника, входные и выходные характеристики которого удобно представляются простыми аналитическими выражениями, а также тогда, когда транзистор является частью логической схемы. Недостатком модели является то, что она не отражает реальных физических процессов в приборе.

Интегральные логические схемы, в основу изготовления которых положен принцип планарно-диффузионной технологии, имеют следующие специфические особенности:

- а) количество «р-п» переходов более двух (исключение составляют схемы с окисной изоляцией элементов);
- б) распределение примеси в базе неравномерное;
- в) неосновные носители создают определенные эффекты не только в базе, но и в коллекторе и подложке.

Модель интегрального транзистора должна отражать особенности, свойственные планарно-диффузионной технологии, т. е. элементы

модели должны точно отражать физические процессы, происходящие в реальном приборе. С другой стороны, параметры модели должны быть такими, чтобы их можно было бы измерить с помощью напряжений и токов на внешних выводах прибора.

Как показано в [1], в результате решения уравнений непрерывности можно получить линейную систему уравнений следующего вида:

$$\begin{cases} i_s(t) = F_{11}(s) \cdot \dot{n}_s(t) + F_{12}(s) \cdot \dot{n}_k(t) \\ i_k(t) = F_{21}(s) \cdot \dot{n}_s(t) + F_{22}(s) \cdot \dot{n}_k(t) \end{cases} \quad (1)$$

где $\dot{n}_s$ и $\dot{n}_k$ — избыточная концентрация электронов в базе со стороны эмиттерного и коллекторного переходов соответственно; $s = d/dt$.

Коэффициенты $F_{ij}(s)$ изображаются следующим образом:

$$\begin{aligned} F_{11}(s) &\approx \frac{F_{11}(0)}{1 + \tau_{11}s}; & F_{12}(s) &\approx F_{12}(0) \cdot (1 + \tau_{12}s); \\ F_{21}(s) &\approx \frac{F_{21}(0)}{1 + \tau_{21}s}; & F_{22}(s) &\approx F_{22}(0) \cdot (1 + \tau_{22}s). \end{aligned} \quad (2)$$

Исходя из принятых приближений, получают выражения для токов транзистора:

$$\begin{aligned} i_s(t) &= F_{11}(0)(1 + \tau_{11}s) \cdot \dot{n}_s(t) - \frac{F_{12}(0)}{1 + \tau_{12}s} \dot{n}_k(t); \\ i_k(t) &= - \frac{F_{21}(0)}{1 + \tau_{21}s} \dot{n}_s(t) + F_{22}(0) \cdot (1 + \tau_{22}s) \dot{n}_k(t). \end{aligned} \quad (3)$$

Воспользовавшись законом перехода

$$\dot{n}(t) = n_p(e^{q\Phi_p/kT} - 1) \quad (4)$$

(где Φ — напряжение, приложенное к переходу), получают выражения для уравнений четырехполюсника:

$$i_s = a_{11}(1 + \tau_{11}s)(e^{q\Phi_1/kT} - 1) - \frac{a_{12}}{1 + \tau_{12}s} e^{q\Phi_2/kT} - 1; \quad (5)$$

$$i_k = - \frac{a_{21}}{1 + \tau_{21}s} (e^{q\Phi_3/kT} - 1) + a_{22}(1 + \tau_{22}s)(e^{q\Phi_4/kT} - 1).$$

Модель для статистического режима можно получить, если из приведенных уравнений исключить частотнозависимые члены. Тогда модель Эберса-Молла для двухпереходного транзистора примет вид:

$$\begin{vmatrix} i_1 \\ i_k \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & -a_{21} \\ -a_{31} & a_{22} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} e^{q\phi_1/kT} - 1 \\ e^{q\phi_k/kT} - 1 \end{vmatrix} \quad (6)$$

Если нелинейный элемент имеет более, чем два «р-п» перехода (рис. 1), модель транзистора в матричной форме будет иметь вид:

$$\begin{vmatrix} i_1 \\ i_n \\ i_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} F_{11}(s) & -F_{12}(s) & 0 \\ -F_{21}(s) & F_{22}(s) & -F_{23}(s) \\ 0 & -F_{32}(s) & F_{33}(s) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} e^{q\phi_1/kT} - 1 \\ e^{q\phi_k/kT} - 1 \\ e^{q\phi_n/kT} - 1 \end{vmatrix} \quad (7)$$

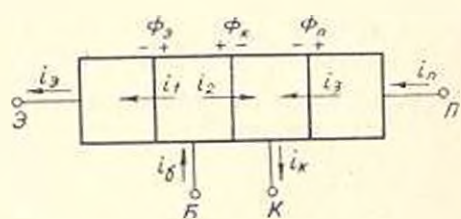


Рис. 1. Транзистор в интегральной схеме

где k — постоянная Больцмана; T — температура по Кельвину; $i_1 = i_k$; $i_2 = i_k - i_1 = i_k - i_n$; $i_3 = i_n$.

Коэффициенты $F_{22}(s)$, $F_{23}(s)$, $F_{32}(s)$ и $F_{33}(s)$ определяют паразитный «р-п-р» транзистор. Так как в реальных схемах переход коллектор-подложка всегда смещен в обрат-

ном направлении, то паразитный «р-п-р» транзистор будет учитываться коэффициентом $F_{32}(s)$, а коэффициенты $F_{23}(s)$ и $F_{33}(s)$ не будут играть существенной роли. Коэффициент $F_{22}(s)$ входит в выражение рабочего транзистора «п-р-п» типа, а то же время учитывает наличие паразитного «р-п-р» транзистора.

Статический вариант модели можно получить, заменив члены F_{ij} на a_{ij} в (7), где a_{ij} определяются путем измерения диодных характеристик каждого перехода [1]. Коэффициенты a_{ij} модели являются функциями от физических и конструктивных параметров нелинейного элемента, к ним относятся: равновесная концентрация носителей вблизи перехода, коэффициент диффузии, закон распределения примеси по слоям и т. д. Большинство из этих параметров трудно определить. Гораздо удобнее и значительно важнее для эффективного проектирования иметь дело с параметрами, характеризующими качество технологического процесса, такими как поверхностное или удельное сопротивление слоя, глубина залегания перехода и т. д. [2].

В результате анализа связей между электрическими параметрами активных компонентов в статическом режиме и соответствующих параметров, характеризующих качество технологического процесса, предлагаются следующие выражения для коэффициентов a_{ij}

$$a_{11} = \frac{kT}{q} \cdot \frac{Ae^{-q\phi_1/kT}}{R_{32} w_0 \cdot h_3} \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{w_0}{L_n} \right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{\ln N}{2} \right)^2 + \frac{\ln N}{2} \right];$$

$$a_{22} = \frac{kT}{q} \cdot \frac{Ae^{-q\phi_k/kT}}{2k w_0} \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{w_0}{L_n} \right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{\ln N}{2} \right)^2 - \frac{\ln N}{2} + \right.$$

$$\left| \frac{w_6 D_p p_{a6}}{L_p D_n n_{a6}} \right|; \quad (9)$$

$$a_{21} = \frac{kT}{q} \frac{A e^{-\phi_{e1}/kT}}{R_{s1} w_6 h_2} \frac{\sqrt{N}}{\left[1 + \frac{1}{6} \left(\frac{w_6}{L_n} \right)^2 + \frac{1}{6} \left(\frac{\ln N}{2} \right)^2 \right]};$$

$$a_{12} = \frac{kT}{q} \frac{A e^{-\phi_{e2}/kT}}{2 w_k \sqrt{N}} \frac{1}{\left[1 + \frac{1}{6} \left(\frac{w_6}{L_n} \right)^2 + \frac{1}{6} \left(\frac{\ln N}{2} \right)^2 \right]};$$

$$a_{22} = \frac{kT}{q} \frac{A_0 e^{-\phi_{e2}/kT}}{2 n w_k} \frac{1}{\left[1 + \frac{1}{6} \left(\frac{w_k}{L_p} \right)^2 \right]}.$$

Здесь Φ — контактная разность потенциалов на переходе; R_{s1} — поверхностное сопротивление слоя эмиттера; A — подэмиттерная площадь базы (площадь эмиттера); w_6 — расстояние между переходами эмиттер-база и коллектор-база (толщина базы), h_2 — глубина залегания эмиттерного перехода; ρ_k и ρ_n — удельные сопротивления эпитаксиальной пленки и подложки соответственно; w_k — расстояние между переходами коллектор-база и коллектор подложка; A_0 — подбазовая площадь коллектора (площадь базы); L_p и L_n — диффузионная длина дырок в коллекторе и электронов в базе соответственно, $N_a = N^0/N_a^0$ — отношение концентраций акцептора в базе на границе переходов эмиттер-база и коллектор-база.

Модель нелинейного элемента, в которой коэффициенты a_{ij} выражены через параметры, характеризующие как отдельные этапы технологического процесса, так и технологический процесс в целом, позволит оценить влияние различных технологических факторов на характеристики приборов. С помощью такой модели можно оценить, какие изменения необходимо внести в отдельных операциях технологического процесса, чтобы улучшить параметры прибора. С другой стороны, модель позволяет установить связь между токами и напряжениями. В этом случае появляется возможность использовать модель для анализа логических интегральных схем.

Модель нелинейного элемента открывает большие возможности в использовании ЭЦВМ для разработки интегральных схем [2], а также для анализа и оптимизации технологического процесса их изготовления. Эта модель позволяет построить программу машинного расчета с учетом геометрических параметров компонентов, характеристик диффузионных слоев и удельных сопротивлений.

