

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈՆՖԵՐԱ

Այսինքն Շ. Տ., Ալեքսեևսկի Վ. Վ., Եղիազարյան Ի. Վ., Կասյան
Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Նազարով Ա. Գ., Սիմոնով Մ. Տ.,
Փինեաշյան Վ. Վ. (պատ. խմբագիր տեղակալ)։

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Адомиц Г. Т., Алексеевский В. В., Егизаров И. В., Касьян
М. В. (ответ. редактор), Назаров А. Г., Пинаджян В. В.
(зам. отв. редактора), Симонов М. Э.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Э. В. КАЗАРЯН, А. П. ШОРЫГИН

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ
СЧЕТЧИКОВ ВРЕМЕНИ НАРАБОТКИ

Современные технические средства автоматики, телемеханики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с решаемыми ими задачами настолько усложнились, что число элементов в них в ряде случаев достигает десятков и сотен тысяч. Сложность аппаратуры диктует необходимость повышения надежности как элементов, так и устройств в целом. Для определения характеристик надежности, таких как интенсивность отказов, вероятность безотказного действия в течение заданного времени, средний срок службы, гарантийный срок службы, отвечающий гарантийной вероятности, применяют различные средства и методы сбора информации. Одним из таких методов является периодическая запись в журнале наработки или на карточках для каждого элемента [1]. Однако этот метод трудоемок, недостаточно надежен и практически не применим при наличии схем, состоящих из сотен и тысяч элементов. Наиболее прогрессивным по сравнению с методом периодической записи является сбор информации о сроках службы при помощи счетчиков машинного времени (СМВ). В большинстве своем такие счетчики представляют собой электродвигатели постоянного тока, связанные через редуктор с механическими счетчиками оборотов выходного вала. Кроме того, существуют счетчики с часовым механизмом и электроподзаводом, а также электромеханические счетчики с синхронным двигателем [2].

Перечисленные средства для определения срока службы не во всем удовлетворяют требованиям потребителей. Кроме того, электро-механические счетчики дороги, потребляют довольно значительную мощность, имеют большие габариты, что также ограничивает область их применения. Отсутствие требуемых счетчиков приводит к тому, что в каждом конкретном случае потребитель вынужден заново, и притом не всегда в технико-экономическом отношении целесообразно осуществлять оценку времени наработки аппаратуры, либо вообще отказываться от такого вида контроля.

В настоящее время необходимы СМВ, пригодные для массового производства, имеющие высокую надежность (значительно большую, чем у контролируемого оборудования), полное удовлетворяющие спрос на средства, необходимые для контроля и соответствия с ГОСТ и нормами по надежности или работоспособности различных элементов, приборов, машин и др.

В табл. 1 приведены основные требования для современных СМВ, полученные на основе данных опроса потребителей и разработчиков элементов, приборов и узлов для устройств электроники, автоматики, измерительной техники и др.

Таблица 1

Основные требования, предъявляемые СМВ

Технические характеристики	Тип счетчиков	
	встраиваемые счетчики	стационарные счетчики
Предел измерения, час	до 50.000	до 30.000
Погрешность измерения, %	от 0,5 до 4	от 0,5 до 10
Характерные диапазоны рабочих температур, °C	-50 ÷ -150 -50 ÷ +125	0 ÷ 50 -50 ÷ +50
Механические воздействия	вибрации с ускорением до 150g; удары (по различным данным) 4, 12, 35 и 150g	вибрации с ускорением от 1,0 ÷ 30g
Род питания	220/127 в, 50 гц 115 в, 100 гц 220/380 в, 50 гц	220 в, 50 гц, 127 в, 50 гц 380 в, 50, 400 гц
Объем, см ³	наименьший достижимый	обычно до 200÷300 (в отдельных случаях до 2000)

Необходимые СМВ по конструкции и габаритам могут представлять собой подобие радиотехнического компонента, легко встраиваемого в аппаратуру, либо должны быть выполнены как отдельные блоки, имеющие вместе с кожухами объемы около 200–300 см³ (в отдельных случаях допускаются объемы до 2000 см³). СМВ по возможности не должны иметь подвижных и вращающихся частей, должны быть пригодны для работы в цепях переменного и постоянного тока, а также в некоторых случаях должна быть предусмотрена возможность измерения времени работы неэлектрифицированного оборудования. Счетчики должны включаться одновременно с запуском в работу контролируемого объекта и производить отсчет суммарного времени наработки элемента и аппаратуры.

По-видимому, в большинстве случаев можно считать типичными следующие диапазоны рабочих температур для СМВ:

для лабораторных измерений – 15 ÷ +25 °C;

для стационарной аппаратуры, работающей в отапливаемых помещениях – 10 ÷ –50 °C;

для аппаратуры, работающей в неотапливаемых помещениях – 20 ÷ +50 °C.

Вибро- и ударостойкость, требуемая для счетчиков, в большинстве случаев составляет: вибрации с ускорениями от 1_g до 30_g и с частотой от 60 до 300 $гц$ (в отдельных случаях до 2500 $гц$); многократные удары $-4:35$ (150_g) длительностью $5-100$ $мксек$, относительная влажность до 80—98% при температуре $-40:50^\circ C$. Желательная наибольшая стоимость счетчика по данным опроса колеблется от 20 до 50 рублей. СМВ для многих из указанных назначений и удовлетворяющие большинству поставленных требований, могут быть построены на основе электролитических интеграторных элементов, представляющих собой герметические изоляционные (стеклянные или пластмассовые) ампулы (корпуса) с встроенными в них электродами.

В электролитических интеграторных элементах применяются два основных типа электрохимических систем [3—5]:

1) обратимые окислительно-восстановительные системы с инертными электродами;

2) обратимые и необратимые окислительно-восстановительные системы с электрохимически активными (не инертными) электродами.

В этих последних системах эффектом, используемым для преобразования, является либо изменение массы электрода за счет переноса, либо изменение концентрации компонентов электролита за счет катодного осаждения или анодного растворения. Соответственно выходными физическими величинами служат (в различных случаях): изменение геометрических размеров электродов, изменение электропроводности электролитической ячейки (для переменного тока) или возникновение концентрационной э. д. с. электролитической ячейки с электродами из двух различных металлов.

Принцип действия электролитических интеграторных элементов, используемых в счетчиках машинного времени, основан на явлении электролиза.

На аноде при прохождении тока I_a происходит процесс окисления



а на катоде — восстановление металла



В качестве электролита в "твердофазных" элементах могут использоваться соли ртути (ртутные счетчики) или растворы медных солей (медные счетчики). Масса вещества, растворенного или осажденного на электродах:

$$m_x = \frac{M}{nF} \gamma \int_0^t i_{bx}(t) dt, \quad (3)$$

где M — молекулярный (или атомный) вес вещества, γ — коэффициент выхода по току (в используемых системах, близкий к единице), F — число Фарадея, n — валентность, t — время.

В качестве выходной величины обычно используется положение границы раздела электрод-раствор. Корпусу элемента на участке, где происходит считывание, придается форма капилляра. Такие „капиллярные“ элементы отличаются наибольшей простотой, надежностью и дешевизной, особенно при визуальном отсчете.

Приращение длины катода пропорционально времени работы и плотности тока [6, 7]:

$$\Delta l = \frac{k_{\text{э.в.}}}{\rho} \cdot \frac{I}{s} \cdot t, \quad (1)$$

где s — площадь поперечного сечения капилляра, см^2 ; ρ — плотность металла электрода, г/см^3 ; I — ток, а: $k_{\text{э.в.}}$ — электрохимический эквивалент вещества, $\text{г/а} \cdot \text{сек}$.

При $I = \text{const}$ по приращению длины катода можно судить о протекшем времени. Основное соотношение, позволяющее определять время работы интеграторного элемента счетчика в часах, имеет вид [8]:

$$t = \frac{900 \pi d^2 \rho}{k_{\text{э.в.}}} \cdot \left(\frac{U}{R_{\text{огр}}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_{\text{вн}}}{R_{\text{огр}}}} \right)^{-1}; \quad (5)$$

$$R_{\text{вн}} = R_{\text{сч. в}} (1 + \alpha_1 \Delta t^0 + \alpha_2 \Delta I) + \Delta R_{\text{сч}}, \quad (6)$$

где d — диаметр электрода или внутренний диаметр капилляра для ртутного счетчика, см ;

U — напряжение питания счетчика, в ;

$R_{\text{огр}}$ — ограничивающее сопротивление, включенное последовательно со счетчиком ($R_{\text{огр}} \gg R_{\text{вн}}$);

$R_{\text{сч}}$ — внутреннее сопротивление счетчика, ом ;

$\Delta R_{\text{сч}}$ — изменение внутреннего сопротивления счетчика за счет изменения состава электролита в процессе работы, ом ;

Δt^0 — изменение температуры, $^{\circ}\text{C}$;

ΔI — изменение тока через счетчик по отношению к значению тока, при котором определялась величина $R_{\text{сч. в}}$, а;

α_1 — температурный коэффициент изменения сопротивления электролита, $^{\circ}\text{град}^{-1}$;

α_2 — коэффициент изменения сопротивления электрохимической реакции на электродах счетчика при изменении величины пропускаемого через него тока, ом/а^{-1} .

На рис. 1 показана принципиальная схема включения такого счетчика. Максимальное время измерения зависит от допустимого значения тока и от длины капилляра. Счетчики калибруются на заданный интервал времени посредством подбора сопротивления $R_{\text{огр}}$. Так как при колебаниях температуры возникает заметное изменение $R_{\text{сч}}$, то последовательно включенное со счетчиком добавочное сопротивление, значительно большее, чем $R_{\text{сч}}$, способствует также и уменьшению погрешности. Если же входное напряжение невелико, то до-

полнительное сопротивление должно иметь температурный коэффициент, обратный по знаку, чем у $R_{сч}$.

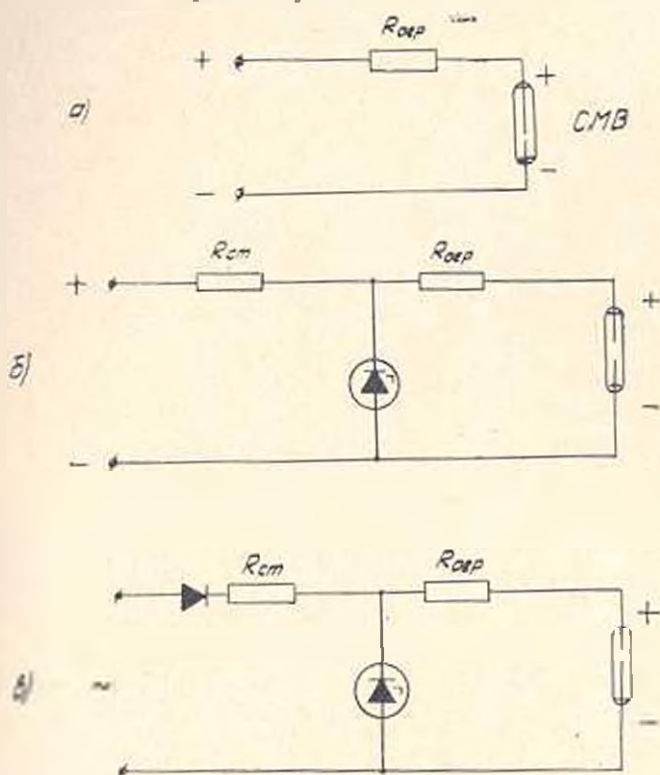


Рис. 1. Схемы включения СМВ: а — без стабилизации питающего напряжения, б — со стабилизацией питающего напряжения, в — для переменного питающего напряжения со стабилизацией).

В табл. 2 приведены основные характеристики образцов ртутных и медных счетчиков.

По исполнению известные типы электрохимических счетчиков можно разделить на четыре характерные группы:

1) счетчики-вставки в виде патрона с непосредственно нанесенной на них шкалой для визуального отсчета (по виду и способу крепления в аппаратуре сходны с плавкими предохранителями);

2) счетчики сходной конструкции, но снабженные выподами и распаяваемые в схемах внутри аппаратуры аналогично резисторам;

3) счетчики по п. 1 в корпусе в сочетании с дополнительными компонентами: резисторами, полупроводниковыми диодами и т. п. и со шкалой, нанесенной либо на патроне, либо на корпусе. В отличие от первых, счетчики этого типа устанавливаются на панелях приборов и т. п.;

4) счетчики, состоящие из электрохимической ячейки и электро-механического счетчика числа импульсов (9, 10).

По способу отсчета различают счетчики с визуальным отсчетом

[10], с электрическим считыванием [11] со считыванием результатов по сопротивлению и др.

Кроме медных и ртутных счетчиков, известны элементы, могущие работать как СМВ, в которых применяются обратимые окислительно-восстановительные системы, в частности, система иод-иодид. Отсчет прошедшего количества электричества в таких элементах может производиться двумя способами:

1) по изменению окраски или оптической плотности электролита при прохождении тока (система иод-иодид);

2) по изменению концентрационной э. д. с. на электродах элемента. Несмотря на ряд положительных особенностей элементов этого типа их использование в качестве СМВ исследовано еще недостаточно.