Ա. Վ. ԳՈՐԹՅԱՆ, Ա. Վ. ՆԻՈՒՄԱՆ, Պ. Մ. ՇԱՏԱՆՅԱՆ

ԻՆՏԵՐԱԼԱՅԻՆ ՏՐԱՆԶԻՍԻՐԻ ՄՈԴԵԼ՝ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՊՐՈՑԵՍԻ
ՈՐԱԿԸ ԲՆՈՐՈՇՈՂ ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԻ ՅՂՏԱԿՈՐԾՄԱՄԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հորվածում պիտվում է ինտեգրալային տրանզիստորի էրերս-Մոլի բարե-
լաժված մոդելը: Մոդելի պորձակիցները որոշվում են ալնայիսի պարամետրնե-
րով, որոնցով բնութագրվում է պլանար-դիֆուզիոն տեխնոլոգիական պրոցե-
սի կարևորագույն տեխնոլոգիական օպերացիաների կատարման որակը: Ցույց
է տրված մոդելի օգտագործման նախադրությունը ինտեգրալային սխեմա-
ների էֆեկտիվ նախագծման և տեխնոլոգիական պրոցեսի անալիզի ժամանակ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 Под ред. Липина Л. и др. Анализ и расчет интегральных схем. Т. 1, изд. «Мир», 1969
- 2 Николаев А. В., Пиратов Г. М., Шувалова Г. С. Использование математической модели транзистора для расчета транзисторных схем. АН СССР СО. Институт математики. Новосибирск, 1968.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

М. А. КАРАПЕТАН

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЕ
ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ СФЕРОИДАЛЬНЫХ
ВКЛЮЧЕНИЙ

Исследование электрического поля в дисперсных системах (я электрической изоляции с инородными дисперсными включениями, в воздухе с частицами твердого вещества, встречающимися в электротехнологических процессах), представляет практический интерес. Важной особенностью этого исследования является учет взаимного влияния полей поляризованных включений. Учет взаимного влияния проще осуществлять в случае включений сферической формы [1], при которых отсутствует понятие ориентации частицы. В [2] задача решена для частного случая, когда все эллипсоидальные включения одинаково ориентированы относительно внешнего поля.

В настоящей работе решается общая задача: сферондальные включения постоянной концентрации своими длинными осями ($a > b = c$) произвольно ориентированы относительно направления внешнего однородного поля.

При совершенно произвольной ориентации включений однородной концентрации в среде допустимо предположение, что вдоль каждой из осей x, y, z декартовой координатной системы ориентированы (своими длинными осями) по $1/3$ всех включений. Принятое допущение следует считать общепризнанным для подобных случаев [3].

Если вектор напряженности внешнего поля E направлен по оси x , то $1/3$ частиц (или $f/3$ по объемной концентрации) будут поляризованы вдоль оси $2a$, $2/3$ частиц (или $2f/3$) — вдоль осей $2b = 2c$ сфероида. Здесь f — число включений в единице объема дисперсной системы; f — их объемная концентрация.

Электрические моменты поляризованных включений обеих групп p_1 и p_2 взаимно параллельны и совпадают по направлению с внешним полем. Поскольку $a \neq b = c$, то $p_1 \neq p_2$.

Исходя из вышесказанного, можно констатировать, что электрический момент единицы объема дисперсной системы, обусловленный поляризацией включений, равен

$$P = (p_1 + 2p_2) \cdot 3 \quad (1)$$

и направлен по внешнему полю.

С целью учета взаимного влияния поляризованных включений вве-

дем понятие макроскопического действующего поля E_g по аналогии с микроскопическим действующим (локальным) полем, воспользуемся методом, предложенным Лорентцем [4] для расчета сил, действующих на электрон однородной среды в электромагнитном поле. Теория микроскопического действующего поля в однородном неполярном и полярном диэлектриках приведена в [3, 5].

В дисперсной системе мысленно выделим сферу с радиусом R , удовлетворяющем неравенству $2a \ll R \ll d$, где d — расстояние между плоскими электродами, создающими внешнее однородное поле E_0 . Дисперсную систему вне этой сферы будем считать сплошным веществом с однородной поляризованностью P (1).

Напряженность поля в центре этой сферы — напряженность действующего поля — будет иметь составляющие

$$E_s = E_0 + E_1 + E_2, \quad (2)$$

где E_1 — напряженность поля, вызванная поляризованным сплошным веществом, находящимся вне сферы; E_2 — напряженность поля, обусловленная поляризованными включениями, расположенными внутри сферы.

Приступим к расчету напряженностей E_1 , E_2 . На поверхности пустой сферы накапливаются заряды, обусловленные поляризованностью P сплошного вещества. Плотность этих зарядов (рис. 1)

$$\sigma = P \cos \varphi. \quad (3)$$

Элементарный заряд кольцевой сферической поверхности с радиусом $R \sin \varphi$ и шириной $R d\varphi$

$$dq = 2\pi R^2 P \sin \varphi \cos \varphi d\varphi. \quad (4)$$

Ввиду осевой симметрии задачи, вертикальная составляющая напряженности поля зарядов сферы равна нулю.

Горизонтальная составляющая напряженности результирующего поля, вызванная зарядом сферического поверхностного кольца,

$$dE_1 = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 R^2} \cos \varphi. \quad (5)$$

Таким образом, поле

$$E_1 = \frac{P}{2\epsilon_0} \int_0^\pi \sin \varphi \cos^2 \varphi d\varphi = \frac{P}{3\epsilon_0} = \frac{(p_1 + 2p_2)}{9\epsilon_0}, \quad (6)$$

и направлено по внешнему полю E_0 .

Согласно (1), электрический момент dP элементарного объема dv в сферических координатах, будет

$$dP = \frac{(p_1 + 2p_2)}{3} dv = \frac{(p_1 + 2p_2)}{3} r^2 \sin \varphi dr d\varphi d\psi. \quad (7)$$

Горизонтальная проекция радиальной и тангенциальной составляющих напряженностей в центре сферы (рис. 2), вызванных электрическим моментом dP , равна

$$dE_2 = -\frac{dP}{4\pi\epsilon_2 r_2^3} (2\cos^2\varphi - \sin^2\varphi). \quad (8)$$

Для напряженности E_2 после интегрирования получим

$$E_2 = \frac{(p_1 + 2p_2)\gamma}{12\pi\epsilon_2} \int \frac{dr_2}{r_2} \int d\varphi \left[4 \int_0^{\pi/2} \sin\varphi \cos^2\varphi d\varphi - 2 \int_0^{\pi/2} \sin^3\varphi d\varphi \right] = 0. \quad (9)$$

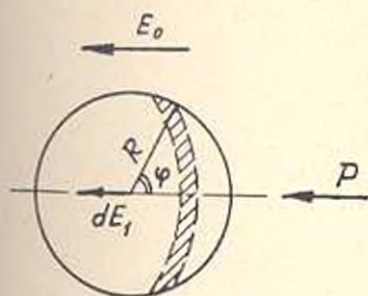


Рис. 1. К расчету напряженности поля в центре полной сферы, расположенной в однородной поляризованной среде.

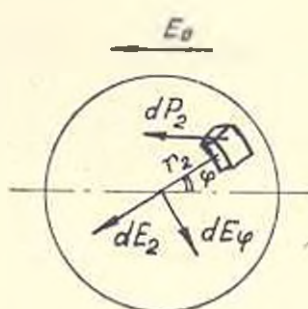


Рис. 2. К расчету напряженности поля в центре сферы, обусловленной электрическими моментами включений сферического объема.

Таким образом, действующее поле в дисперсной системе с неподвижными сфероидами включениями произвольной концентрации и ориентации равно

$$E_A = E_0 + E_1 = E_0 + \frac{(p_1 + 2p_2)\gamma}{9\epsilon_2}. \quad (10)$$

При очень малой концентрации включений $f \ll 1$ или $\gamma = 1$, $E_1 \ll E_0$. В этом случае, в первое мгновение наложения постоянного поля E_0 напряженности электрического поля внутри включений $E_a(0)$, $E_b(0)$ и в среде у вершин сфероидов (по направлению E_0), то есть в местах с наибольшей напряженностью $E_a^0(0)$, $E_b^0(0)$, будут [6, 7]:

$$\begin{aligned} E_a(0) &= \frac{\epsilon_2 E_0}{\epsilon_2 + (\epsilon_1 - \epsilon_2) N_a}; \\ E_c^0(0) &= \frac{\epsilon_1 E_0}{\epsilon_2 + (\epsilon_1 - \epsilon_2) N_a}; \\ E_b(0) &= \frac{\epsilon_2 E_0}{\epsilon_2 + (\epsilon_1 - \epsilon_2) N_b}; \\ E_c^0(0) &= \frac{\epsilon_1 E_0}{\epsilon_2 + (\epsilon_1 - \epsilon_2) N_b}. \end{aligned} \quad (11)$$

Здесь $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ — абсолютные диэлектрические проницаемости вещества включений и среды соответственно; N_a, N_b — коэффициенты деполяризации по осям $2a$ и $2b$ [8].

Представленное уравнениями (11) поле будет электростатическим.