Таблица 2

Основные характеристики электролитических счетчиков

Технические характеристики	Типы счетчиков	
	ртутные	медные
Предел измерения, час	500; 1000; 3000; 10.000; 25.000	250; 500; 1000; 2000; 5000; 10.000
Погрешность измерения, %	0,5; 1; 2; 3; 6	± 5 , ± 10 , ± 20
Характерные диапазоны рабочих температур, °C	-30÷+10; -30÷+100 -20÷+25; -30÷+75	0÷+60
Механические воздействия	Удар до 30g (с частотой 11 мсек), 50g. Вибрация с ускорением 15g	Удар 15g Вибрация с ускорением 25g
Род питания	100—140 в (60, 400 гц); перем. ток 50 гц; пост. ток 1,5÷4 в	Постоянный ток
Объем	от 0,5 до 91 см ³	от 1,0 до 22,0 см ³
Вес	от 2 г до 233 г	от 2,5 г до 6 г
Потребляемая мощность	несколько мЛ. вт	несколько мЛ. вт

Необходимо обратить внимание также на возможность использования в качестве СМВ элементов, в которых эффектом, используемым для преобразования, является образование, выделение и поглощение газовой фазы в результате электродных процессов. Такой счетчик выпускается, например, Ленинградским электромеханическим заводом — водородный электролитический интегратор типа Х603 [12].

Сравнение известных электрохимических счетчиков с электромеханическими, выпускаемыми в настоящее время у нас и за рубежом, можно провести путем сопоставления характерных данных, приведенных в таблицах 2 и 3.

Сопоставление примерных пределов достигнутых значений по четырем основным параметрам для электрохимических и электромеханических элементов дапо на рис. 2. Там же для сравнения указаны пределы желательных значений.

Наиболее экономичным путем, имея и виду большие потребности в таких счетчиках, является разработка нескольких типов приборов, в наибольшей степени удовлетворяющих требованиям, предъявляемым для типичных областей их применения: малогабаритные счетчики, встраиваемые в аппаратуру, малогабаритные блоки счетчиков для установки как вне корпусов испытываемых приборов, так и для встраи-

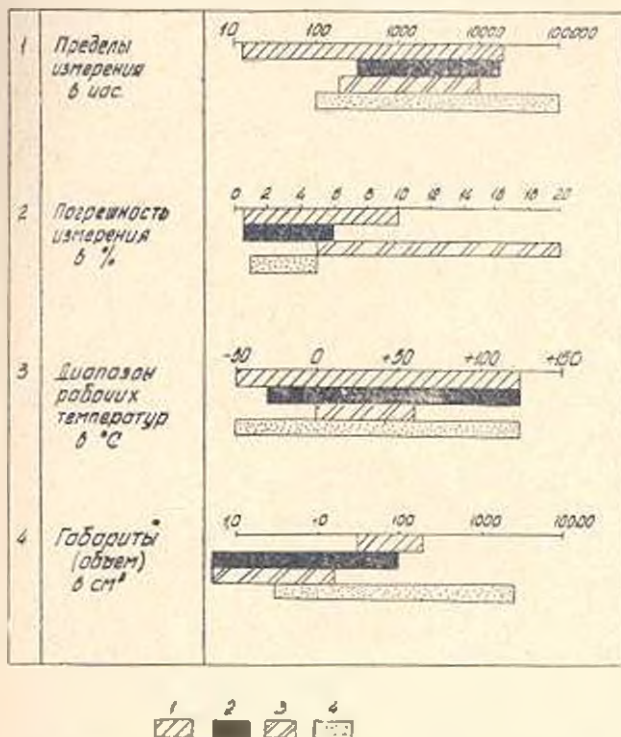


Рис. 2. 1 — гребусые СМВ, 2 — электрохимические СМВ (ртутные), 3 — электрохимические СМВ (медные), 4 — электромеханические СМВ.

вания в них, универсальные устройства, предназначенные не только для учета времени наработки приборов и устройств специального назначения, но и имеющие приставку для использования в качестве программирующего устройства. Такие устройства могут служить для определения продолжительности технологических процессов, а также физических процессов и химических явлений.

СМВ для многих назначений могут быть построены на основе электрохимических элементов. По величинам токов потребляемой мощности, пригодности для работы с датчиками с малым выходным

Таблица 3

Основные характеристики электромеханических счетчиков

Технические характеристики	Стационарные счетчики	Встраиваемые
Предел измерения, <i>чис</i>	от 240 до 100.000	от 100 до 100.000
Погрешности измерения, %	1÷2	1÷5
Характерные диапазоны рабочих температур, °С	0÷50 -40 до +50	-10 до +70 -20 до +55 -54 до +125
Механические воздействия	вибрация с ускорением до 4 <i>г</i> ; удар до 8 <i>г</i>	вибрация с ускорением до 20 <i>г</i> ; удар до 50 <i>г</i>
Род питания	(110) 220, 380 в, 50—60, 400 <i>Гц</i> пост. ток: 6, 12, 24, 110 в	115 в 400 <i>Гц</i> и пост. ток разл. велич. (28 в, 3 в и др.)
Объем, <i>см</i> ³	от 200 до 4850	от 4,35 до 680
Вес, <i>кг</i>	от 0,2 до 24	от 0,021 <i>кг</i> до 0,85 <i>кг</i>
Потребляемая мощность	до 200 <i>Вт</i>	от 0,5 до 3 <i>Вт</i>

напряжением, габаритам электрохимические элементы имеют явные преимущества. Эти преимущества и особые свойства обеспечивают их промышленное применение.

Поступило 17.1.1967.

Է. Վ. ԴԱՋԱՐՅԱՆ, Ա. Պ. ՇՈՐՅԻՆ

ԱՇԽԱՏԱԲԱՄԱՆԱԿԻ ԷԼԵԿՏՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՀԱՇՎԻՉՆԵՐԻ ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա. մ փ ո փ ո լ մ

Ավտոմատիկայի, ասպիդեյկարոնիկայի և շափողական տեխնիկայի ժամանակակից ապարատների հուսալիությունը ներկայացվող պահանջների աճը թիվադրում է մեկնայի ժամանակի պարզ, փոքր դարարիտի հաշվիչների (СМВ) ստեղծման անհրաժեշտությունը, հաշվիչներ, որոնք մեկնայի աշխատածամանակի վերաբերյալ հուսալի փնտկապրական տվյալներ ստանալու հնարավորություն կընձևոնեն:

Հողվածում բերված են աշղպիտի հաշվիչներին ներկայացվող հիմնական պահանջները և կատարված է էլեկտրամեխանիկական ու էլեկտրաքիմիական հաշվիչների հայրենական ու արտասահմանյան հանրահայտ նմուշների համեմատություն:

Նշվում է, որ բոտ ծախսվող հղորություն մեծություն և փոքր ելքի լարման ու գարարիտի սվիչների հետ աշխատելու պիտանկիության լավագույնն են հանդիսանում էլեկտրաքիմիական հաշվիչները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ллойд, Давид К. Надежность. Изд. „Советское радио“, 1961.
2. Архаров А. М., Миронов Г. Г. Автоматический учет работы машин. Машинизм 1957.
3. Шорыгин А. П. Электрохимические элементы. Энциклопедия измерений, контроля и автоматизации. Изд. „Энергия“, вып. 8, 1967.
4. Шорыгин А. П. Электрохимические элементы. Журн. „Автоматика и телемеханика“, № 8, 1966.
5. Куликов П. Н., Ефанов Л. Н. Способ индикации срока службы электрорадиоаппаратуры. Известия СО АН СССР. Серия технических наук. Вып. 1. № 2, 1965.
6. Воронков Г. Я., Гуревич Б. М., Федорин В. А. Хемотронные устройства. М., 1965.
7. Боровков, Графов Б. М. и др. Электрохимические преобразователи информации. Изд. „Наука“, 1966.
8. Трейер В. В. Электрохимические счетчики машинного времени. Характеристики и применение. Энциклопедия измерений, контроля и автоматизации. Изд. „Энергия“, вып. 8, 1967.
9. Индахрон — новый миниатюрный измеритель интервалов времени. Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике, № 6, 1962 (пер. с англ.).
10. Kityluk W. Elapsed time indicators and their applications. Process control and Automation, 1964, v. 11, № 1, January, p. 9—15.
11. Интегратор с визуальным и электрическим выходом, обладающий неограниченно долгой памятью. Журн. „Электроника“, № 7, 1966.
12. Водородный электрохимический интегратор типа Х603. Каталог ЛЭМЗ. Минприбор.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Р. Е. АКОПЯН, Г. Н. ТЕР-ГАЗАРЯН

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКОВ В СТЕРЖНЯХ УСПОКОИТЕЛЬНЫХ
ОБМОТОК ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Измерение токов в успокоительных обмотках гидрогенераторов производится в основном с помощью магнитных поясов (поясков Роговского). Пояски Роговского, как правило, не могут быть установлены на эксплуатируемых генераторах. Для их установки требуется специальная вырубка в полюсе, которая может быть осуществлена лишь на специальных полюсах, предназначенных для установки датчиков. Кроме того, с помощью поясков Роговского замеряется непосредственно не ток, а его производная. Это вызывает осложнения при определении тока, особенно, если он имеет несинусоидальную форму.

В статье обосновывается целесообразность измерения токов в успокоительных обмотках гидрогенераторов датчиками Холла. В качестве материалов для датчиков Холла практически используются германий, кремний, селенид и теллурид ртути, мышьяковистый и сурьмянистый индий и т. д. [1].

Достоинство датчиков Холла особенно проявляется при измерении несинусоидальных токов. Если при обычных индукционных методах исследуемая кривая сначала дифференцируется, а потом должна интегрироваться, то использование датчиков Холла позволяет сразу получать с достаточной точностью кривую тока [2].

Разработанная схема импульсного питания датчиков Холла приведена на рис. 1. Схема предусматривает возможность работы при двух датчиках, но может быть использована и при одном датчике.

Данная схема работает следующим образом. Нажатием кнопки K_d производится разряд конденсатора C_1 и получаемый при этом импульс запускает одновибратор, собранный на транзисторах T_1 и T_2 . Последний выдает прямоугольный импульс, длительность которого можно изменить регулируемым сопротивлением R_6 . Импульс поступает на базу транзистора T_3 , последний открываясь, заставляет срабатывать промежуточное реле P_1 , нормально открытый контакт которого находится в цепи питания реле P_2 . Необходимая амплитуда управляющего тока данной длительности через датчики Холла обеспечивается на это время подключением их к высоковольтному

источнику постоянного тока через контакты реле Р2, которые замыкаются при срабатывании реле Р1. Для выравнивания вольтовых чувствительностей датчиков Холла предусмотрена возможность стац-

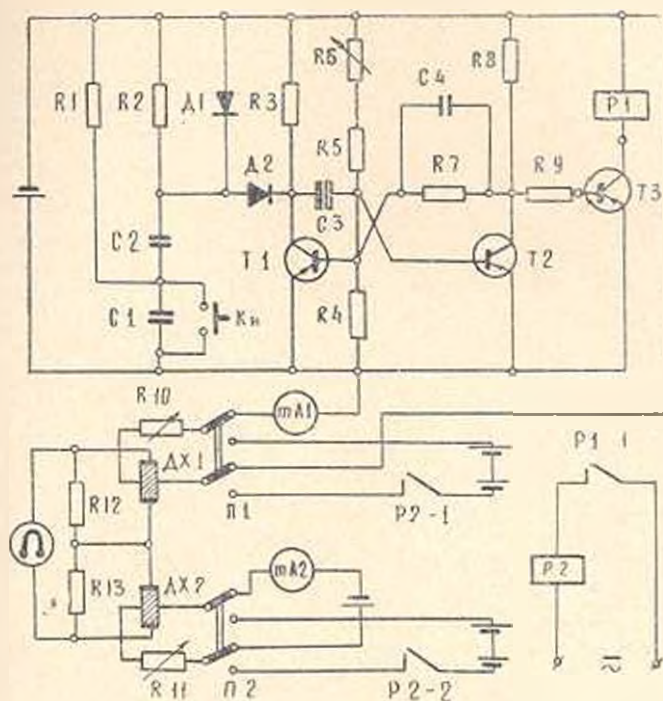


Рис. 1. Схема импульсного питания датчиков Холла.

нарного питания на время их подгонки от низковольтного источника постоянного тока при помощи переключателей П1 и П2. Вольтовые чувствительности выравниваются при помощи регулируемых сопротивлений R10 и R11, включенных в токовые цепи датчиков Холла. Выходы датчиков Холла, суммируясь на сопротивлениях R12 и R13, подаются на осциллограф.

На рис. 2 приведены графики зависимости напряжения Холла от тока в стержне для $t_y = 20$ мс и $t_y = 125$ мс, показывающие значительную эффективность импульсного питания датчиков повышенным током управления.

На рис. 3 приведены осциллограммы напряжений Холла при различных значениях тока в стержне успокоительной обмотки и при $t_y = 125$ мс, свидетельствующие о возможности достаточно точных измерений даже небольших токов в стержнях порядка 250 ампер.

Для измерений тока в стержнях успокоительной обмотки датчики Холла закрепляются в зазорах ферромагнитного магнитопровода, охватывающего стержень и состоящего из двух половинок, каждая из которых заключена в соответствующую обойму (рис. 4). Такой магнитопровод легко устанавливается на стержень успокоительной

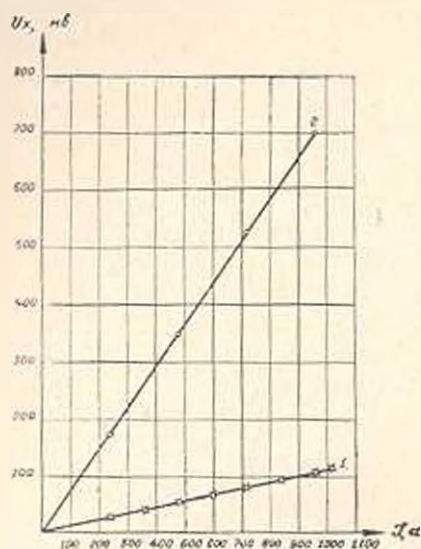


Рис. 2. Графики зависимости напряжения Холла от тока и стержня при $I_y = 20$ мА (кривая 1) и $I_y = 125$ мА (кривая 2).