При заметной концентрации включений E_0 в уравнениях (11) следует заменить на E_1 из (10), тогда

$$\begin{aligned} E_a(0) &= E_0 + \frac{2p_2(0)}{9\varepsilon_2} - \frac{(3-f)N_a}{4\pi\varepsilon_2abc} p_1(0); \\ E_r^a(0) &= E_0 - \frac{2p_2(0)}{9\varepsilon_2} + \frac{3-(3-f)N_a}{4\pi\varepsilon_2abc} p_1(0); \\ E_b(0) &= E_0 - \frac{p_1(0)}{9\varepsilon_2} - \frac{(3-2f)N_b}{4\pi\varepsilon_2abc} p_2(0); \\ E_r^b(0) &= E_0 + \frac{p_1(0)}{9\varepsilon_2} + \frac{3-(3-2f)N_b}{4\pi\varepsilon_2abc} p_2(0). \end{aligned} \quad (12)$$

Здесь

$$\begin{aligned} p_1(0) &= 4\pi\varepsilon_2abc m_1 \frac{9+2fm_1}{27-\frac{2}{3}f^2m_2} E_0(0); \\ p_2(0) &= 4\pi\varepsilon_2abc m_2 \frac{9+fm_2}{27-\frac{2}{3}f^2m_2} E_0(0), \end{aligned} \quad (13)$$

где

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{3(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{3\varepsilon_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(3-f)N_a}, \\ m_2 &= \frac{3(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{3\varepsilon_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(3-2f)N_b}. \end{aligned} \quad (14)$$

Интересующие нас напряженности электрического поля, с учетом взаимного влияния поляризованных частиц, можно получить подстановкой (13) в (12), тогда

$$\begin{aligned} E_a(0) &= [(1-m_1N_a)(1+D_2) + (1+2D_1)D_1]E_0; \\ E_r^a(0) &= [1+m_1(1+D_2) - m_1N_a(1+D_2)]\left(1 - \frac{f}{3}\right) + (1+D_1)D_2]E_0; \\ E_b(0) &= [(1-m_2N_b)(1+D_1) + (1+2D_1)D_2]E_0; \\ E_r^b(0) &= [1+m_2(1+D_1) - m_2N_b(1+D_1)]\left(1 - \frac{2f}{3}\right) + (1+D_1)D_1]E_0, \end{aligned} \quad (15)$$

где

$$D_1 = \frac{1}{9}f m_1; \quad D_2 = \frac{2}{9}f m_2.$$

Электрические моменты и напряженности в установившемся режиме могут быть определены из (13) и (15), заменяя в этих уравнениях m_1 , m_2 на n_1 , n_2 , где

$$\begin{aligned} n_1 &= \frac{3(\gamma_{11} - \gamma_{12})}{3\gamma_{12} + (\gamma_{11} - \gamma_{12})(3-f)N_a}; \\ n_2 &= \frac{3(\gamma_{11} - \gamma_{12})}{3\gamma_{12} + (\gamma_{11} - \gamma_{12})(3-2f)N_b} \end{aligned} \quad (16)$$

и D_1 , D_2 на D'_1 , D'_2 , где

$$D'_1 = \frac{1}{9} f n_1; \quad D'_2 = \frac{2}{9} f n_2.$$

В (16) через γ_{11} и γ_{12} отмечены удельные электропроводности веществ включений и среды.

Для определения переходных значений электрических моментов частиц $p_1(t)$ и $p_2(t)$ воспользуемся принципом непрерывности линий полного тока. Условия равенства плотностей полных токов напишем у одной из вершин по оси $2a$ для сфероида, ориентированного вдоль оси x и одной из вершин по оси $2b$ для сфероида, ориентированного вдоль оси y или z . В каждое из этих двух уравнений входят пары напряженностей $E_a(t)$, $E_x^a(t)$ и $E_b(t)$, $E_y^b(t)$, которые могут быть определены из (12), заменяя 0 буквой t . После подстановки и решения системы дифференциальных уравнений относительно $p_1(t)$ и $p_2(t)$ получаем:

$$\begin{aligned} p_1(t) &= \frac{4\pi}{3} \varepsilon_2 a b c n_1 E_0 [\Phi_1(t) - D'_1 \Phi_3(t)]; \\ p_2(t) &= \frac{4\pi}{3} \varepsilon_2 a b c n_2 E_0 [D'_1 \Phi_3(t) + \Phi_2(t)]. \end{aligned} \quad (17)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \Phi_1(t) &= 1 - \frac{n_1 - m_1}{n_1} e^{-t/\tau_1}; \\ \Phi_2(t) &= 1 - \frac{n_2 - m_2}{n_2} e^{-t/\tau_2}; \end{aligned} \quad (18)$$

$$\Phi_3(t) = 1 - \frac{n_1 - m_1}{n_1} \frac{\tau_2 - \Theta}{\tau_2 - \tau_1} e^{-t/\tau_1} - \frac{n_2 - m_2}{n_2} \frac{\tau_2 - \Theta}{\tau_2 - \tau_2} e^{-t/\tau_2},$$

где

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \frac{3\varepsilon_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(3-f)N_a}{3\gamma_{12} + (\gamma_{11} - \gamma_{12})(3-f)N_a}; \\ \tau_2 &= \frac{3\varepsilon_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(3-2f)N_b}{3\gamma_{12} + (\gamma_{11} - \gamma_{12})(3-2f)N_b}; \\ \Theta &= \frac{\tau_1 - \tau_2}{\gamma_{11} - \gamma_{12}}. \end{aligned} \quad (19)$$

При выводе (17) DH^2 пренебрежимо мал по сравнению с $\tau_1\tau_2$, а $2D\theta$ — по сравнению с $\tau_1 + \tau_2$. При любом соотношении параметров вещества среды и включений $\theta^2 \leq \tau_1\tau_2$ и $2\theta \leq (\tau_1 + \tau_2)$, между тем

$$D = \frac{2}{81} \rho n_1 n_2 < 1.$$

Заметим, что вторые члены в знаменателях уравнений (13) также пренебрежимы по сравнению с 27.

Подставив (17) в (12), получим временные функции интересующих нас напряженностей электрического поля. Ввиду громоздкости этих выражений целесообразно подставлять в (12) числовые значения $\rho_1(t)$ и $\rho_2(t)$.

Выводы

1. Введенное понятие макроскопического действующего поля аналогично понятию микроскопического поля. Расчет этого поля и дисперсной системе выполнен для случая произвольно ориентированных, но не изменяющих свою ориентацию под действием поля, сфероидальных включений.

2. Напряженность электрического поля и электрические моменты частиц зависят от параметров (ϵ , γ) среды и включений, концентрации, формы и размеров последних.

Ереванский политехнический
институт им. К. Маркса

Поступило 23.1.1972

Մ. Ա. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԿԱՇՏՏԸ ԳԻՍՏՊԵՐՈՒ ՄԻՈՏՆԵՐՈՒՄ ԱՅԵՐՈՒԴԱԿԱՆ ՆԵՐԱՌՈՒՐՆԵՐԻ
ԿԱՄԱՅԱԿԱՆ ԿՈՂՄԱՌՈՇՄԱՆ ԴԻՊԺՈՒՄ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. լ. մ.

Դիսպերս սխեմայում էլեկտրական դաշտի հաշվարկի առանձնահատկությունը կախված է բևեռացված մասնիկների էլեկտրական մոմենտների փոխադարձ ազդեցության հաշվառումից, իսկ առումով շափաղանց կարևոր է ներառումների կոդմեորոշումն արտաքին դաշտի նկատմամբ: Հոդվածում մտցված է գործող մակրոսկոպիկ դաշտի հասկացությունը և կատարված է նրա հաշվարկը այն դեպքի համար, երբ բոլոր ներառումները բաժանված են երեք հավասար խմբի, որոնց մեջ մտնող մասնիկներն իրենց նրկար առանցքով կոդմեորոշված են դեկարտյան կոորդինատային առանցքների նկատմամբ: Արտաքին դաշտի ուղղությունը համընկնում է այդ առանցքներից մեկի հետ:

Գտնարված է էլեկտրական դաշտի շարվածությունների հաշվարկ ներառումների ներսում և վերջիններիս հետ սահմանակից միջավայրում: Հաշվված են նաև մասնիկների էլեկտրական մոմենտները նշված հաշվարկների կատարված և: Քիմք ընդունելով գործող դաշտի համար ստացված բանաձևեր:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Կարապետյան Մ. Ա., Արամյան Մ. Ա. Синусоидальное поле в дисперсной системе со сферическими включениями. Сборник научных трудов Ереванского политехнического института, том 32, серия автоматизации и вычислительной техники, вып. 111, 1971.
2. Կարապետյան Մ. Ա. Перераспределение постоянного поля в дисперсной системе с эллипсоидальными включениями. «Электричество», № 10, 1971.
3. Сланович Г. И. Физика диэлектриков. ГИИТЛ, 1949.
4. Лорентц Г. А. Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения. ГИИТЛ, 1956.
5. Вавародницкий Н. Г. и др. Теория диэлектриков. Изд. «Энергия», 1965.
6. Стригтон Дж. А. Теория электромагнетизма. Гостехиздат, 1948.
7. Петушица А. В. и др. Высокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников. Госэнергоиздат, 1959.
8. Поппельман К. М. Теоретические основы электротехники, ч. III. Изд. «Энергия», 1969.

С. Г. АРУТЮНЯН

К ВОПРОСУ УЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДАЛЬНИХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В РАСЧЕТАХ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ СЛОЖНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Учет распределенности параметров дальних линий электропередач (ДЛ) может осуществляться несколькими способами [1—4], в зависимости от использования тех или иных средств вычислительной техники. Настоящая статья посвящена анализу эффективности этого учета при реализации задачи на ЦВМ.

Постановка задачи. Дана схема однородной дальней линии электропередачи. При реализации задачи расчета установившегося режима (у. р.) на ЦВМ распределенность параметров линии можно учесть приближенно (путем составления цепной схемы замещения) и математически строго — решением уравнений у. р., описывающих полную структуру передачи энергии по ДЛ.

Требуется, с точки зрения реализации задачи расчета у. р. ДЛ на ЦВМ, оценить:

а) погрешность, вносимую в расчеты у. р. линии, представляя ее различным количеством звеньев цепной схемы замещения с приближенным определением параметров их элементов (задача I);

б) влияние, оказываемое представлением ДЛ, входящей в состав сложной энергосистемы, как цепи с распределенными на единицу длины параметрами и как цепной схемы замещения, на сходимость итерации расчета у. р. сложных систем (задача II).

Задача I. При расчете у. р. ДЛ учет распределенности параметров можно осуществить разными способами.

1. Линия представляется одной П- или Т-образной схемой замещения с сосредоточенными параметрами, элементы которой вычисляются по зависимостям [1]:

$$Z = (r_0 + jx_0)lK_s; \quad Y = 0.5(g_0 + jb_0)lK_v, \quad (1)$$

где r_0 , x_0 , g_0 , b_0 — удельные параметры ДЛ, l — длина передачи;

$K_s = \frac{\sinh \gamma l}{\gamma l}$, $K_v = \frac{\tanh 0.5 \gamma l}{0.5 \gamma l}$ — комплексные поправочные коэффициенты;

$\gamma_0 = r_0 + j\beta_0$ — коэффициент передачи, зависящий от удельных параметров линии.

Расчет коэффициентов K_s и K_v , включающих гиперболические функции комплексного переменного, связан с трудностями вычислительного характера. Для облегчения расчета необходимо пользоваться

представленными номограммами [1]. Данный подход может быть с успехом использован при ориентировочных расчетах, производимых вручную.

2. При использовании для расчета у. р. ДЛ автоматизированных моделей энергосистем (АМЭС) или моделей сети переменного тока (МСПТ) более удобным является учет распределенности параметров ДЛ путем представления последней цепной схемой замещения [2], каждое звено которой представляет собой участок линии длиной 50-250 км, замещаемый П- или Т-образной схемой замещения. При длине участка $l' = 50-250$ км поправочные коэффициенты K'_a и K'_b становятся близкими к единице, что позволяет элементы цепной схемы замещения определять по упрощенным зависимостям:

$$Z' = (r_0 + jx_0)l'; \quad Y' = 0,5(g_0 + jb_0)l'. \quad (2)$$

3. Установившийся режим ДЛ может быть описан уравнениями, математически строго осуществляющими учет распределенности параметров. Например, имея комплексные величины тока I_2 и напряжения U_2 конца передачи, можно на базе телеграфных уравнений [4] определить параметры начала I_1 и U_1 :

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \operatorname{ch} \gamma_0 l & Z_0 \operatorname{sh} \gamma_0 l \\ \frac{\operatorname{sh} \gamma_0 l}{Z_0} & \operatorname{ch} \gamma_0 l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Данный учет может быть осуществлен при реализации задачи на ЦВМ. Поскольку расчет гиперболических функций комплексного переменного, представляющих пассивные параметры ДЛ в форме [А], не представляет особых затруднений при использовании ЦВМ. При использовании ЦВМ подход, рассмотренный в п. 1, является нецелесообразным. Подход же п. 2, используемый для расчета у. р. ДЛ на АМЭС и МСПТ, путем представления ее цепными схемами замещения с расчетом параметров элементов по (2), нашел применение и при использовании ЦВМ в связи с достаточной простотой такого представления. Однако при этом допускаются погрешности, которая нуждается в оценке.

В качестве исходной схемы для исследования погрешностей, влияющих на расчет у. р. ДЛ из-за представления последней цепной схемой замещения с сосредоточенными параметрами, принята ЛЭП напряжением 500 кВ, протяженностью 1200 км. В вариантах линия делилась на разное количество участков, каждый из которых замещался П-образной схемой замещения. Ее элементы, согласно общепринятым рекомендациям, определяются по приближенным зависимостям (2). Можно показать, что при этом допускаются погрешности, относительные величины которых для проводимости Y' поперечного элемента и сопротивления Z' продольного элемента замещаемого участка линии соответственно равны:

$$\varepsilon_y = \left| \frac{\ln(0,5(z_0 + j\beta_0)l')}{0,5(z_0 + j\beta_0)l'} - 1 \right|, \quad (4)$$

$$\varepsilon_z = \left| \frac{\operatorname{sh}(z_0 + j\beta_0)l'}{(z_0 + j\beta_0)l'} - 1 \right|,$$

где l' — длина замещаемого участка линии.

Заметим, что ε_y и ε_z являются функциями длины l' , поэтому ДЛ замещают не одним звеном, а цепочкой П- или Т-образных схем.

Приближенное определение параметров Z' и Y' по выражениям (2) приводит к погрешностям в определении пассивных параметров результирующего четырехполюсника, эквивалентного цепной схеме замещения ДЛ. Параметры последней получены путем исключения промежуточных узлов цепной схемы замещения, осуществляемого математическим эквивалентированием схемы замещения до двух высших узлов, представляющих начало и конец ДЛ. В зависимости от длины замещаемых участков результаты расчета пассивных параметров ДЛ, представленных в форме [А] в табл. 1, оказывают определенное влияние на расчет у. р. ДЛ, рассматриваемое ниже. Для нахождения у. р. ДЛ, представленной цепной схемой замещения, использовались универсальные программы потокораспределения для энергосистем. Во всех вариантах задавались одинаковые исходные параметры режима: на отправном конце — фаза φ_1 и модуль U_1 напряжения; на приемном — модуль напряжения U_2 и активная мощность P_2 .

Таблица 1

Длина замещаемых отрезков, км	Пассивные параметры (результирующие) ДЛ в форме [А]			
	А	В	φ_A	φ_B
ДЛ с распределенными параметрами	0.29213	266.14	0.14943	1.5216
50	0.28999	266.73	0.15052	1.5218
100	0.28957	267.06	0.15092	1.5217
150	0.28886	267.59	0.15160	1.5216
200	0.28787	268.35	0.15256	1.5215
300	0.28501	270.55	0.15538	1.5210
400	0.28251	273.70	0.15832	1.5200
600	0.26891	283.28	0.17259	1.5180

Для нахождения точного распределения параметров режима по длине линии на базе уравнений (3) разработан алгоритм и составлена программа расчета у. р. линии с учетом распределенности параметров, позволяющая по комплексным постоянным линии и четырем параметрам режима ее приемного конца: фазе φ_2 и модулю U_2 напряжения, активной P_2 и реактивной Q_2 мощностям, — найти точные величины активной и реактивной мощностей, комплексные величины напряжения и тока в любой точке линии. Учет активной проводимости позволяет учесть влияние коронирования проводов на режим электропередачи. Алгоритм реа-

лется прямой метод счета. Полученное при этом распределение параметров режима P, Q, U, ψ по длине линии сравнивалось с результатами, полученными по общей программе потокораспределения ИЭД АН УССР [6] для линии, представленной различным количеством звеньев ценной схемы замещения (см. табл. 2). Как видно из табл. 2, длина замещающих отрезков оказывает значительное влияние на распределение по линии реактивной мощности, последняя влияет и на распределение

Таблица 2

Длина замещающих отрезков, км	Параметры, $M_{\text{акт}}, M_{\text{вар}},$ кВ, град.	Координата расстояния ЛЭП, км					Потери	
		0	300	600	900	1200	$\pi, M_{\text{акт}}$	$q, M_{\text{вар}}$
ЛЭП с распределенными параметрами, км	P Q U ψ	882.7 -243.7 525 0°	865.1 -163.4 549.3 -15°	849.8 -31.8 555.5 -29°	834.9 100.1 539.9 -44°	818.7 182.3 505 -59°	64	-426
30	P Q U ψ	882.5 -263.5 525 0°	864.8 -147.2 552.2 -15°	849.7 -1.7 559.5 -29°	835 141.9 542.9 -43°	818.7 202.3 505 -58°	63.8	-465.8
100	P Q U ψ	882.6 -262 525 0°	865 -117.1 552 -15°	849.7 28.2 559.3 -29°	835 169 542.7 -43°	818.7 200.5 505 -58°	63.9	-462.5
200	P Q U ψ	883.1 -255.6 525 0°		850 87.2 558.3 -30°		818.7 253.3 536.6 -59°	64.1	-149
300	P Q U ψ	884.1 -244.7 525 0°	866.1 8.3 550 -15°	850.4 144.8 556.5 -30°	835.3 268.2 510.7 -44°	818.7 181.3 505 -60°	65.4	-426
600	P Q U ψ	890.9 -172.6 525 0°		853.6 300.6 543.5 -33°		818.7 102 505 -65°	72.2	-274.6

напряжения ЛЭП. Особенно значительны эти связи для промежуточных точек линии, что важно учесть при наличии на передаче промежуточных отборов мощности и устройств компенсации. Длина замещающих отрезков оказывает малое влияние на распределение активной мощности и фазы напряжения. То же относится и к активным потерям в линии, что нельзя сказать о реактивных потерях q , которые в исследуемом режиме представляют собой генерируемую линией избыточную реактивную мощность.