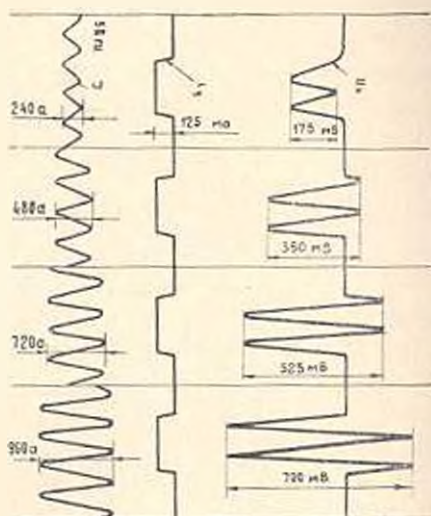


Рис. 3. Осциллограммы напряжений Холла при различных значениях тока в стержне и при $I_y = 125$ мА.

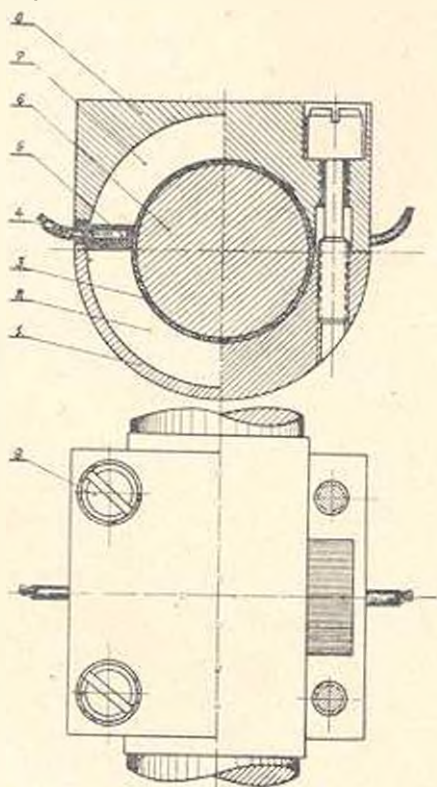


Рис. 4. Эскиз магнитопровода: 1 — нижняя обойма; 2 — нижняя половина магнитопровода; 3 — изоляция; 4 — компунд; 5 — датчик Холла; 6 — стержень успокоительной обмотки; 7 — верхняя половина магнитопровода; 8 — верхняя обойма; 9 — винт.

обмотки. Помещая в каждый из двух его воздушных зазоров по одному датчику Холла, покрытых слоем компаунда и соединив эти датчики так, чтобы влияние внешних полей взаимно компенсировалось (рис. 5), получим схему практически свободную от влияния внешних полей и независимую от положения датчиков относительно стержня [1]. Обоймы магнитопровода затягиваются винтами, а выводы датчиков по экранированным проводам через токоъемный контакт подаются на измерительную схему. Датчики Холла подбираются в соответствии с рабочей температурой в машине, верхний предел которой обычно не превышает $150-200^\circ\text{C}$. Этим требованиям отвечают кремниевые датчики Холла, рабочий диапазон температуры которых находится на уровне $150-200^\circ\text{C}$. Величина индукции в магнитопроводе может регулироваться его воздушным зазором. Этой регулировкой должна быть обеспечена линейность кривой намагничивания во всем диапазоне измеряемых токов, так как только при этом сигнал на выходе датчика Холла будет линейно зависеть от величины тока в стержне.

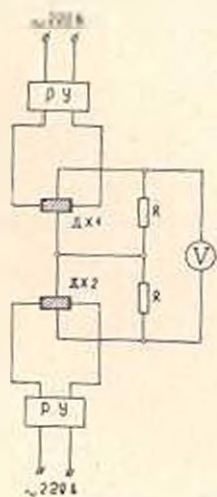


Рис. 5. Схема стационарного питания с двумя датчиками Холла.

Расширение пределов линейной характеристики магнитопровода может быть достигнуто применением материала с большой начальной проницаемостью и другого — с большой индукцией насыщения. Пластины из этих материалов нужно чередовать в наборе. Экспериментально было установлено, что хорошие результаты можно получить, сочетая два материала: пермаллой марки 79НМ и сталь Э44 в пропорции 1:4. При малых токах ход кривой намагничивания определяется пермаллоем марки 79НМ, имеющим высокую начальную проницаемость, а при больших значениях тока ход этой кривой намагничивания определяется сталью Э44.

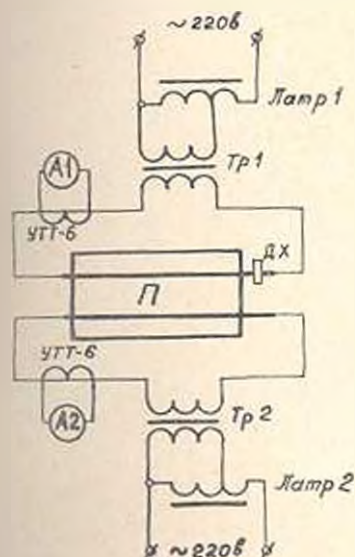


Рис. 6. Схема макетной установки.

Для измерения тока в стержне успокоительной обмотки при помощи датчиков Холла была использована макетная установка (рис. 6), собранная на базе полюса демонтированного гидрогенератора Ереванской ГЭС с диаметром стержня успокоительной обмотки 16 мм.

Действующее значение синусоидального тока в двух стержнях успокоительной обмотки менялось от 0 до 1000 а посредством транс-

форматоров Тр 1 и Тр 2 ($\omega_1 = 240$ вит., $I_1 = 4,5$ а; $\omega_2 = 1$ вит., $I_2 = 1080$ а). Токи измерялись через трансформаторы тока типа УТТ-6 и амперметры Э-59.

Для опытов были использованы германиевые датчики Холла, имеющие следующие параметры:

геометрические размеры в мм — $5 \times 3 \times 0,3$;

входное и выходное сопротивление в ом — 55;

мощность рассеивания датчика в воздухе при температуре 18°C в ат — 0,1.

Датчики Холла, включенные по схеме, приведенной на рис. 5, устанавливаются в воздушные зазоры магнитопровода (эскиз см. на рис. 4), величина каждого из зазоров равна $\frac{\delta}{2} = 2$ мм. Напряжение

Холла измерялось вольтмиллиамперметром электронной системы типа Ф-506 при пропускании через датчики Холла постоянного тока $I_H = 20$ мА и при различных значениях тока в стержне успокоительной обмотки. Снижение управляющих токов вызывает уменьшение э. д. с. Холла, однако коэффициент запаса был необходим для исключения возможности перегрева пластины.

Управляющие электроды датчиков Холла питались через регулировочные устройства от сети переменного тока 220 в, 50 гц. РВ обеспечивает хорошее выпрямление и плавное регулирование управляющих токов датчиков. Каждый из токов регулировался независимо, чтобы можно было обеспечить равенство вольтовых чувствительностей первого и второго датчиков Холла.

Измерения проводились при температуре окружающей среды 20°C . Результаты исследований приведены на рис. 2 (кривая 1, значения напряжений Холла обозначены кружками).

Затем было рассмотрено влияние на показания датчиков Холла магнитного поля соседнего стержня успокоительной обмотки, через который пропускался синусоидальный ток от 0 до 1000 а посредством трансформатора Тр 2. Датчики Холла были включены по описанной выше схеме. Напряжение Холла измерялось вольтмиллиамперметром электронной системы типа Ф-506 при различных значениях токов в стержнях успокоительной обмотки. Результаты измерений приведены на рис. 2 (кривая 1, значения напряжений Холла обозначены крестиками). Петрудно заметить, что влияние магнитного поля соседнего стержня успокоительной обмотки при включении датчика Холла по схеме, приведенной на рис. 5, практически отсутствует.

Было проведено также измерение тока в стержне успокоительной обмотки при помощи схемы импульсного питания датчиков Холла (рис. 1). Датчики Холла были установлены в воздушных зазорах магнитопровода (рис. 4), величина каждого из зазоров которого равна $\frac{\delta}{2} = 2$ мм. Общее выходное напряжение подавалось на осцилло-

граф типа К 105 при пропускании через датчики одиночных импульсов постоянного тока амплитудой 125 мА и длительностью 40 мсек. Через стержень успокоительной обмотки пропускался синусоидальный ток от 0 до 1000 А согласно рис. 6. По осциллограммам построен график зависимости $U_x = f(I)$, приведенный на рис. 2 (кривая 2). Сопоставляя кривые 1 и 2 на рис. 2, видим, что вольтовая чувствительность датчика Холла, включенного по схеме согласно рис. 5 равна 0,1 мВ/А; при импульсном питании датчика — 1,4÷1,5 мВ/А. Это значение можно увеличить регулировкой амплитуды импульсного тока и длительности.

Результаты испытаний показали, что применение датчиков Холла существенно облегчает производство измерений токов в стержневых успокоительных обмотках гидрогенераторов и дает возможность повысить их точность.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 18.XI.1967.

Н. Б. ՄԱՐԿՅԱՆ, Կ. Ն. ՏԵՐ-ՂԱԶԱՐՅԱՆ

ԿՈՄԼԵԱՂԱՐԿԻՉՆԵՐՈՒՄ ԱՌԱՋԱՑՈՂ ՀՈՒՐ ԷՖԵԿՏԻ ԿՐԻԱՌՈՒՄԸ
ԶԵՐՈՒՄԵՆԵՐԱՏՈՐԱԴՐԻ ՀԱՆԳՈՏԱՑՆՈՂ ՓԱԹՈՒՅԹՆԵՐԻ ԶՈՂԵՐՈՒՄ
ՀՈՍԱՆՔԻ ԶԱՓԵԱՆ ՀԱՄԱՐ

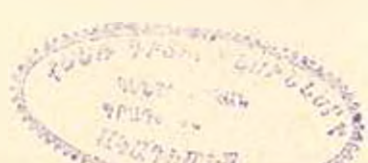
Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Վ

Հիդրոգեներատորի հանդուստացնող փաթույթի ձողերով անցնող հոսանքի չափման համար օգտագործվում է Հոլլի ափիչը, որը մագնիսական դաշտ (Ռո-գովակու դաշտիկի) հետ համեմատած սեղի մի շարք առաջնություններ:

Հոլլի ափիչի վերադասին ղգաչնությունը բարձրացնելու համար առաջարկվում է նրա սնման իմպուլսային ախմատ Դիոդում են էրապերիմենտալ հետա-դաշտությունների արդյունքները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Жуков В. П. Применение эффекта Холла в полупроводниках. Тр. конференции "Применение полупроводников в приборостроении". М., 1958.
2. Богомолов В. Н. Устройства с датчиками Холла и датчиками магнитосопротивления. М.—Л., 1961.



В. С. ХАЧАТРЯН

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ОТ ПОТЕРЬ МОЩНОСТЕЙ ПО МОЩНОСТЯМ ОТДЕЛЬНЫХ СТАЦИОННЫХ УЗЛОВ

Рассматривается схема замещения энергосистемы, состоящей из стационарных и нагрузочных узлов. Для стационарных узлов принимается следующая система индексов:

$m(n) = 1, 2, 3, \dots, \Gamma$, где Γ — число стационарных узлов.

Предполагается наличие еще одного мощного стационарного узла, который не входит в состав данной системы индексов и который в дальнейшем будет называться балансирующим.

Для нагрузочных узлов:

$k(g) = \Gamma + 1, \Gamma + 2, \Gamma + 3, \dots, \Gamma + N$, где N — число нагрузочных узлов.

Для произвольных узлов:

$i(j) = 1, 2, 3, \dots, \Gamma, \Gamma + 1, \dots, \Gamma + N = M$.

Каждый узел характеризуется четырьмя переменными величинами, называемыми параметрами электрических режимов: активные и реактивные мощности ($P_{m(i,k)}$, $Q_{m(i,k)}$), модули и фазы напряжений ($U_{m(i,k)}$, $\varphi_{m(i,k)}$). Однако в качестве исходной информации задаются для каждого узла лишь два параметра электрических режимов, а другие — определяются после установления нормального режима. В зависимости от типа заданной исходной информации отличаются следующие узлы. В энергосистеме в одном стационарном (обычно мощном) узле считаются заданными модуль и фаза напряжения, и он является зависимым узлом, который выбирается в качестве балансирующего. Для стационарных узлов задаются активные мощности и модули напряжения, а нагрузочных — активные и реактивные мощности. Во многих случаях как стационарных, так и для нагрузочных узлов, считаются заданными активные и реактивные мощности. Таким образом, для каждого узла существуют два параметра электрических режимов, которые подлежат варьированию.

Необходимо определить частные производные от потерь активных и реактивных мощностей по активным и реактивным мощностям отдельных стационарных узлов.

Основные уравнения

Уравнение установившегося режима электрической сети в матричной форме записывается:

$$\dot{U}_i - \dot{U}_b = Z_{ij} I_j, \quad (1)$$

где $\dot{U} - U_b$ — многомерный вектор узловых комплексных напряжений относительно напряжения базисного узла ($\dot{U}_b = U_b$);

I — многомерный вектор узловых комплексных токов за исключением тока базисного узла;

Z_{ij} — неособенная матрица узловых комплексных сопротивлений.