Задача II. Особенности расчета у. р. систем, содержащих длинные линии сверхвысокого напряжения, с представлением их ценными схемами замещения, являются: наличие достаточно больших реактансов между узлами ценной схемы замещения ДЛ (слабая электрическая связь) и ветвей со значительной величиной емкости (поперечные ветви П- и Т-образных схем), значительные углы сдвига напряжений по фазе между узлами ДЛ. Произведенные нами расчеты у. р. таких систем, а также исследования ряда авторов [5, 6 и др.] показывают, что эти особенности приводят к значительному ухудшению сходимости итерационных процессов, а в ряде случаев — и к процессу расходящейся итерации. При наличии же в системах компенсированных линий электропередач условия сходимости значительно ухудшаются. Описание у. р. ДЛ уравнениями со строгим учетом распределенности параметров позволяет в значительной степени избежать вышеупомянутых трудностей. При этом эти уравнения могут быть решены без итерации. Разработанный нами на основе известных зависимостей [1] алгоритм расчета у. р. ДЛ позволяет по комплексным постоянным однородной линии A , B и исходным параметрам режима: ψ_1 , U_1 , U_2 и P_2 , — найти остальные параметры режима:

$$\psi_2 = \psi_1 - \arccos \left\{ \left| P_2 + \frac{U_2^2 A}{B} \cos(\psi_2 - \psi_1) \right| \frac{B}{U_1 U_2} \right\}; \quad (5)$$

$$\psi_2 = \psi_1 - \delta; \quad (6)$$

$$P_1 = \frac{U_1}{B} \left| U_1 A \cos(\psi_2 - \psi_1) - U_2 \cos(\psi_2 - \delta) \right|; \quad (7)$$

$$Q_1 = \frac{U_1}{B} \left| U_1 A \sin(\psi_2 - \psi_1) - U_2 \sin(\psi_2 - \delta) \right|; \quad (8)$$

$$Q_2 = \frac{U_2}{B} \left| U_1 \sin(\psi_2 - \delta) - U_2 A \sin(\psi_2 - \psi_1) \right|, \quad (9)$$

где индексы 1 и 2 соответственно относятся к передающему и приемному концам ДЛ; δ — угол передачи ДЛ.

Если на приемном конце ДЛ в качестве исходных задаются активная P_2 и реактивная Q_2 мощности, то в алгоритме расчета вместо (9) используется уравнение

$$U_1 = \sqrt{-a + \sqrt{a^2 - \frac{P_2^2 + Q_2^2}{A^2 B^2}}}$$

где
$$a = - \frac{P_2 B A \cos(\psi_1 - \psi_2) - Q_2 B A \sin(\psi_1 - \psi_2) - 0,5 U_1^2}{A^2} \quad (10)$$

Программы, составленные по зависимостям (5)–(9) и (5)–(8), (10), в отличие от (2), служащей для чисто исследовательских целей, являются рабочими программами расчета у. р. ЛЭП и достаточно

просто могут быть сопряжены с существующими программами потокораспределения энергосистем. Вышеприведенные алгоритмы реализуют прямые методы счета, в отличие от общих программ потокораспределения для энергосистем, использующих итеративные методы расчета. Например, расчет у. р. ЛЭП—500 кВ протяженностью 1200 км, замещаемой по 50 км П-схемами, по программе ИЭД АН УССР [6] на ЦВМ «Урал-3» производится за 6 мин, причем, программа с автоматическим выбором ускоряющих коэффициентов «не идет» из-за наличия ветвей, содержащих значительную емкость. В то же время расчет режима ДЛ по предлагаемым алгоритмам не превышает 5 сек.

На дальней ЛЭП, с целью повышения ее пропускной способности, используются способы уменьшения волновой длины линии, осуществляемые при помощи устройств продольной и поперечной компенсаций. На таких линиях в дальнейшем появляются и промежуточные отборы мощности. Все это оказывает существенное влияние на распределенность параметров ДЛ, ибо она перестает быть однородной линией с равномерно распределенными параметрами. Однако отказ от цепных схем замещения или от расчета поправочных коэффициентов K_x , K_y на параметры сосредоточенных элементов схемы замещения участков и в этом случае позволяет, помимо большей точности, достаточно компактно и эффективно реализовать алгоритм расчета у. р. компенсированной линии с промежуточными отборами мощности [7]. Этот алгоритм основан на теории каскадного соединения четырехполюсников, замещающих участки линии с равномерно распределенными параметрами, компенсирующие устройства и промежуточные отборы мощности. Такая реализация позволяет и для компенсированной ЛЭП с промежуточными отборами мощности (задаваемыми постоянными сопротивлениями) найти у. р. прямым методом.

Произведенные контрольные расчеты показывают, что использование алгоритмов на базе уравнений (5) — (9); или (5) — (8), (10) или [7], реализующих прямые методы счета, в виде подпрограмм в общей программе потокораспределения позволяет сократить время расчета у. р. сложной энергосистемы в 1,2—2 раза. Реализация такого алгоритма описана в [8].

Проведенные исследования показывают, что представление ДЛ в виде цепи с распределенными параметрами имеет ряд преимуществ над представлением тех же линий цепными схемами замещения с сосредоточенными параметрами. Эти преимущества следующие:

а) возможность точного нахождения распределения активной, реактивной мощностей и напряжения в линии,

б) значительное уменьшение времени нахождения установившегося режима линии,

в) улучшение сходимости, следовательно, уменьшение затрат машинного времени, при расчете установившихся режимов систем, содержащих протяженные магистральные линии электропередач.

Ա. Կ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

**ՐԱՐԻ ԷՆԵՐԳԱՀԱՄԱԿԱՐԳՆԵՐԻ ԿԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ
ՀԱՇՎԱՐԿՆԵՐՈՒՄ ԷԼԵԿՏՐՍՀԱՂՈՐԴՄԱՆ ԵՐԿԱՐ ԿՅՈՒՆԻ ԲԱՇԽՎԱԾ
ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՌՔԻ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՋԸ**

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում քննարկվում են էլեկտրահաղորդման դերարժր լարման մա-
դիատրայային երկար զծերը որպես բաշխված պարամետրներով շղթա ներ-
կայացնելու նպատակահարմարության հետ կախված հարցերը:

Տրված է զծի կայունացված ուժի մի հաշվարկի մասնակ ստացվող
սխալանքի գնահատումը՝ երբ այն ներկայացվում է տեղակայման շղթայական
սխեմայի սղակների տարրեր քանակությամբ:

Նշվում է, որ էլեկտրահաղորդման երկար զծը տեղակայման շղթայական
սխեմայով ներկայացնելը վատացնում է խտրացիայի դուզամիտումը էներ-
գահամակարգի կայունացված ուժի մի հաշվարկի կատարելիս:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Веников В. А. Дальние электропередачи, ГЭИ, 1960.
2. Азаров Д. И. Математическое моделирование электрических систем, ГЭИ, 1962.
3. Горел А. А. Расчет длинных линий передачи электрической энергии с учетом рас-
сеяния энергии. Сб. Гидроэнергопроект, № 5, 1938.
4. Агайков Г. И. Теоретические основы электротехники, ч. 1, М.—Л., 1970.
5. Цукерник А. В., Коробчук К. В. Исследование соответствия предела статической
устойчивости энергетической системы нарушению сходимости итерационного
расчета ее установившегося режима. «Изв. АН СССР Энергетика и транспорт»,
№ 6, 1969.
6. Качанов Н. А., Умодьян В. В. Программа расчета установившегося электриче-
ского режима энергосистемы с учетом статических характеристик нагрузок. Сб.
«Применение вычислительных машин для анализа устойчивости и токов корот-
кого замыкания в электрических системах», Киев, 1968.
7. Адоңц Г. Т., Арутюнян С. Г. К расчету установившегося режима компенсированной
линии электропередачи. «Электричество», № 2, 1972.
8. Адоңц Г. Т., Арутюнян С. Г. Расчет установившегося режима двух систем, связан-
ных линиями с распределенными параметрами. «Изв. вузов СССР. Энергетика»,
№ 3, 1972.

ЭНЕРГЕТИКА

Л. О. ЖАМГАРЯН, Ю. А. ОРБЕЛЯН

ОБ ОДНОМ ПРОГРАММНОМ МЕТОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ
 АВТОМАТИЧЕСКОГО СОПРЯЖЕНИЯ ЭВМ С ЛИНИЯМИ СВЯЗИ
 В СИСТЕМЕ ВЦ-ЭНЕРГООБЪЕКТ

В последние годы все большее значение приобретают системы, базирующиеся на совокупности вычислительных комплексов и управляемых объектов или абонентов, объединяемых линиями связи. Последнее выдвигает необходимость развития средств передачи данных между территориально разнесенными потребителями (абонент, управляемый объект) и ЭВМ. Система сопряжения ЭВМ с линией связи предназначена для проведения с диспетчерского управления (ДУ) энергосистемы, располагающего телетайпными установками, расчетов по заложенным в ЭВМ программам.

Постановка задачи. Предполагается, что в ДУ существует перфолента, на которой указаны шифр программы и задаваемые параметры режима. В ЭВМ из диспетчерского управления вводятся векторы, определяемые задаваемыми параметрами режима. По заложенной в ЭВМ программам вычисляются искомые векторы режима и отсылаются в ДУ.

Принцип сопряжения. С диспетчерского управления вызывается электронная машина ВЦ. При готовности ЭВМ к работе с линией программа ввода переписывается с внешнего накопителя в оперативную память ЭВМ. Программой ввода обеспечивается автоматическая печать на телетайпных установках в ДУ пароля готовности и подготовки ЭВМ к приему информации с линии. По получении пароля готовности в ДУ запускается трансмиттер для передачи информации с перфоленты через линию связи в ЭВМ.