Матричное уравнение (1) представим в следующем виде:

$$\dot{U}_i = U_b + Z_{ij} I_j. \quad (2)$$

Умножая обе части матричного уравнения (2) на сопряженное значение узлового комплексного тока I_i и разлагая на действительные и мнимые части, получим значения узловых активных и реактивных мощностей

$$P_i = U_b \cdot I_{ai} + \sum_{j=1}^n [(I_{ai} I_{aj} + I_{pi} I_{pj}) R_{ij} - (I_{ai} I_{pj} - I_{pi} I_{aj}) X_{ij}]; \quad (3)$$

$$Q_i = -U_b I_{pi} + \sum_{j=1}^n [(I_{ai} I_{aj} + I_{pi} I_{pj}) X_{ij} + (I_{ai} I_{pj} - I_{pi} I_{aj}) R_{ij}].$$

Активные и реактивные мощности базисного узла при поддержании постоянства модуля и фазы напряжения определяются из системы

$$P_b = -U_b I_{bi}; \quad (4)$$

$$Q_b = U_b I_{pi}.$$

Здесь I_{ai} , I_{pi} — активные и реактивные составляющие комплексного тока базисного узла.

Уравнения (3) и (4) позволяют определить потери активных Π_a и реактивных Π_p мощностей

$$\Pi_a = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (I_{ai} I_{aj} + I_{pi} I_{pj}) R_{ij}; \quad (5)$$

$$\Pi_p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (I_{ai} I_{aj} - I_{pi} I_{pj}) X_{ij}. \quad (6)$$

Таким образом, потери активной и реактивной мощностей представляются квадратичной формой от активных и реактивных составляющих узлов комплексных токов.

Имея в виду, что

$$I_{ai} = \frac{1}{U_i} (P_i \cos \Psi_i - Q_i \sin \Psi_i);$$

$$I_{pi} = \frac{1}{U_i} (P_i \sin \Psi_i - Q_i \cos \Psi_i);$$

(5) и (6) можем представить в виде

$$\Pi_a = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \left| P_i \left(\frac{R_{ij}}{U_i U_j} \cdot \frac{\cos \theta_{ij}}{\cos \varphi_i \cos \varphi_j} \right) P_j \right|; \quad (7)$$

$$\Pi_p = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \left| Q_i \left(\frac{X_{ij}}{U_i U_j} \cdot \frac{\cos \theta_{ij}}{\sin \varphi_i \sin \varphi_j} \right) Q_j \right|. \quad (8)$$

Здесь

$$\theta_{ij} = \varphi_{ij} - \Psi_i; \quad \varphi_{ij} = \varphi_i - \varphi_j$$

$$\Psi_{ij} = \Psi_i - \Psi_j; \quad \varphi_{i(j)} = \arctg \frac{Q_{i(j)}}{P_{i(j)}}.$$

Таким образом, если представить выражения потерь активной и реактивной мощностей, как неявные функции, получим

$$\Pi_a = \Pi_a(P_i, Q_i, U_i, \Psi_i); \quad (9)$$

$$\Pi_p = \Pi_p(P_i, Q_i, U_i, \Psi_i). \quad (10)$$

Искомые частные производные $\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_i}$, $\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_i}$, $\frac{\partial \Pi_p}{\partial P_i}$ и $\frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_i}$ являются функциями от следующих частных производных, вытекающих из зависимости параметров электрических режимов:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_a}{\partial P_i} &= \left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_i} \right) + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_j} \cdot \frac{\partial Q_j}{\partial P_i} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_a}{\partial U_j} \cdot \frac{\partial U_j}{\partial P_i} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_a}{\partial \Psi_j} \cdot \frac{\partial \Psi_j}{\partial P_i}, \\ \frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_i} &= \left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_i} \right) + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_a}{\partial P_j} \cdot \frac{\partial P_j}{\partial Q_i} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_a}{\partial U_j} \cdot \frac{\partial U_j}{\partial Q_i} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_a}{\partial \Psi_j} \cdot \frac{\partial \Psi_j}{\partial Q_i}, \\ \frac{\partial \Pi_p}{\partial P_i} &= \left(\frac{\partial \Pi_p}{\partial P_i} \right) + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_j} \cdot \frac{\partial Q_j}{\partial P_i} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_p}{\partial U_j} \cdot \frac{\partial U_j}{\partial P_i} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_j} \cdot \frac{\partial \Psi_j}{\partial P_i}, \\ \frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_i} &= \left(\frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_i} \right) + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_p}{\partial P_j} \cdot \frac{\partial P_j}{\partial Q_i} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_p}{\partial U_j} \cdot \frac{\partial U_j}{\partial Q_i} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_j} \cdot \frac{\partial \Psi_j}{\partial Q_i}. \end{aligned} \quad (11)$$

Выражения (11) соответствуют случаю, когда приращение активной и реактивной мощностей в каком-либо узле приводит к новому режиму, т. е. к изменению параметров электрических режимов всех узлов. Однако, исходя из заданной информации, вышеуказанные формулы примут следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_a}{\partial P_m} &= \left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_m} \right) + \sum_{k=1}^r \frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_k} \cdot \frac{\partial Q_k}{\partial P_m} + \sum_{k=r+1}^{r+N} \frac{\partial \Pi_a}{\partial U_k} \cdot \frac{\partial U_k}{\partial P_m} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_a}{\partial \Psi_j} \cdot \frac{\partial \Psi_j}{\partial P_m}, \\ \frac{\partial \Pi_p}{\partial P_m} &= \left(\frac{\partial \Pi_p}{\partial P_m} \right) + \sum_{k=1}^r \frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_k} \cdot \frac{\partial Q_k}{\partial P_m} + \sum_{k=r+1}^{r+N} \frac{\partial \Pi_p}{\partial U_k} \cdot \frac{\partial U_k}{\partial P_m} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_j} \cdot \frac{\partial \Psi_j}{\partial P_m}, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_m} = \left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_m} \right) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial \Pi_a}{\partial U_j} \cdot \frac{\partial U_j}{\partial Q_m} + \sum_{j=1}^n \frac{\partial \Pi_a}{\partial \Psi_j} \cdot \frac{\partial \Psi_j}{\partial Q_m};$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_m} = \left(\frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_m} \right) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial \Pi_p}{\partial U_j} \cdot \frac{\partial U_j}{\partial Q_m} + \sum_{j=1}^n \frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_j} \cdot \frac{\partial \Psi_j}{\partial Q_m}.$$

Следует отметить, что частные производные, определяемые по последним двум формулам (12), получены в [1, 2], поэтому они не рассматриваются в дальнейшем.

Частные производные, взятые от потерь активных и реактивных мощностей по узловым параметрам электрических режимов, определяются непосредственно из аналитических выражений (7) и (8):

$$\left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_m} \right) = \frac{2}{U_m} \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{U_j \cos \varphi_j} R_{mj} \cos \theta_{jm};$$

$$\left(\frac{\partial \Pi_p}{\partial P_m} \right) = \frac{2}{U_m} \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{U_j \sin \varphi_j} X_{mj} \cos \theta_{jm};$$

$$\left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_m} \right) = \frac{2}{U_m} \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{U_j \cos \varphi_j} R_{mj} \sin \theta_{jm};$$

$$\left(\frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_m} \right) = \frac{1}{U_m} \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{U_j \sin \varphi_j} X_{mj} \sin \theta_{jm};$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_k} = \frac{2}{U_n} \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{U_j \cos \varphi_j} R_{mj} \sin \theta_{jk};$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_n} = \frac{1}{U_n} \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{U_j \sin \varphi_j} R_{mj} \sin \theta_{jk};$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial U_k} = - \frac{2 P_k}{U_k \cos \varphi_k} \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{U_i \cos \varphi_i} R_{ki} \cos \theta_{ki};$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial U_k} = - \frac{2 Q_k}{U_k \sin \varphi_k} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{U_i \sin \varphi_i} X_{ki} \cos \theta_{ki};$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial \Psi_j} = \frac{2 P_j}{U_j \cos \Psi_j} \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{U_i \cos \varphi_i} R_{ji} \sin \theta_{ji};$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_j} = \frac{2 Q_j}{U_j \sin \varphi_j} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{U_i \sin \varphi_i} X_{ji} \sin \theta_{ji}.$$

При определении искоемых частных производных $\left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_m}, \frac{\partial \Pi_p}{\partial P_m} \right)$ необходимо определение частных производных типа $\frac{\partial Q_j}{\partial P_i}, \frac{\partial U_j}{\partial P_i}, \frac{\partial \Psi_j}{\partial P_i}$.

Как нетрудно заметить, из первых двух формул (12) в каждую вхо-

дят $2M$ таких частных производных. Последние типы частных производных определяются, исходя из принципа зависимости параметров электрических режимов.

В качестве уравнения связи применяется уравнение (2). Разлагая матричное уравнение (2) на действительные и мнимые части, можно определить модули и фазовые сдвиги узловых комплексных напряжений:

$$U_i^2 = |U_{\Sigma} + \sum_{j=1}^M (R_{ij}I_{aj} - X_{ij}I_{pj})|^2 + |\sum_{j=1}^M (X_{ij}I_{aj} + R_{ij}I_{pj})|^2; \quad (13)$$

$$\operatorname{tg} \Psi_i = \frac{\sum_{j=1}^M (X_{ij}I_{aj} + R_{ij}I_{pj})}{U_{\Sigma} + \sum_{j=1}^M (R_{ij}I_{aj} - X_{ij}I_{pj})}. \quad (14)$$

Подставляя значения I_{aj} , I_{pj} , уравнения (13) и (14) можно представить через узловые параметры электрических режимов:

$$U_i^2 = \left(U_{\Sigma} + \sum_{j=1}^M \frac{C_{ij}}{U_j} \right)^2 + \left(\sum_{j=1}^M \frac{d_{ij}}{U_j} \right)^2,$$

$$\operatorname{tg} \Psi_i = \frac{\sum_{j=1}^M \frac{d_{ij}}{U_j}}{U_{\Sigma} + \sum_{j=1}^M \frac{C_{ij}}{U_j}},$$

где

$$C_{ij} = P_j a_{ij} + Q_j b_{ij};$$

$$d_{ij} = P_j b_{ij} - Q_j a_{ij},$$

в которых

$$a_{ij} = R_{ij} \cos \Psi_j - X_{ij} \sin \Psi_j;$$

$$b_{ij} = R_{ij} \sin \Psi_j + X_{ij} \cos \Psi_j.$$

Представим уравнение (13) и (14) в неявной форме:

$$\begin{aligned} F_v(P_v, Q_v, U_v, \Psi_v) &= 0; \\ f_v(P_v, Q_v, U_v, \Psi_v) &= 0. \end{aligned} \quad (15)$$

Здесь $v = 1, 2, \dots, M$.

Таким образом, система уравнений (15) объединяет связи $2M$ зависимых параметров электрических режимов. Для определения частных производных типа $\frac{\partial Q_i}{\partial P_i}$, $\frac{\partial U_i}{\partial P_i}$, $\frac{\partial \Psi_i}{\partial P_i}$, пользуясь системой уравнений (15), можно составить относительно их следующие линейные уравнения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial z_i}{\partial P_i} + \sum_{j=1}^n \frac{\partial z_i}{\partial Q_j} \cdot \frac{\partial Q_j}{\partial P_i} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial z_i}{\partial U_j} \cdot \frac{\partial U_j}{\partial P_i} + \sum_{j=1}^N \frac{\partial z_i}{\partial V_j} \cdot \frac{\partial V_j}{\partial P_i} &= 0; \\ \frac{\partial f_i}{\partial P_i} + \sum_{j=1}^n \frac{\partial f_i}{\partial Q_j} \cdot \frac{\partial Q_j}{\partial P_i} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial f_i}{\partial U_j} \cdot \frac{\partial U_j}{\partial P_i} + \sum_{j=1}^N \frac{\partial f_i}{\partial V_j} \cdot \frac{\partial V_j}{\partial P_i} &= 0. \end{aligned} \quad (16)$$

Полученная система уравнений (16) требует корректировки, исходя из заданной информации, при которой она примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial z_i}{\partial P_m} + \sum_{j=1}^r \frac{\partial z_i}{\partial Q_j} \cdot \frac{\partial Q_j}{\partial P_m} + \sum_{k=1}^{r-n} \frac{\partial z_i}{\partial U_k} \cdot \frac{\partial U_k}{\partial P_m} + \sum_{j=1}^N \frac{\partial z_i}{\partial V_j} \cdot \frac{\partial V_j}{\partial P_m} &= 0; \\ \frac{\partial f_i}{\partial P_m} + \sum_{j=1}^r \frac{\partial f_i}{\partial Q_j} \cdot \frac{\partial Q_j}{\partial P_m} + \sum_{k=1}^{r-n} \frac{\partial f_i}{\partial U_k} \cdot \frac{\partial U_k}{\partial P_m} + \sum_{j=1}^N \frac{\partial f_i}{\partial V_j} \cdot \frac{\partial V_j}{\partial P_m} &= 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Представим систему уравнений (17) в виде матричной записи:

$$\begin{bmatrix} A_{11}(r+n, r+n) & A_{12}(r-n, r-n) \\ A_{21}(r+n, r+n) & A_{22}(r-n, r-n) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Здесь

$$\begin{aligned} A_{11}(r+n, r-n) &= \left[\frac{\partial z_i}{\partial Q_j}, \frac{\partial z_i}{\partial U_k} \right]; \quad A_{12}(r-n, r+n) = \left[\frac{\partial z_i}{\partial V_j} \right]; \\ A_{21}(r-n, r+n) &= \left[\frac{\partial f_i}{\partial Q_j}, \frac{\partial f_i}{\partial U_k} \right]; \quad A_{22}(r-n, r+n) = \left[\frac{\partial f_i}{\partial V_j} \right]; \\ t_1 &= \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_n}{\partial P_m} \\ \frac{\partial U_k}{\partial P_m} \end{bmatrix}; \quad t_2 = \begin{bmatrix} \frac{\partial V_j}{\partial P_m} \end{bmatrix}; \quad l_1 = \left[-\frac{\partial z_i}{\partial P_m} \right]; \quad l_2 = \left[-\frac{\partial f_i}{\partial P_m} \right]. \end{aligned}$$

Представление систем уравнений (17) в виде матричного уравнения (18) с разбиением матрицы коэффициентов на четыре подматрицы требуется для обеспечения необходимой точности.

После обращения матрицы коэффициентов уравнения (18) получим значения искоемых частных производных

$$\begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11}(r-n, r-n) & B_{12}(r-n, r-n) \\ B_{21}(r-n, r-n) & B_{22}(r-n, r-n) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix}, \quad (19)$$

где

$$\begin{aligned} B_{11} &= A_{11}^{-1} + A_{11}^{-1} A_{12} \cdot B_{21}; \\ B_{12} &= -A_{11}^{-1} A_{12} \cdot B_{22}; \\ B_{21} &= -B_{22} A_{22} A_{11}^{-1}; \\ B_{22} &= [A_{22} - A_{22} A_{11}^{-1} A_{12}]^{-1}. \end{aligned}$$

Следует отметить, что кроме искоемых частных производных, входя-

щих в (17), остальные частные производные, являющиеся постоянными коэффициентами для данной системы уравнений, определяются из следующих выражений:

$$\frac{\partial z_i}{\partial P_m} = \frac{2}{U_m} (U_a a_{im} + U_p b_{im});$$

$$\frac{\partial z_i}{\partial Q_n} = \frac{2}{U_n} (U_a b_{in} - U_p a_{in});$$

$$\frac{\partial z_i}{\partial U_k} = -\frac{2}{U_k^2} (U_a c_{ik} + U_p d_{ik}) - U_i [1 + (-1)^{i+k}];$$

$$\frac{\partial z_i}{\partial \Psi_j} = -\frac{2}{U_j} (U_a d_{ij} - U_p c_{ij});$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial P_m} = \frac{(U_a b_{im} - U_p a_{im})}{U_m U_a^2};$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial Q_n} = -\frac{(U_a a_{in} + U_p b_{in})}{U_n U_a^2};$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial U_k} = -\frac{(U_a d_{ik} - U_p b_{ik})}{U_k^2 U_a^2};$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial \Psi_j} = \frac{U_a c_{ij} - U_p d_{ij}}{U_j U_a^2} - \frac{1}{2 \cos^2 \Psi_j} [1 + (-1)^{i+j}].$$

После определения частных производных по матричному уравнению (19) можно определить и искомые значения частных производных.

В заключение отметим, что частные производные, определяющиеся по выражениям (11), имеют самостоятельные значения и они используются при решении разных задач, связанных с оптимизацией режимов сетей и энергосистем.

Для иллюстрации предложенного метода рассмотрим схему замещения электрической сети, состоящей из четырех узловых точек [3]. В качестве базисного узла выбран стационарный узел 4, в котором поддерживается постоянное напряжение $U_4 = 220 < 0$. Для проведения расчета по определению искомых частных производных рассмотрим следующий сетевой режим:

Узлы	Электрические параметры			
	P , мвт	Q , мвар	U , кВ	Ψ , град
ЭС-1	60,651099	30,067544	221,2000	0°29'
ЭС-2	101,848550	51,790779	222,1002	0°35'
ЭС-3	31,061316	21,273969	220,0000	0°0'
НГ-1	-189,692520	-94,946257	214,41731	-1°2'

Для данного режима искомые частные производные определяются помимо предложенного метода, методом вариации или потокораспределения [4].

Полученные результаты приведены в следующей таблице:

Узел	Предложенный метод	Метод потокораспредел.
$\frac{\partial I_a}{\partial P_1}$	0,00495339	0,00503860
$\frac{\partial P_a}{\partial P_2}$	0,00695187	0,00906173
$\frac{\partial I_p}{\partial P_3}$	0,01632058	0,01646790
$\frac{\partial I_p}{\partial P_3}$	0,02103634	0,021332250

Как нетрудно заметить, результаты предложенного метода мало отличаются от результатов, полученных с помощью расчета потокораспределения. Поэтому предложенный метод можно успешно использовать при определении приводимых выше частных производных.

Резюмируя отметим, что предложенный метод определения частных производных позволяет учитывать взаимовлияние всех параметров электрических режимов. Определение искомых частных производных для каждого режима связано с расчетом одного лишь предварительного потокораспределения с использованием матрицы с действительными элементами.

АрхИИИЭ

Поступило 30.IV.1968.

Э. В. БАДЖУКОВ

ՀՊՐՈԲՔՏՈՒՆՆԵՐԻ ՀՊՐՈԲՔՅԱՆ ԿՈՐՈՒՄՏՆԵՐԻ ՄԱՍՆԱԿԻ ԱՅՈՆՅԱՆՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԱՂՊՐԻՒՄ ԸՍՏ ՍԻՆԱՋՈՒ ԿԱՅԱՆՆԵՐԻ

Ա Վ Փ Ո Վ Ո Ւ Մ

Հոգաճը նվիրված է հզորության կորուստների ածանցյալների որոշմանը ըստ առանձին կայանների հզորությունների:

Ստացվում են հիմնական բաժանման և հավասարումներ, որոնք ներառվում են տալիս զրոյում ինքրի վերաբերյալ ստանալ որոշակի պատասխաններ:

Անհրաժեշտ արտահայտությունների արտաձևան ժամանակ հաշվի են առնվում այն բոլոր փոխադարձ կապերը էլեկտրական պարամետրերի միջև, որոնցով պայմանավորվում է դիսպոչ ցանցի նորմալ աշխատանքային աճի:

մբ, ինդրի վերջնական լուծումը բերվում է մեկ ընթացիկ հստակ-բաշխվածությամբ որոշման և իրական էլեմենտներով մեկ մատրիցայի շրջման, որը հանդիսանում է շատ կարևոր մոմենտ անհրաժեշտ ճշտությունն ապահովելու համար: Այդ իսկ պատճառով, ելնելով մատրիցայի էլեմենտների սարակտուրայից, առաջարկվում է շրջման ժամանակ մատրիցան բաժանել շատ միևնույն կարգի ունեցող ենթամատրիցաների:

Հողվածում առաջարկված մեթոդը կիրառված է մեկ կոնկրետ օրինակի վրա և ստացվել է բավարար արդյունք: Ինդրի լուծման համար անհրաժեշտ է օգտվել ժամանակակից արագ դործող հաշվիչ մեքենաների հնարավորություններից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мельников А. А. Учет потерь в сети при определении наимыгоднейшего режима энергосистемы. „Электричество“, № 2, 1960.
2. Маркелов И. М. Режимы энергетических систем. Госэнергоиздат, 1963.
3. Хачатрян В. С. К вопросу об определении собственных и взаимных сопротивлений энергосистемы относительно базисного узла при изменении конфигурации сети. Журн. „Электричество“, № 3, 1964.
4. Шахов В. С. Метод и алгоритм вычисления производных электрических потерь в сложных сетях энергосистемы на электронных цифровых машинах. Журн. „Электричество“, № 1, 1960.

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Р. С. КАРАМЯН, Н. М. ВОРОПАЙ, Д. М. РАВКИН

К ВОПРОСУ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ
В КОНТРОЛИРУЕМОЙ АТМОСФЕРЕ ПОВЫШЕННОГО
ДАВЛЕНИЯ

В Институте электросварки им. Е. О. Патона АН УССР разработан способ аргоно-дуговой сварки алюминиевых сплавов. Сварка по этому способу производится в контролируемой атмосфере аргона повышенного давления на установке, описанной в [1]. Для определения

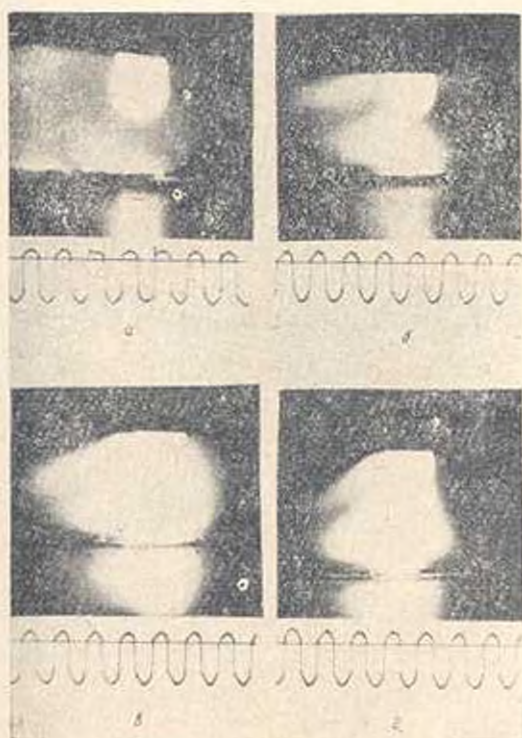


Рис. 1. Фотограммы дуги $W-A$ и осциллограммы напряжения при давлениях аргона, атм: а — 0.1; б — 0.5, в — 0.75; г — 1.0.

электрических параметров, размеров и формы дуги, горящей между вольфрамовым электродом и алюминием синхронно с осциллографированием производилась ее фотосъемка (рис. 1 и 2). Момент съемки фиксировался на осциллограмме импульсом тока. Фотографирование

дуги обнаружило уменьшение диаметра и увеличения яркости столба дуги при повышении давления аргона. При этом столб дуги имеет более резкое очертание и приобретает форму усеченного конуса с заметным сужением на конце вольфрамового электрода. При обработке осциллограмм средние значения напряжения определялись в тех участках кривых, которые соответствовали моменту съемки. Типичным для представленных на рис. 1 и 2 кривых напряжения дуги является рост напряжения при увеличении давления аргона и сохранение почти полного подобия осциллограмм в разных периодах. Осциллографирование напряжения дуги и расчеты ее эффективной мощности показали, что U_{eff} и Q_{eff} с увеличением давления газа растут по прямолинейному закону. Выявлено, что с увеличением давления контролируемой атмосферы глубина проплавления металла резко растет.

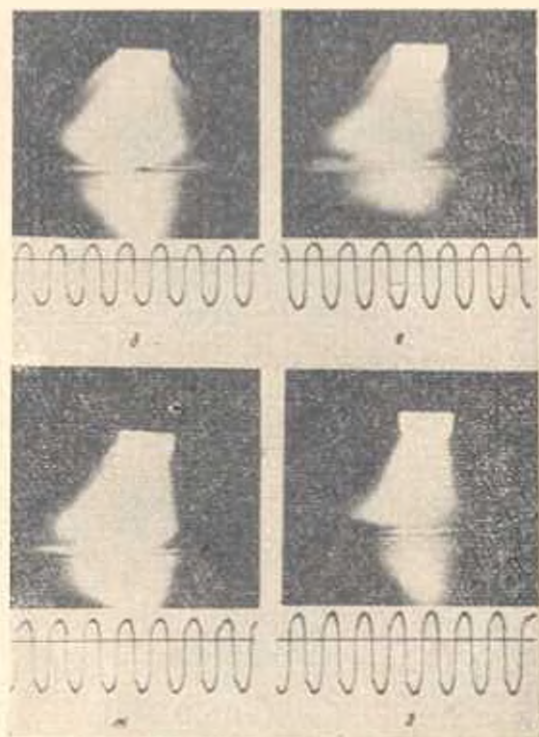


Рис. 2. Фотограмма дуги W-N и осциллограммы напряжения при давлении аргона, *мм*: *d* — 2,0; *e* — 3,0; *ж* — 5,0; *л* — 6,0.

Увеличение глубины проплавления — результат увеличения скорости и концентрации частиц плазменной струи, представляющей собой поток разогретого, возбужденного или ионизированного газа, направленного вдоль оси дуги. Плазменные потоки, образующиеся в атмосфере аргона повышенного давления, оказывают силовое воздействие на электроды, которое проявляется в проплавлении металла на большую глубину, вытеснении расплавленного металла из-под дуги и образо-

вании усиления сварного шва. Концентрация частиц плазменной струи пропорциональна плотности тока, которая при повышении давления аргона возрастает вследствие уменьшения площади активных пятен.

Повышение проплавляющей способности дуги в условиях повышенного давления позволяет уменьшить электрическую мощность дуги по сравнению со сваркой металла одной и той же толщины в условиях атмосферного давления. В качестве примера в табл. 1 приведены оптимальные режимы сварки сплава АМг 6 толщиной 6 мм со скоростью 15 м/час в зависимости от давления аргона.