В процессе ввода с линии поступающая информация одновременно печатается на буквопечатающем аппарате телетайпа, чем обеспечивается визуальный просмотр получаемой информации. Эта информация может быть отперфорирована на перфоленте телетайпа. Последнее весьма существенно, т. к. при неподготовленности ЭВМ к приему информация принимается на перфоленту и в дальнейшем вводится в ЭВМ в режиме работы телетайпа «на себя».

Ввод с линии в ЭВМ завершается автоматическим запросом электронной машиной ответчика* телетайпа ДУ, печатью на телетайпных установках признака завершения ввода «конец» и передачей управле-

* Ответчик—позывные сигналы с телетайпной установки, свидетельствующие об установлении связи.

ния по адресу, указанному на перфолене, т. е., в частности, переходом на решение задачи. Числовая информация представляется на перфолене шириной 12 мм в международном телеграфном коде с использованием только цифрового регистра.

Перед массивом информации задаются следующие признаки:

S — признак начального адреса;

A_0 — начальный адрес;

N — программный

D — десятичный

L — восьмеричный

} признак типа информации.

Для представления информации используются символы:

$+$, $-$, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Кроме того, на цифровом регистре используются служебные символы: « $=$ » (признак записи), « $/$ » (признак ошибочной записи). Остальные служебные символы используются на латинском регистре:

S — признак начального адреса;

N — признак команды;

D — признак десятичного числа;

L — признак восьмеричного числа;

F — признак передачи управления.

Каждому информационному символу как признак «начало» предшествует его знак ($+$ или $-$).

Начальный адрес A_0 представляется после признака S в восьмеричной системе и может содержать максимум четыре числовых символа ($+ 7777$).

Команда представляется в восьмеричной системе после признака N (перед данной командой или массивом команд), соответствующего ему знака $+$ или $-$ и может содержать максимум семь восьмеричных разрядов ($- 777777 4$). После представления командных символов пробивается признак записи « $=$ ».

Постоянные параметры информации, так же как командная и адресная представляются в восьмеричной системе, но после соответствующего признака L и могут содержать максимум 13 числовых символов ($= 7777777777777$).

В конце каждого восьмеричного числа пробивается признак записи « $=$ ».

Числовая информация представляется в десятичной системе после соответствующего признака D перед десятичным числом или массивом чисел.

По признаку F после SA_0 управление электронной машиной передается программе по адресу A_0 . При отсутствии A_0 (т. е. SF) после ввода информации с линии ЭВМ останавливается.

Прием и обработка информации, представленной по вышесказанному принципу и переданной по телетайпной линии в ЭВМ, осуществляется специальной программой, заложенной во внешней памяти ЭВМ.

Схема реализации. Управляющая программа состоит из следующих основных частей:

- а) подпрограммы (ПП) синхронизации линии связи с ЭВМ и разворота принимаемых сигналов из параллельно-последовательного кода в параллельный;
- б) ПП контроля принимаемой информации в режиме передачи по двум географически разнесенным каналам с обратной связью;
- в) ПП фильтрации и дешифрации передаваемых сигналов;
- г) ПП исполнения служебных признаков и размещения информационных символов в ЭВМ.

ПП синхронизации линии связи с ЭВМ запускается от поступающего стартового сигнала каждого очередного символа. Ею обеспечивается прием и сдвиг в ЭВМ всех последующих рабочих импульсов каждого символа путем машинных пауз, соответствующих интервалу времени между двумя соседними рабочими импульсами. Для надежного приема каждого рабочего импульса и устранения влияния дребезжания контактов применяемого реле, включенного в линию связи, программой обеспечивается прием рабочих импульсов в их средней точке.

После приема символа в ЭВМ и проверки его правильного приема производится фильтрация принятой информации и ее дешифрация. Цель фильтрации — сращивание принятого по линии связи символа с запрещенными и блокировка его дальнейшей реализации в ЭВМ. Это дает возможность работать с «грязной лентой», на которую оператором могли быть ошибочно занесены запрещенные символы.

Так, например, если при подготовке ленты оператором пробит начальный адрес в виде: +789A4, ПП фильтрации выберет правильный и обеспечит его прием в ЭВМ в виде +74.

Далее отфильтрованная информация программой дешифрируется в соответствии с ранее принятым служебным признаком, обеспечивается поэтапное формирование информационного слова и необходимое размещение информации в памяти ЭВМ. После приема служебного признака *S* (начальный адрес) поступающая числовая информация расшифровывается и формируется программой как адресная и фиксируется в самой программе для ее последующего использования.

При зафиксированном в программе признаке *A*, *D* или *L* последующие символы расшифровываются и формируются программой как информационные, соответственно преобразуются и фиксируются в ЭВМ для последующей записи.

Служебным признаком записи «=», поступающим после каждого информационного слова, обеспечивается запись сформированного слова по фиксированному адресу и подготавливается адрес для записи следующего слова. По поступлении признака *F* программа прекращает свою работу и передает управление по указанному адресу, т. е. на решение задачи.

Результаты решения задачи передаются в телетайпную линию с помощью специальной программы, которой предварительно преобразу-

ются результаты из машинного кода в телеграфный и засылаются в линию связи.

Описание опыта эксплуатации схемы сопряжения. По вышеизложенному принципу сопряжения ЭВМ с линией связи для Волгоградской энергосистемы, состоящей из трех ТЭЦ и одной ГЭС, по данным, передаваемым из диспетчерского управления (ДУ) в ВЦ АрмНИИЭ проводились расчеты на ЭВМ «Урал-3» по алгоритмам и программам АрмНИИЭ по управлению оперативными режимами этой энергосистемы. Исходными данными являлись графики нагрузок, характеристики агрегатов, ограничения по работающим машинам.

В ВЦ проводились расчеты по оптимизации внутростанционных режимов Волжской ГЭС и Волжской ТЭЦ. Результаты расчетов: распределение нагрузки между работающими агрегатами, мощности по отдельным агрегатам, — автоматически передавались по телетайпной линии связи в ДУ. Блок-схема связи приводится на рис. 1. Функции ЭВМ в системе передачи заключались в следующем:

- а) преобразование сигналов, передаваемых по каналу связи, в сигналы, требуемые для работы ЭВМ, и наоборот;
- б) программный анализ сообщений;
- в) устранение искажений сигналов.

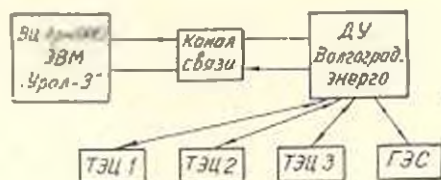


Рис. 1.

Машина реагировала только на те случаи, когда при передаче числовых величин в ряде цифр появлялись буквенный или иной нецифровой символ. В этом случае исправление ошибки производится путем запроса на повторение неправильно принятого блока.

Было проведено 30 сеансов по приему и передаче информации. Передавалось $4,5 \cdot 10^4$ и принималось $3 \cdot 10^4$ бит информации. Время передачи 15 мин, время приема 10 мин. Поскольку в проведенных экспериментах ставилась задача передачи и переработки статистической информации, то требования к задержкам во времени передачи результатов не столь существенны. Поэтому при необходимости допускались повторные сеансы передачи с целью повышения достоверности.

Выводы

1. Опыт дистанционной оптимизации режимов энергосистем путем сопряжения ЭВМ с ДУ следует распространить.
2. Для дистанционного управления в энергосистемах целесообразно-

но применять ЭВМ типа «Урал—14», имеющих развитую систему внешних свойств.

АрмНИИЭ

Получено 20.11.1972.

Լ. Շ. ԺԱՐԶԱՐՅԱՆ, ՅՈՒ. Ա. ՕՐԵԼՅԱՆ

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ԿՆՆՏՐՈՆ-ԷՆԵՐԿԱՑՈՅԵԼԻՏ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ ՀԱՇՎԻՉ
ՄԵՔԵՆԱՅԻ ԵՎ ԿԱՊԻ ԿԵՆՐԻ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿՑՈՐԳՈՒՄԸ ԻՐԱՆԱՆԱՑՆԱՐԿ
ՄԻ ՆԵՐԱԳՐԱՅԻՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Շարադրվում է էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենայի ծրագրավորված կցորդումը կապի հեռացրային կանալների միջոցով էներգահամակարգի դիսպետչերական ղեկավարման հետ: Կոնկրետ էներգահամակարգի օրինակի վրա վերլուծվում են կցորդման շարադրված սկզբունքի դործնական օգտագործման արդյունքները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гуров В. С. и др. Основы передачи данных по проводным каналам связи. Сибирьиздат, М., 1964.
2. Лоскутов В. И. Управляющие математические машины. Машигиз, М., 1962.

СОДЕРЖАНИЕ

XXV тома журнала «Известия АН Арм. ССР (серия технических наук)»

Вычислительная техника

В. А. Алексеев, М. А. Антонец, Ю. А. Антоян, Г. С. Барсамян, Э. Д. Гачалюк, Л. Ш. Есипазарян, А. Е. Крюков, Б. Н. Липатов, С. М. Мкртчян, В. А. Саниян, Б. В. Шекотов. Интерференционный корреломер на основе ЭВМ «Раздан-3»	1—3
Д. О. Мелкумян. Определение устойчивости линейных систем с запаздыванием	6—3
В. М. Мкртчян, Д. О. Мелкумян. Определение устойчивости линейных дискретных систем и оценка ее качества	2—14
А. Н. Сагоян, Ю. М. Гаспарян, А. В. Маканестян, А. А. Джанкожалаян. К задаче оптимизации информационной системы с учетом надежностных параметров	5—47

Измерительная техника

Р. С. Меккисян. Анализ влияния нелинейностей на показания автоматических электронных компенсаторов	1—35
Г. А. Тигранян. Многоканальная телеметрическая система для изучения вопросов прогноза землетрясений	6—19

Гидравлика, гидротехника

А. К. Анимян. Некоторые вопросы научно-технического прогресса в области водолазейственного строительства	6—8
Р. М. Барсегян. Фильтрация жидкости в слоистых пластах с переменными мощностями и коэффициентами фильтрации слабопроницаемых прослоек	1—13
А. М. Гаспарян, Э. А. Мелюкян. О продольном смещении жидкости	3—44
А. А. Гурденяк. Определение параметров жидкости в окрестности точки соединения фронтов волн методом Иерарха	1—19
А. Я. Маркирян. Расчет сжатия воздуха, истекающего в месте разрыва сплошности потока в трубопроводе	1—29
Э. Г. Петросян. Пограничный слой на продольно обтекаемых телах вращения	2—23
Г. Д. Степанян, Г. Г. Ацгориян. К методике выбора оптимальных параметров проектируемых вертикальных скважин	6—14

Энергетика

Г. Т. Аюбц. К исследованию сходимости и скорости итерации в расчетах электрических режимов энергосистем	3—3
Г. Г. Аюбц. Перспективные задачи научных исследований в энергетике республик	5—3
С. Г. Арцунян. К вопросу учета распределенных параметров дальних линий электропередач в расчетах установившихся режимов сложных энергосистем	6—44

Р. С. Баятян. Экспериментально-статистический метод анализа и улучшения режимов напряжения в узлах городских сетей	2—48
Л. О. Жамгарян, Ю. А. Орбелян. Об одном программном методе реализации автоматического сопряжения ЭВМ с линиями связи в системе ВЦ-энерго-объект	6—51
С. А. Коларян. К выбору обмоток машин переменного тока	5—49
А. Н. Мусасяян. К оценке влияния изменения реактивных сопротивлений сети и режимах энергосистемы, связанных со снижением частоты	5—25
А. Г. Нильсман. О магнитной проницаемости рассеяния по головкам зубцов и по шпину в электрических машинах	5—30

Электротехника

С. Г. Амалхян, В. С. Арутюнян. Индуктивное сопротивление дополнительной обмотки в синхронных машинах с возбуждением от третьей гармоники поля	1—41
Я. С. Броммин, А. С. Демирчян, С. А. Шмидт. Модель вибрации синхронного двигателя	3—11
М. А. Карапетян. Электрическое поле в дисперсной системе при произвольной ориентации сферических включений	6—37
Э. А. Осинесян. Метод квазилинейных уравнений гармонических составляющих при расчете цепей со сталью	4—32
А. О. Оганян, Г. А. Сипайлов, В. З. Хорьков. Анализ индуктивного сопротивления рассеяния лобовых частей обмотки статора ударного генератора	2—40

Электронная техника

А. В. Воробьев, А. В. Николаев, П. М. Шатахан. Модель интегрального транзистора с использованием параметров, характеризующих качество технологического процесса	6—32
К. А. Гуджазирян, Ю. Н. Бароян. Приемник света с высокочастотным резонатором	4—25

Машиностроение

Р. В. Амбарцумян. Синтез зубчато-рычажного механизма периодического поворота с регулировкой числа позиций	5—30
Е. М. Егилян, Ю. Л. Саркисян. Стержневые механизмы для воспроизведения сложного движения объекта	3—19
М. В. Касьян, Р. Г. Багдасарян. К вопросу определения эквивалентного числа оборотов при точении деталей с переменными размерами по длине обработки	1—3
М. В. Касьян, Г. Б. Багдасарян, Г. А. Арутюнян. Собственные колебания станины строгального станка типа ТМЗБ (уравнения перемещения)	2—3
С. А. Мошмян. К вопросу о движении двухмассной колебательной системы по вибрирующей шероховатой плоскости	2—8
Э. С. Саакян. К экспериментальному определению приведенного момента инерции механизмов	4—20
Р. В. Сиракян, Р. Х. Согомоян, А. Б. Захарян. Вероятностный анализ изгибных деформаций гусеничной ленты с микропрофилем	1—8
К. А. Шахбазян, С. Б. Гаранин. Синтез пространственного пятизвенного механизма по известным дискретным положениям шатуновой точки	3—30

Материаловедение, металлостроение

- С. Г. Акопян, Ю. В. Авакян, Определение температуры образца при импульсном облучении солнечным светом 5—43
- Н. С. Лидоренко, С. П. Чижик, Я. Т. Шермазян, В. В. Шахпарян, Т. В. Ефимова, А. А. Ланян, Л. А. Любарова, С. Н. Шуманова, Получение прозрачной двуокиси циркония в высокотемпературной солнечной установке 4—10
- И. В. Пинаджян, О физико-механических свойствах дренезины графа, произрастающего в Армянской ССР 4—15
- В. М. Соленов, В. А. Скудюнов, Л. Д. Соколов, А. Н. Гладких, Пластическая деформация сплава титрия 2—23
- В. А. Спирин, Г. А. Виноградов, Р. Л. Оганян, Методика исследования трения на контакте «сыпучее тело-опорная поверхность» сдвиговым прибором с нижним расположением контртела 6—24

Строительная механика и строительные конструкции

- И. А. Горюхи, Э. Е. Хачикян, О сейсмостойкости многоярусных каркасных зданий с убывающими по высоте поэтажными жесткостями 3—35
- В. В. Пинаджян, О техническом прогрессе в области бетона и железобетона и некоторых основных задачах дальнейших исследований 5—10

Теплотехника

- Л. Т. Кулюян, Л. С. Оганесян, К. Н. Адамьян, Изучение гидродинамики сушки градиентным течением 2—34

Научные заметки

- С. Г. Арикелян, Ж. В. Захарян, Об одной возможности испытания моделей лавин 5—51
- Э. Н. Арутюнян, Расчет подавляемости шариковинтовой передачи с учетом неравномерности распределения нагрузки по виткам резьбы 2—53
- А. А. Григорян, Г. М. Григорян, Об экспериментальном регулировании процесса измельчения руд 1—51
- Б. К. Демидович, И. Э. Ованесова, Образование и развитие структуры пено-стекла в полидисперсных средах 1—39
- С. С. Захарян, А. Т. Гулян, Расчет оптимального режима работы одноступенчатых фильтров 4—44
- В. В. Карапетян, Л. В. Шахпарян, Исследование совместной работы туфовой кладки и железобетона в комплексных конструкциях при кратковременном нагружении 2—57
- Л. В. Мкртчян, Определение оптимальных параметров эллиптических колес механизмов, воспроизводящих приближенно-равномерное движение 1—47
- А. Н. Сагоян, К. Г. Бабаджанян, Об оптимальных процедурах поиска несправностей 3—53

Բ ՈՎ ԱՆ Դ Ա Կ Ո Ւ Ք Տ ՈՒ Ն

«ՀՈՒՆ ԳԱ տեղեկագիր (տեխնիկական գիտությունների սերիա)» հանդիս 25-րդ հատուր

Հայպոդական տեխնիկա

- Վ. Ա. Ալեքսեև, Շ. Ա. Անտոնև, Յու. Ա. Անտոնյան, Կ. Ա. Ռաբոսյան, Է. Դ. Գալսեյ-
յան, Լ. Շ. Եղիազարյան, Ա. Ն. Կրյուկով, Բ. Ն. Լիպատով, Ս. Մ. Միքայլան,
Վ. Ա. Սանուկյան, Ս. Վ. Շելկոտով, *Կոնվյացիան և ագիտմանը «Հրազդան-3»*
էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենայի բաղադրի վրա 1—3
- Կ. Շ. Մելիքովյան, Հասպարումով զծային սխեմաների կայունության որոշումը 6—3
- Վ. Մ. Սկրոչյան, Կ. Շ. Մելիքովյան, Գծային զիսկրետ սխեմաների կայունության որո-
շումը և նրա որակի գնահատումը 2—14
- Ս. Ն. Սադյան, Նու. Մ. Գուսյարյան, Ս. Վ. Մուխոմեյովյան, Շ. Ա. Ճանճապալյան,
Խնթորմագիտան համակարգի օպերմայացման մի խնդիր՝ հաշվի առած հոսու-
թյունային պարամետրները 5—47

Ջալիլյան տեխնիկա

- Ի. Ս. Մեխիսյան, Այստույն էլեկտրոնային համակարգերի զուգամուրների վրա ու-
զմայնությունների ազդեցության վերլուծություն 1—35
- Գ. Ա. Տիրգանյան, Բալանսային հաշվարկային սխեմա երկրաչափների կանխագու-
շական հարցերի ուղղամասերի համար 8—19

Հիդրավիկա, Խիդրոտեխնիկա

- Ա. Ժ. Անտոնյան, *Ջրաշինարարության բնապայմանում գիտա-տեխնիկական առաջադիմու-*
թյան մի րանի հարցերի մասին 6—8
- Ի. Մ. Խառնայան, Հեղուկի ֆիլտրացիայի փոփոխական հոսքում և ֆիլտրացիայի
զարգացից ունեցող վատ փափուկացող միջնաշերտով շերտավոր հողաշերտերում
. 1—13
- Ա. Մ. Գալստյան, Է. Ա. Մելիքյան, Հեղուկի բնականականային խառնման վերաբերյալ
. 3—44
- Ս. Ա. Գուրգենյան, Հեղուկի շարժման պարամետրների որոշումը ալիքների հատման կե-
տի մաս լեղրուսի մեթոդով 1—19
- Ա. Յա. Մարգարյան, Խոցողակաշարում ռուսների անընդհատության խզման տեղում
խցանված օդի սեղմելիության հաշվումը 1—29
- Լ. Գ. Պետրոսյան, Սահմանային շերտը երկայնքով շրջահոսքի պատման մարմինների
վրա 2—23
- Շ. Կ. Ստեփանյան, Կ. Գ. Հաջազյան, Նախագծավող ուղղամիջ հորանցքների օպտի-
մալ պարամետրների բնութագրի մեթոդիկայի վերաբերյալ 6—14