Таблица 1

Параметры	Д а в л е н и е, а т м					
	1	2	3	4	5	6
I в, а	280	255	235	210	185	165
U в, в	14—15	14—15	15—16	15—16	15—16	15—16
Q ккал/сек	535	490	425	380	355	280

Для определения влияния давления аргона на процессы распространения тепла в соответствии с режимами табл. 1 производилась однопроводная автоматическая сварка пластин из алюминийно-магниевого сплава АМг 6 толщиной 6 мм. В различных удаленных от оси стыка точках в процессе сварки и последующего охлаждения с помощью термопар и осциллографа Н-700 записывались термические циклы по методике [2]. Термопары медь — константан диаметром 0,4 мм устанавливались в отверстия диаметром 1,2 мм глубиной, равной половине толщины пластины. Во избежание влияния краевого эффекта измерение температур выполнялось в средней части длины пластины. С целью исключения случайных ошибок для каждого способа сварки производилось по несколько опытов, средние данные из которых подвергались обработке. Опыты показали, что с увеличением давления аргона уменьшаются максимальные температуры, до которых нагревается металл в данной точке, уменьшается время пребывания металла околошовной зоны при высокой температуре и увеличивается скорость его охлаждения после сварки. Это оказывает благоприятное влияние на структуру и свойства металла шва и околошовной зоны, особенно при сварке высокопрочных термически упрочненных алюминиевых сплавов системы $Al-Zn-Mg$.

При увеличении давления аргона в камере увеличивается плотность сварных швов как на алюминии А5, так и на сплаве АМг6. Известно, что основной причиной возникновения пор в металле сварных швов алюминия и его сплавов является выделение пузырьков водорода вследствие падения растворимости последнего при снижении температуры жидкого металла и крайне низкой растворимости водо-

рода в твердом металле. При переходе алюминия из жидкого состояния в твердое растворимость водорода уменьшается в 15—20 раз. В зону сварки водород попадает из влаги, содержащейся в защитном газе (аргоне). Влага находится также в связанном или адсорбированном виде в окисной пленке, всегда имеющейся на поверхности свариваемого металла и присадочной проволоки. При повышенном содержании водорода в основном металле в обычных условиях сварочная ванна может обогащаться водородом за счет термодиффузии. Следует отметить, что в условиях сварки при повышенных давлениях, где имеют место большие скорости охлаждения металла, возможность перехода водорода из твердого металла в жидкую ванну маловероятна, так как время диффузии водорода при высоких температурах ограничено.

Условием возникновения пузырьков радиусом r , вызванных выделением водорода из жидкого алюминия с поверхностным натяжением σ и плотностью γ на глубине h при внешнем давлении газовой среды $P_{\text{вн}}$, является

$$P_{\text{вн}} \geq P_{\text{вн}} + h\gamma + \frac{2\sigma}{r},$$

где $P_{\text{вн}}$ — давление водорода в пузырьке.

Из неравенства следует, что с увеличением внешнего давления контролируемой атмосферы выше атмосферного вероятность возникновения пузырьков водорода уменьшается. Можно предположить, что при некотором значении $P_{\text{вн}}$ и определенном содержании водорода в сварочной ванне давление водорода в пузырьке $P_{\text{вн}}$ будет меньше суммы правой части неравенства. В этом случае появление газовых пор невозможно.

При сварке сплава АМгб с увеличением давления аргона до 3 *атм* пористость снижается. При давлении аргона свыше 3 *атм* поры практически отсутствуют. По рентгеновским снимкам подсчитывалось количество пор, приходящихся на 100 мм шва. При изучении микрошлифов определяли количество пор в рассматриваемом сечении, а подсчет производился из условия приведения площади поперечного сечения всех пор к условному диаметру поры 1 мм.

Изучение микроструктуры швов сплава АМгб, выполненных при различных давлениях аргона, обнаружило, что при $P_{\text{вн}} < 1$ *атм* поры имеют, как правило, правильную сферическую форму, т. е. они возникают и развиваются в жидком металле. При $P_{\text{вн}} \geq 1$ *атм* имеют место микропоры угловатой формы, возникшие в жидком металле и развивающиеся до завершающей стадии кристаллизации металла.

Как показали исследования, с увеличением давления аргона содержание легкоиспаряющихся легирующих элементов в сварных швах растет и при 3—5 *атм* приближается к их содержанию в основном металле. Это объясняется уменьшением скорости испарения элементов со сварочной ванны и увеличением температуры кипения

сплавов. Произведем расчеты упругости паров цинка и магния соответственно в сплавах алюминий-цинк и алюминий-магний и определим температуры кипения этих сплавов в зависимости от концентрации и давления внешней атмосферы.

При кипении расплава $Al-Zn$ сумма парциальных давлений паров цинка и алюминия над сварочной ванной при внешнем давлении аргона $P_{\text{арг}}$ будет равна единице

$$P_{Zn} + P_{Al} = 1.$$

Представив P_{Zn} и P_{Al} соответственно через произведение парциального давления элемента в чистом виде P_{Zn} и P_{Al} на его концентрацию в расплаве (C_{Zn} , C_{Al}), получим

$$P_{Zn} \cdot C_{Zn} + P_{Al} \cdot C_{Al} = 1.$$

откуда

$$C_{Zn} = \frac{1 - P_{Al}}{P_{Zn} - P_{Al}}.$$

Исходя из этого выражения, определяем температуру кипения сплавов алюминия с цинком и упругость паров цинка над сварочной ванной в условиях атмосферного давления ($p = 1 \text{ атм}$). Результаты расчетов для системы алюминий-цинк представлены в табл. 2, а для

Таблица 2

T, K	$P_{Al}, \text{ атм}$	$P_{Zn}, \text{ атм}$	$1 - P_{Al}$	$P_{Zn} - P_{Al}$	$C_{Zn}, \%$	$P_{Zn}, \text{ атм}$
1150	$1,3 \cdot 10^{-7}$	1,0	1,0	1,0	100	1
1300	$1,3 \cdot 10^{-6}$	2,7	1,0	2,7	37	1
1500	$4,9 \cdot 10^{-5}$	11,2	1,0	11,2	8,9	1
1700	$7,7 \cdot 10^{-4}$	32	1,0	32,0	3,1	1
2000	$1,68 \cdot 10^{-2}$	112	0,98	112,0	0,8	1
2400	$2,85 \cdot 10^{-1}$	250	0,71	249,7	0,285	0,71
2500	0,53	600	0,47	599,5	0,078	0,47
2620	1	800	0	799	—	—

системы алюминий-магний — в табл. 3. Значения P_{Al} и P_{Zn} в этих таблицах взяты согласно [3]. Упругость паров магния в диапазоне температур 1300–2700 К получены экстраполяцией данных А. И. Несмеянова [3], приведенных для температур до 1300 К.

Данные таблиц 2 и 3 показывают, что при содержании цинка или магния в алюминии свыше 1% пары над расплавленным алюминием состоят практически только из цинка или магния соответственно. Даже небольшая концентрация последних (1–2%) резко снижает температуру кипения алюминиевых сплавов.

При увеличении давления внешней атмосферы температуры кипения сплавов алюминий-цинк и алюминий-магний повышаются. Особенно резко это повышение проявляется при давлениях до 3–5 атм.

Таблица 3

$T, ^\circ\text{K}$	$P_{\text{Mg}}, \text{атм.}$	$P_{\text{Mg}}, \text{атм.}$	$1 - P_{\text{Al}}$	$P_{\text{Mg}} - P_{\text{Al}}$	$C_{\text{Mg}}, \%$	$P_{\text{Mg}}, \text{атм.}$
1375	$1,1 \cdot 10^{-5}$	1,0	1,0	1,0	100	1,0
1500	$4,9 \cdot 10^{-5}$	4,8	1,0	4,8	21	1,0
1600	$2,1 \cdot 10^{-4}$	13,1	1,0	13,1	7,7	1,0
1700	$7,7 \cdot 10^{-4}$	63,0	1,0	63,0	1,55	1,0
2000	$1,68 \cdot 10^{-2}$	131,5	0,98	131,5	0,075	0,98
2000	$8,1 \cdot 10^{-2}$	329,0	0,92	329,0	0,003	0,92
2400	$2,85 \cdot 10^{-1}$	1189,5	0,71	1188,2	0,0006	0,71
2500	0,53	1255,5	0,47	1256,0	0,0004	0,41
2620	1,0	1315,0	0	1314,8	—	0

Экспериментально обнаружено, что в сварных швах сплава АМг6, выполняемых дуговой сваркой неплавящимся электродом при различных давлениях аргона, с увеличением давления защитной атмосферы содержание магния растёт. При давлении в две избыточные атмосферы оно приближается к нижнему пределу содержания магния в основном металле и присадочной проволоке. Разработанный способ сварки в контролируемой атмосфере повышенного давления можно рекомендовать для получения высокоплотных сварных соединений изделий небольших размеров, особенно в тех случаях, когда наряду с высокой плотностью к швам предъявляется требование постоянного химического состава.

Институт электросварки АН УССР
им. Е. О. Патона

Поступило 25.1.1968

Ռ. Ս. ԿԱՐԱՄՅԱՆ, Ն. Մ. ԳՈՐԳԻՍԷ, Գ. Մ. ԽԱՐԿԻՆ

ԲԱՐՁՐ ԶՆՇՈՒՆ ԿԱՐԳԱՎՈՐՈՂ ՄԵԽԱՆՈՐՏՈՒՄ ԱՅՈՒՄՆԵՐ
ՄԻԱԶԱՎԱՏՔՆԵՐԻ ԵՌՔԻ ՇՈՐՔԻ ՇՈՐՔԸ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Ուսումնասիրված է ալյումինի և Al-Mg, Al-Zn-Mg սիստեմի միահալ-
վածքների եռքի ժամանակ կարգավորող մթնոլորտի ճնշման ազդեցությունը
աղեղի էլեկտրաֆիզիկական բնութագրերի, կարանների խտության և էլեմենտ-
ների զուտրշիացման վրա: Բերված են փոփոխական հոսանքի աղեղի ֆոտո-
դրամները ու լարման օսցիլոգրամները արդյունի կարգավորող մթնոլորտի
0,1—6,0 մթն. ճնշման գնացում: Նկատվում է էֆեկտիվ հզորության և աղեղի
լարման մեծացում արդյունի ճնշումը բարձրացնելիս:

Հետադուրված է արդեն ճշման ապացույթներ ջերմության տարածման պրոցեսների վրա:

Սահմանված է, որ արգոնի ճնշումը մինչև 3,0 մթն. բարձրացնելիս կտրուկ նվազում է կարանների ծակոտկենությունը և էլեմենտների դոլորշիացումը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Рабкин Д. М., Воробей Н. М., Карамян Р. С., Сур М. Д. Установка для сварки в контролируемой атмосфере повышенного давления. Журн. "Автоматическая сварка", № 2, 1968.
2. Казимиров А. А., Воробей Н. М. Распространение тепла при сварке плавлением алюминия с медью. Журн. "Автоматическая сварка", № 7, 1966.
3. Негмоянов А. И. Плавление пара химических элементов. Изд. АН СССР, 1961.

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

С. С. ДАРБИՅԱՆ

О МЕТОДИКЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКСЕЛЕРОГРАММ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗАДАЧАХ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ
СООРУЖЕНИЙ

В последние годы многие задачи инженерной сейсмологии и сейсмостойкости сооружений решаются с помощью вычислительных машин с использованием реальных акселерограмм или сейсмограмм землетрясений. При решении этих задач приходится тем или иным способом табулировать используемые акселерограммы или сейсмограммы. Однако в процессе табулирования и решения задач возникают ряд вопросов, требующих своего разрешения.

К числу таких вопросов могут быть отнесены следующие:

а) выбор шага времени, т. е. величины времени Δt , через которые измеряются ординаты на записи землетрясения; б) выбор продолжительности учитываемого колебательного процесса по акселерограмме; в) влияние самого метода вычислений на величины перемещений и сейсмических сил.

В настоящей статье попытаемся выяснить эти вопросы на простом примере расчета системы с одной степенью свободы под сейсмическим воздействием. В качестве расчетной схемы принимаем невесомый стержень с заделанным нижним концом и с сосредоточенной массой m на верхнем свободном конце.

Колебание такой системы описывается дифференциальным уравнением [1]:

$$x'' + \frac{2\pi}{T} x' + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 x = -x_0''(t), \quad (1)$$

где T — период собственных колебаний системы;

α — коэффициент затухания;

x — горизонтальное перемещение массы m , $x_0''(t)$ — закон колебания почвы, который берется по акселерограмме землетрясений.

В основу вычислений были взяты две реальные акселерограммы землетрясений интенсивностью восемь баллов [2], (рис. 1).

Интегрирование (1) для разных α и T осуществлялось методом Рунге-Кутты на ЭВМ.

Были табулированы акселерограммы землетрясений для трех шагов Δt и на основе решения (1) определялись максимальные значения ускорений (в $\frac{cm}{сек^2}$) и перемещений (в cm) при этих шагах табулиро-

вания. Табулировались интенсивные части акселерограмм продолжительностью 5,5 сек и 5,3 сек соответственно (на рис. 1 эти участки ограничены стрелками).

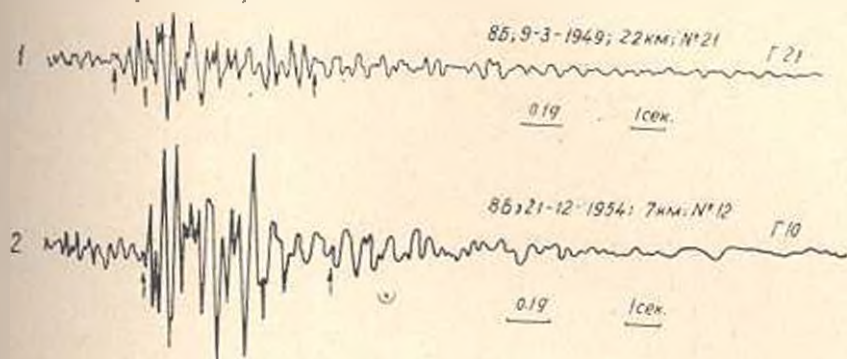


Рис. 1.