Էներգետիկա

- Շ. Տ. Այվեց, Էներգահամակարգերի էլեկտրական ռեժիմների հաշվարկներում խտնու-
ղիայի դուրսմիտման և աղաղության հետադրությունների վերաբերյալ 3—3
- Շ. Տ. Այվեց, Հանրապետության էներգետիկայում գիտական հետադրությունների հե-
ռանկարային խնդիրները 5—3
- Ի. Ս. Մարգարյան, Բաղադրային զանցների լանդույցներում լարման ուժերի առաջիկի
և բարեկամման փորձարարական հետազոտական մեթոդ 2—49
- Ժ. Շ. Փանկոսյան, Յու. Ա. Օրբելյան, Հաշվողական կենտրոն-էներգաօրյակի համակար-
գում հաշվիչ մեքենայի և կապի զմերի ափսոսալ կցորդումը իրականացնող մի
ծրագրային մեթոդի մասին 6—51

Определение устойчивости линейных систем с запаздыванием. Мелкумян Д. О. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXV, № 6, 1972, 3—7.

Предлагается новый критерий устойчивости линейных стационарных систем с запаздыванием, который, наряду с простотой и наглядностью, удобен при реализации на ЦВМ.

Илл. 2. Библ. 5 назв.

УДК 622.245 : 519.2

К методике выбора оптимальных параметров проектируемых вертикальных скважин. Степанян Г. Д., Ацагориян Г. Г. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXV, № 6, 1972, 14—18.

Приводится метод расчета параметров вертикальных скважин, заложенных в однослойной водоносной толще и имеющих постоянный дебит. В предлагаемой линейной модели решения этой задачи, в отличие от других исследований, учитывается взаимодействие системы скважин и ставится условие минимизации приведенных затрат. Результаты решений показывают, что на территории осушаемого массива можно заранее распределить сеть вертикальных скважин и удовлетворить условие понижения уровня грунтовых вод в характерных точках на определенную величину.

Илл. 1. Библ. 3 назв.

УДК 550.34 : 681.3

Многоканальная телеметрическая система для изучения вопроса прогноза землетрясений. Гигранян Г. А. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXV, № 6, 1972, 19—23.

Рассматривается возможность создания автоматизированных систем с применением ЭВМ для изучения вопросов прогноза землетрясений. Рассмотрены вопросы достоверности контроля системы. Разработана блок-схема многоканальной телеметрической системы.

Илл. 1. Библ. 7 назв.

УДК 539.215+539.62

Методика исследования трения на контакте «сыпучее тело-опорная поверхность» сдвигаемым прибором с нижним расположением контртела. Спирин В. А., Виноградов Г. А., Оганян Р. Л. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXV, № 6, 1972, 24—31.

Рассмотрена методика проведения эксперимента на сдвиговом приборе с нижним расположением контртела и дан алгоритм построения функции коэффициента трения покоя для пары «сыпучее тело-опорная поверхность».

Илл. 3. Библ. 8 назв.

УДК 621.382.3

Модель интегрального транзистора с использованием параметров, характеризующих качество технологического процесса. Воробьев А. В., Николаев А. В., Шатахян П. М. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXV, № 6, 1972, 32—36.

Рассматривается улучшенная модель Эберса-Молла интегрального транзистора. Коэффициенты модели определяются параметрами, с помощью которых характеризуется качество выполнения важнейших технологических операций планарно-диффузионного технологического процесса. Указывается на возможность использования модели при эффективном проектировании интегральных схем и при анализе технологического процесса.

Илл. 1. Библ. 2 назв.

Электрическое поле и дисперсной системе при произвольной ориентации сфероидальных включений, Карапетян М. А. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXV, № 6, 1972, 37—43.

Приводится расчет макроскопического действующего поля и на этой основе напряженности электрического поля внутри включений и в среде на границе с частицами. Определены электрические моменты включений.

Илл. 2. Библ. 8 назв.

УДК 621.315.05

К вопросу учета распределенных параметров дальних линий электропередачи в расчетах установившихся режимов сложных энергосистем, Арутюнян С. Г. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXV, № 6, 1972, 44—50.

Рассматриваются вопросы, связанные с целесообразностью представлении длинных магистральных линий сверхвысокого напряжения как цепи с распределенными параметрами. Дана оценка погрешности получаемой при расчете установившегося режима линии, когда она представляется различным количеством звеньев цепной схемы замещения. Указывается, что представление длинной электропередачи цепной схемой замещения ухудшает сходимость итерации расчетов установившихся режимов энергосистем.

Табл. 2. Библ. 8 назв.

УДК 621.311 : 681.3

Об одном программном методе реализации автоматического сопряжения ЭВМ с линиями связи в системе ВЦ-энергообъект, Жамгарян Л. О., Орбелин Ю. А. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXV, № 6, 1972, 51—55.

Излагается вариант программного сопряжения ЭВМ с диспетчерским управлением энергосистемы по телеграфным каналам связи. Анализируются результаты практического использования предложенного принципа сопряжения на примере энергосистемы.

Илл. 1. Библ. 2 назв.



СОДЕРЖАНИЕ

Вычислительная техника

- Д. О. Мелкумян.* Определение устойчивости линейных систем с запаздыванием 3

Гидротехника

- А. К. Анян.* Некоторые вопросы научно-технического прогресса в области водохозяйственного строительства 8
- Г. Д. Степанян, Г. Г. Ацагорцян.* К методике выбора оптимальных параметров проектируемых вертикальных скважин 14

Измерительная техника

- Г. А. Тиерянян.* Многоканальная телеметрическая система для изучения вопросов прогноза землетрясений 19

Материаловедение

- В. А. Спиков, Г. А. Виноградов, Р. Л. Огиян.* Методика исследования трения на контакте «сыпучее тело-опорная поверхность» сдвиговым прибором с нижним расположением контртела 21

Электронная техника

- А. В. Воробьев, А. В. Николаев, П. М. Шатахян.* Модель интегрального транзистора с использованием параметров, характеризующих качество технологического процесса 32

Электротехника

- М. А. Карапетян.* Электрическое поле в дисперсной системе при произвольной ориентации сферических включений 37

Энергетика

- С. Г. Арутюнян.* К вопросу учета распределенных параметров дальних линий электропередач в расчетах установившихся режимов сложных энергосистем 44
- Л. О. Жамгарян, Ю. А. Орбелян.* Об одном программном методе реализации автоматического сопряжения ЭВМ с линиями связи в системе ВЦ-энергообъект 51

Ր ՈՎ Ա Ն Դ Ա Կ ՈՒ Թ Յ ՈՒ Ն

Հաշվադրվում օրվանիկա

Դ. Հ. Բնիկունյան, Հապաղումով գծային սխառնակների կախուսության որոշումը . . . 3

Հիտրոտեխնիկա

Ա. Կ. Անանյան, Զրաշինարարության բնագավառում ցիտա-տեխնիկական առաջադիմության մի բանի հարցերի մասին . . . 8

Հ. Գ. Խոնկանյան, Գ. Յ. Հոգստյան, Նախագծովու ուղղաձիգ հորանցքների օպտիմալ պարամետրերի բնութան մեթոդիկայի վերաբերյալ . . . 14

Ջեոփոփական տեխնիկա

Դ. Ա. Տիգրանյան, Բազմականալ հեռաչափական սխառնակ հրկրաչափների կանխագուշակման հարցերի ուսումնասիրման համար . . . 19

Նյութագիտություն

Վ. Ա. Ալիևով, Գ. Ա. Վլենկով, Գ. Լ. Օհանյան, Հակամարմնի ջրածր դասավորությամբ սահմանային սպառնալիքի մարմին. հենարանային մակերևույթի կոնստիտուցիոնալ շրջման ուսումնասիրության մեթոդիկա . . . 24

Էլեկտրոնային օրվանիկա

Ա. Վ. Վառլով, Ա. Վ. Նիկոլով, Պ. Ի. Շատալյան, Ինտեգրալային տրանզիտորի մոդելի տեխնոլոգիական պրոցեսի որակը բնորոշող պարամետրերի օպտիմալիզացիա . . . 32

Էլեկտրատեխնիկա

Մ. Ա. Պետրով, Էլեկտրական դաշտի դիսպերսիոն սխառնակում սինխրոնիզացիոն ներառումների կամայական կոմպոզիցիոն զեպրում . . . 37

Էներգետիկա

Ի. Գ. Հարությունյան, Ջարդ Էներգոհամակարգերի կախումազգած ռեժիմների հաշվարկներում էլեկտրահաղորդման երկար գծերի բաշխման պարամետրերի հաշվարկի նար-ցի շուրջը . . . 44

Լ. Հ. Խամբարյան, Յու. Ա. Օրբելյան, Հաշվողական էներգոն-էներգաբաշխման համակարգում հաշվիչի մեքենայի և կապի գծերի ավտոմատ կցորդումը իրականացնող մի ժրագրա-յին մեթոդի մասին . . . 49