Результаты вычислений приведены в таблицах 1 и 2. Анализ приведенных данных показывает, что величины максимальных ускорений и перемещений заметно зависят от выбора шага табулирования. Так, например, для землетрясения № 1, когда шаг увеличивает-

Таблица 1
Значения $\ddot{x}_{\max}$ и $x_{\max}$ при разных шагах для землетрясения № 1

Δt	$\alpha = 0,08$						$\alpha = 0,12$					
	$\ddot{x}_{\max}$			$x_{\max}$			$\ddot{x}_{\max}$			$x_{\max}$		
	0,0132	0,0235	0,0470	0,0132	0,0235	0,0470	0,0132	0,0235	0,0470	0,0132	0,0235	0,0470
0,05	201,9	195,8	121,9	0,013	0,012	0,008	181,3	176,4	121,8	0,011	0,011	0,008
0,2	241,7	276,6	309,6	0,242	0,280	0,316	239,8	264,1	297,8	0,239	0,269	0,305
0,3	461,2	451,5	475,1	1,054	1,040	1,092	392,2	399,4	416,2	0,885	0,911	0,947
0,6	183,7	209,1	207,2	1,670	1,901	1,885	162,7	176,2	171,2	1,471	1,587	1,532
1,0	101,5	114,9	134,8	2,555	2,898	3,390	95,0	107,7	124,3	2,376	2,689	3,075

ся в четыре раза, то $\ddot{x}_{\max}$ и $x_{\max}$ увеличиваются в среднем на 23%. Следовательно, при обработке акселерограмм необходимо настолько возможно шаг табулирования брать меньше. Вычисления показали, что для получения достаточно точных результатов необходимо шаг табулирования брать примерно в 21–25 раз меньше величины преобладающего периода колебания почвы. Из приведенных таблиц видно, что величина шага Δt мало влияет на значения $\ddot{x}_{\max}$ и $x_{\max}$ при $T = 0,3$ сек. Это объясняется тем, что период колебания рассматриваемой системы близок к периоду колебания почвы, из-за чего получаются большие значения функций ускорения и перемещения, которые мало изменяются возле своих максимальных значений.

Обычно при табулировании акселерограмм сталкиваемся с проблемой выбора продолжительности колебательного процесса. Возникает вопрос, взять всю акселерограмму или ее интенсивную часть? Для выяснения этого нами была решена следующая задача, когда табулировалась вся запись землетрясения с продолжительностью $t = 13,4$ сек и полученные данные сопоставлялись с решением по интенсивной части акселерограммы ($t = 5,5$ сек) при землетрясении № 1. Результаты вычислений, приведенные в табл. 3, показывают, что для обоих случаев $\tau_{\max}$ и $x_{\max}$ даже при нулевом затухании получаются примерно одинаковыми. Для случая $t = 3$ сек получился почти тот же результат. Следовательно, при табулировании акселерограмм не имеет смысла брать весь интервал колебательного процесса, а необходимо взять лишь ее самую интенсивную часть. Это с одной стороны облегчает процесс табулирования, с другой стороны дает возможность экономить много машинного времени при решении задачи. Отметим, что величины $\tau_{\max}$ и $x_{\max}$ в основном зависят от той части акселерограммы, где имеются большие пики, особенно для жестких систем. Поэтому такие участки следует табулировать с большой точностью.

Таблица 2

Значения $\tau_{\max}$ и $x_{\max}$ при разных шагах для землетрясения № 2

Δt T	$\alpha = 0$						$\alpha = 0,12$					
	$\tau_{\max}$			$x_{\max}$			$\tau_{\max}$			$x_{\max}$		
	0,0222	0,0444	0,0666	0,0222	0,0444	0,0666	0,0222	0,0444	0,0666	0,0222	0,0444	0,0666
0,05	440,8	236,5	292,0	0,027	0,015	0,018	329,3	248,7	250,0	0,021	0,015	0,015
0,2	1075,8	1067,5	741,6	1,090	1,082	0,751	564,2	488,4	433,2	0,557	0,518	0,455
0,3	1283,1	1291,0	1176,1	2,925	2,945	2,682	729,6	714,7	674,8	1,620	1,607	1,531
0,6	1129,1	1131,6	1126,2	10,296	10,321	10,276	614,6	625,3	607,8	5,531	5,602	5,418
1,0	164,1	153,9	153,1	1,158	3,898	3,886	135,7	128,8	124,6	3,409	3,201	3,096

При отсутствии соответствующих ЦВМ обычно акселерограмма увеличивается, вследствие чего из-за толщины линий записи получаются две кривые. Далее проводится так называемая средняя линия, по которой измеряются ординаты функции $x'(t)$. Однако, проведение такой средней линии связано с определенными условностями, особенно на участках больших пиков. С целью выяснения этого вопроса акселерограмма землетрясения № 1 табулировалась при шаге $\Delta t = 0,0132$ сек по средней линии и по внешней кривой (самый худший вариант в смысле определения τ и x). Результаты вычислений приведены в табл. 4, из которой видно, что значения максимальных ускорений и перемещений заметно зависят от выбора средней линии. Это особенно сказывается на участке, где преобладающий период

Таблица 3

Значения τ_{max} и x_{max} при разных i для землетрясения № 1 ($\Delta t = 0,0235$ с/к)

$i \backslash T$	$\alpha = 0$						$\alpha = 0,08$						$\alpha = 0,12$					
	τ_{max}			x_{max}			τ_{max}			x_{max}			τ_{max}			x_{max}		
	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0
3,45	477,4	745,5	131,5	0,484	1,813	3,408	276,6	451,5	111,9	0,280	1,040	2,698	264,1	399,4	107,7	0,269	0,911	2,689
13,44	179,2	766,9	136,5	0,486	1,728	3,457	278,0	445,9	116,0	0,282	1,025	2,914	264,6	395,2	108,1	0,269	0,902	2,706
Расхождение в %	0,4	3,0	1,5	0,4	4,7	2	0,9	1,2	0,9	0,7	1,4	0,5	0,2	1,0	0,4	0	1,0	0,6

Таблица 4

Влияние метода табулирования на величины τ_{max} и x_{max} для землетрясения № 1 ($\Delta t = 0,0132$ с/к)

T	$\alpha = 0,08$						$\alpha = 0,12$					
	τ_{max}			x_{max}			τ_{max}			x_{max}		
	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0
По средней кривой	241,7	461,2	101,5	0,242	1,054	2,555	239,8	392,2	95,0	0,239	0,886	2,376
По внешней кривой	280,2	631,6	124,4	0,285	1,442	3,131	279,3	531,2	116,8	0,282	1,198	2,919
Расхождение в %	13,7	27	18,4	15,1	26,9	18,4	14,1	26,2	18,7	15,2	26	18,6

колебания почвы близок к периоду собственных колебаний системы. Но так как именно в этих участках ускорение и перемещение получают свои максимальные значения, то в таких случаях следует по возможности правильно провести среднюю линию. Вычисления показывают, что будет достаточно точно, если в пиковых участках среднюю линию провести ниже внешней кривой наполовину толщины линии, которую имеет акселерограмма в горизонтальном участке, как показано на рис. 2б пунктиром.

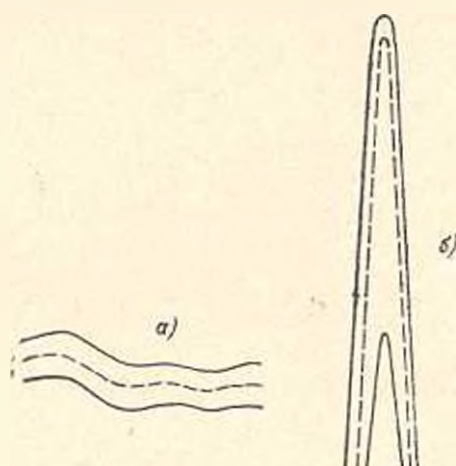


Рис. 2.

В процессе вычислений мы пользуемся интерполяционной формулой [3]:

$$x = f(t) = \frac{1}{N!} \sum_{i=1}^N x_i (-1)^{N-1} C_N^i S(S-1) \cdots (S-N), \quad (2)$$

где $S = \frac{t-t_0}{\Delta t}$, t_0 — первая точка из $N+1$ точек, которые необходимы для вычисления функции $f(t)$; N — число точек интервала.

Однако при вычислениях с интерполяцией уходит больше машинного времени, нежели без интерполяции. Поэтому возникает естественный вопрос, насколько влияет интерполяция на результаты вычислений и нельзя ли отказаться от него и тем самым выиграть машинное время? С этой целью задача была решена с интерполяцией и без интерполяции при разных шагах табулирования. Результаты вычислений $\bar{m}_{\max}$, приведенные в табл. 5, показывают, что при малом шаге ($\Delta t = 0,0235$) результаты для обоих случаев почти совпадают, а при шаге 0,047 в некоторых местах имеются расхождения, в основном при малых величинах T . Таким образом, при правильном выборе шага табулирования интерполяцией можно не пользоваться. Однако для жестких систем ($T < 0,1-0,2$ сек) игнорирование метода интерполяции может привести к большим ошибкам. Аналогичная картина получается и при определении перемещений системы.

Таблица 5

Влияние интерполяции на τ_{m1} при землетрясении № 1

Δt	$\alpha = 0,08$					$\alpha = 0,12$				
	0,05	0,2	0,3	0,6	1,0	0,05	0,2	0,3	0,6	1,0
0,0235 с инт.	195,8	276,0	451,5	209,1	111,9	176,4	261,1	399,4	176,3	107,7
0,0235 б. инт.	—	268,0	451,0	208,8	114,6	—	256,8	397,2	176,0	107,5
0,047 с инт.	121,9	309,8	475,1	207,2	134,8	121,8	297,8	416,2	171,2	124,3
0,047 б. инт.	—	225,5	443,5	203,5	134,3	387,3	215,2	387,2	168,7	124,5

Резюмируя изложенное, приходим к заключению, что шаг табулирования акселерограммы следует брать меньше, возможно, минимальным и в основу вычислений следует принимать интенсивную часть акселерограммы, а не запись всего колебательного процесса. Можно пренебречь той частью акселерограммы, у которой максимальная ордината составляет примерно 25% от максимума всей акселерограммы. С целью экономии машинного времени без ущерба для точности целесообразно брать интенсивную часть акселерограммы с малым шагом табулирования, но вычисления проводить без интерполяции.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН АрмССР

Поступило 09.11.1968.

И. И. ГАБРИЭЛЯН

ԿԱՌԱՅՎԱԾՔՆԵՐԻ ՍԵՅՍՄԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԿԵՆՏՐՆԵՐՈՒՄ
ՆՐԿԱՇՈՒԹՅՈՒՆ ԱՆՍԵԼԵՐՈԳՐԱՄՆԵՐԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ,
ԸՆԹԱԳԻՆՈՒՄԻ ՄԱՍԻՆ

Ա Վ Փ Ն Փ Ո Ւ Մ

Հոգաժողովը գիտություն է կառուցվածքների սեյսմիկ հաշվարկի ժամանակ օգտագործվող տվյալներսրամաների տարուլացման հետ կապված մի շարք հարցեր, հիմնականում՝ տարուլացման բայի ընտրման ազդեցությունը սարսիմալ տեղափոխումների և արագացումների մեծությունների վրա, տատանողական պրոցեսի տևողության բնարման հարցը և հաշվման մեթոդի ազդեցությունը սեյսմիկ ուժերի մեծությունների վրա:

Ճշգրտ հարցերը պարզարանելու համար ուսումնասիրվում է մեկ ազատության աստիճան ունեցող սիստեմի տատանումները 8 բայի ինտենսիվություն ունեցող երկրաշարժերի ազդեցության տակ: Բոլոր հաշվումները կատարվում են «Հրապդան-2» էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենայի միջոցով:

Հետադոտությունները պույց են տալիս, որ ստացվող արդյունքները ղղալորեն կախված են տարուլացման բայի բնարումից:

ծույց է տրվում, որ ակսելերոգրամների տարույացման ժամանակ քաղա-
րար է վերցնել միայն նրանց ինտենսիվ մասը: Այնուհետև հիմնավորվում է,
որ առանց խնդրի ճշտությունը խախտելու կարելի է հաշվումները կատարել
չօգտվելով ինտերպոլացիայի մեթոդից՝ զգալի կրճատելով մեքենայի ժամա-
նակը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1959.
2. Минаева С. В. Ускорение колебаний грунта при сильных землетрясениях. Тр. Института физики Земли АН СССР, № 10 (177), 1960.
3. Стандартные программы для ЭВМ «Раздан-2». Тр. ВИА АН АрмССР и Ер. ГУ, вып. III, 1967.

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Э. Е. ХАЧИЯН

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЧАСТОТ И ФОРМ КОЛЕБАНИЙ СТЕРЖНЕЙ
ПРИ СОВМЕСТНОМ УЧЕТЕ ДЕФОРМАЦИЙ ИЗГИБА
И СДВИГА

Вывод дифференциального движения балки с учетом деформации сдвига и инерции вращения имеются во многих монографиях и статьях по теории колебаний. Если пренебречь в этих уравнениях членами, учитывающими инерцию вращения, получим следующее дифференциальное уравнение свободных колебаний с учетом деформаций изгиба и сдвига

$$EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - \frac{EJ}{kFG} \frac{\partial^4 y}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{q}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где y — прогиб балки; E — модуль упругости; J — момент инерции поперечного сечения; G — модуль сдвига; F — площадь поперечного сечения; q — вес единицы длины бруса; k — коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения; g — ускорение силы тяжести.

Решение уравнения (1) ищем в следующем виде:

$$y(x, t) = \sum_{j=1}^{\infty} Y_j(x) f_j(t). \quad (2)$$

В силу (1) и (2) получим следующие два уравнения:

$$Y_j^{(4)}(x) - \alpha_j Y_j(x) + \beta_j Y_j''(x) = 0; \quad (3)$$

$$f_j(t) + p_j^2 f_j(t) = 0, \quad (4)$$

где

$$\alpha_j = \frac{p_j^2 q}{gEJ}; \quad \beta_j = \frac{p_j^2 q}{gkFG}. \quad (5)$$

Здесь p_j — круговая частота свободных колебаний j -й формы.

Решение уравнения (3) представим в виде

$$Y_j(x) = A_j \sin \lambda_{1j} x + B_j \cos \lambda_{1j} x + C_j \operatorname{sh} \lambda_{2j} x + D_j \operatorname{ch} \lambda_{2j} x. \quad (6)$$

Подставляя (6) в уравнение (3) убедимся, что λ_{1j} и λ_{2j} должны удовлетворять уравнениям:

$$\begin{aligned} \lambda_{1j}^4 - \lambda_{1j}^2 \beta_j - \alpha_j &= 0; \\ \lambda_{2j}^4 + \lambda_{2j}^2 \beta_j - \alpha_j &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Коэффициенты A_j , B_j , C_j и D_j , а также круговые частоты p_j , определяются из граничных условий. При этом изгибающие моменты и поперечные силы имеют следующие значения:

$$\begin{aligned} M(x, t) &= -EJ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{EJ}{kFG} \frac{q}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}, \\ Q(x, t) &= -EJ \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} + \frac{EJ}{kFG} \frac{q}{g} \frac{\partial^3 y}{\partial t^2 \partial x}. \end{aligned} \quad (8)$$

На свободно опертом конце, где прогиб и изгибающий момент равны нулю, будем иметь:

$$y(x, t) = 0; \quad EJ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{EJ}{kFG} \frac{q}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}. \quad (9)$$

На закрепленном конце равны нулю прогиб и угол наклона от изгиба

$$y(x, t) = 0; \quad \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{EJ}{kFG} \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} = \frac{EJ}{(kFG)^2} \frac{q}{g} \frac{\partial^3 y}{\partial t^2 \partial x} = 0. \quad (10)$$

Второе условие для консольного стержня можно заменить следующим:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{1}{kFG} \int_0^l \frac{q}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} dx. \quad (11)$$

На свободном конце стержня изгибающий момент и поперечная сила равны нулю, поэтому на основании (8) получим:

$$EJ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{EJ}{kFG} \frac{q}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}; \quad EJ \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} = \frac{EJ}{kFG} \frac{q}{g} \frac{\partial^3 y}{\partial t^2 \partial x}. \quad (12)$$

Из уравнений (7) для круговой частоты получим

$$p_j = \frac{k_j^2}{l^2} \sqrt{\frac{1}{1 + \nu^2 k_j^2}} \sqrt{\frac{gEJ}{q}} = \frac{\omega_j^2}{l^2} \sqrt{\frac{1}{1 - \nu^2 \omega_j^2}} \sqrt{\frac{gEJ}{q}}. \quad (13)$$

где

$$\begin{aligned} k_j &= i_{1j} l, \quad \omega_j = i_{2j} l, \\ \nu^2 &= \frac{EI}{kFG l^2}, \quad \beta_j l^2 = k_j^2 - \omega_j^2. \end{aligned} \quad (14)$$

Рассмотрим несколько частных случаев, имеющих практическое применение.

1. Стержень с шарнирно-опертыми концами

Граничным условием для этого случая на основании (9)–(12) будут

при $x = 0$, $Y_j(0) = 0$, $EY_j'(0) = -(k_j^2 - \omega_j^2) Y_j(0) = 0;$ (15)

при $x = l$, $Y_j(l) = 0$, $EY_j'(l) = -(k_j^2 - \omega_j^2) Y_j(l) = 0.$

Граничные условия (15) не отличаются от граничных условий задачи без учета влияния деформации сдвига. Поэтому формы колебаний для шарнирно-опертого стержня будут такими же, как и при неучете деформаций сдвига, т. е.

$$Y_j(x) = A_j \sin \frac{k_j}{l} x, \quad (16)$$

где k_j — определяется из уравнения

$$\sin k_j l = 0. \quad (17)$$

Однако частоты колебания будут зависеть от отношения изгибных и сдвиговых жесткостей, как это видно из (13).

2. Стержень с одним заделанным и другим свободным концом

Граничные условия соответственно будут

$$\text{при } x = 0, \quad Y_j(0) = 0, \quad [1 + \nu^2(k_j^2 - \omega_j^2)] Y_j'(0) + \nu^2 Y_j''(0) = 0; \quad (18)$$

$$\text{при } x = l, \quad l^2 Y_j'(l) + (k_j^2 - \omega_j^2) Y_j(l) = 0, \quad l^2 Y_j''(l) + (k_j^2 - \omega_j^2) Y_j'(l) = 0.$$

Подставляя (6) и (18), получим систему однородных уравнений относительно коэффициентов A_j, B_j, C_j, D_j , из которой получим следующие выражения для уравнения частот и отношения коэффициентов A_j, B_j, C_j, D_j :

$$(\omega_j^4 + k_j^2) \operatorname{ch} \omega_j \cos k_j - \nu^2 k_j^2 \omega_j^2 \sin k_j \operatorname{sh} \omega_j + 2 \omega_j^2 k_j^2 = 0, \quad (19)$$

$$A_j = \frac{-k_j^2 \omega_j \operatorname{sh} \omega_j \sin k_j - k_j \omega_j^2 \operatorname{ch} \omega_j \cos k_j - k_j^2}{-k_j^2 \omega_j \operatorname{ch} \omega_j \cos k_j + k_j \omega_j^2 \operatorname{sh} \omega_j \sin k_j - \omega_j^2} C_j, \quad (20)$$

$$B_j = -D_j = \frac{k_j \omega_j^2 \operatorname{ch} \omega_j \operatorname{sh} k_j - k_j^2 \omega_j \operatorname{sh} \omega_j \cos k_j}{-k_j^2 \omega_j \operatorname{ch} \omega_j \cos k_j + k_j \omega_j^2 \operatorname{sh} \omega_j \sin k_j - \omega_j^2} C_j.$$

3. Стержень с одним зашлепленным и другим опертым концом

Граничные условия для этого случая примут вид

$$\text{при } x = 0, \quad Y_j(0) = 0, \quad [1 + \nu^2(k_j^2 - \omega_j^2)] Y_j'(0) + \nu^2 Y_j''(0) = 0; \quad (21)$$

$$\text{при } x = l, \quad Y_j(l) = 0, \quad l^2 Y_j'(l) + (k_j^2 - \omega_j^2) Y_j(l) = 0.$$

Удовлетворяя граничным условиям (21) для уравнения частот и коэффициентов форм колебаний, получим

$$k_j^2 \sin k_j \operatorname{ch} \omega_j - \omega_j^2 \operatorname{sh} \omega_j \cos k_j = 0; \quad (22)$$

$$A_j = -\operatorname{th} \omega_j \operatorname{ctg} k_j C_j; \quad (23)$$

$$B_j = -D_j = \operatorname{th} \omega_j C_j.$$

4. Стержень с двумя заделанными концами

Соответствующие граничные условия будут:

$$\text{при } x=0, Y_j(0)=0, [1-\nu^2(k_j^2-\omega_j^2)]Y_j'(0)+\nu^2 Y_j''(0)=0; \quad (24)$$

$$\text{при } x=l, Y_j(l)=0, [1+\nu^2(k_j^2-\omega_j^2)]Y_j'(l)+\nu^2 Y_j''(l)=0.$$

Аналогичным образом для уравнения частот и коэффициентов A_j, B_j, C_j, D_j получим

$$(k_j^2-\omega_j^2)\sin k_j \operatorname{sh} \omega_j - 2k_j^2 \cos k_j \operatorname{ch} \omega_j + 2\omega_j^2 k_j^2 = 0, \quad (25)$$

$$A_j = -\frac{k_j^3}{\omega_j^3} C_j, \quad B_j = -D_j = -\frac{\omega_j^3 \operatorname{sh} \omega_j - k_j^3 \sin k_j}{\omega_j^3 (\cos k_j - \operatorname{ch} \omega_j)} C_j. \quad (26)$$

Если в уравнениях (19), (22) и (25) принять $\nu^2=0$, $k_j=\omega_j$, то получим соответствующие уравнения частот без учета влияния деформаций сдвига

$$\cos k_j \operatorname{ch} k_j + 1 = 0; \quad \operatorname{tg} k_j - \operatorname{th} k_j = 0; \quad \cos k_j \operatorname{ch} k_j - 1 = 0.$$

Прибавляя к частотным уравнениям (19), (22) и (25) следующее уравнение, вытекающее из (13):

$$\omega_j = \frac{k_j}{\sqrt{1+\nu^2 k_j^2}} \quad (27)$$

На электронной вычислительной машине были получены значения характеристических чисел k_j^2 для различных значений ν^2 , приведенные в табл. 1.

Таблица 1

ν^2	$\frac{l}{h}$	Корни характеристических уравнений								
		По уравнению (19)			По уравнению (22)			По уравнению (25)		
		k_1	k_2	k_3	k_1	k_2	k_3	k_1	k_2	k_3
0		1,875	4,691	7,855	3,926	7,068	10,210	4,730	7,853	10,995
0,001	18	1,874	4,682	7,825	3,915	7,032	10,137	4,699	7,765	10,830
0,005	8	1,872	4,637	7,730	3,872	6,911	9,926	4,588	7,489	10,389
0,01	5,7	1,869	4,588	7,651	3,825	6,798	9,775	4,475	7,254	10,096
0,02	4	1,864	4,510	7,571	3,745	6,652	9,629	4,303	6,968	9,821
0,03					3,679	6,563	9,562	4,177	6,800	9,694
0,04	2,8	1,854	4,408	7,532	3,627	6,505	9,525	4,079	6,691	9,625
0,05					3,582	6,465	9,502	4,001	6,615	9,581
0,06	2,3	1,845	4,349	7,540	3,545	6,435	9,486	3,936	6,558	9,552
0,08	2	1,836	4,314	7,557	3,481	6,395	9,467	3,835	6,483	9,515

Коэффициент ν^2 в виде (14) удобен для сложных строительных конструкций в целом, когда известны обобщенные жесткости конструкции на изгиб EI и на сдвиг kFG . Для однородных конструкций коэффициенту ν^2 можно придать более наглядный вид, принимая сле-

дующие условия: $J = \frac{bh^3}{12}$, $F = bh$, $G = 0,4E$ (железобетон), $k = \frac{2}{3}$ (прямоугольник). Тогда получим

$$\nu^2 = 0,312 \left(\frac{h}{l} \right)^2. \quad (28)$$

Выражение (28) позволяет определить влияние деформации сдвига в зависимости от отношения толщины конструкции h к ее высоте l , поэтому в табл. 1 приведены также соответствующие значения $\frac{l}{h}$.

Значения коэффициентов A_j , C_j , B_j/C_j и D_j/C_j , вычисленные по формулам (20), (23) и (26), приведены в табл. 2. В таблицах случай $\nu^2 = 0$ соответствует чисто изгибным колебаниям. Как видно из таблиц, с увеличением коэффициента ν^2 частоты и особенно формы колебания сильно изменяются по сравнению со случаем изгибных колебаний. Графические изменения частот колебаний в зависимости от коэффициента ν^2 для всех рассмотренных случаев показаны на рис. 1, где ρ_0 есть частота колебания без учета влияния сдвига. Из рис. 1 и таблиц 1 и 2 видно, что наименьшее влияние деформации сдвига оказывают на частоты и формы колебания консольного стержня, а наибольшее на частоты и формы колебания стержня с двумя заземленными концами. На рис. 2 и 3 представлены формы колебания для двух случаев закрепления концов стержня при различных значениях ν^2 . Как видно из рисунка и из данных табл. 2, учет деформаций сдвига приводит к увеличению прогибов системы, причем, если это увеличение для первой формы колебания невелико, то для второй и третьей форм колебаний оно очень существенно. Таким образом, для высших форм колебаний деформации изгиба и сдвига меняются ролями, а именно деформации сдвига являются основными, а деформации изгиба — второстепенными.

Выше рассматривалось влияние деформации сдвига на частоты и формы колебаний стержней. Результаты показали, что для стержней, у которых $\frac{l}{h} > 6$, влияние деформации сдвига существенно только для высших форм колебаний. Возникает вопрос, а какую роль играют деформации изгиба в сооружениях при $\frac{l}{h} < 1$, для которых деформации сдвига можно считать главными по сравнению с деформациями изгиба? Такие случаи часто встречаются при расчете зданий на сейсмостойкость. Для этого формулу (13), учитывая (14), представим в виде

$$\nu_l = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{gF G k}{q}} \sqrt{\frac{k_l^4}{k_l^2 + \frac{1}{\nu^2}}}. \quad (29)$$

Таблица 2

	λ^2	0	0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08
По формулам (20)	A_1/C_1	-1	-1,004	-1,025	-1,052	-1,105	—	-1,213	—	-1,321	-1,431
	$B_1/C_1 = -D_1/C_1$	1,362	1,363	1,368	1,373	1,385	—	1,407	—	1,428	1,449
	A_2/C_2	-1	-1,032	-1,165	-1,331	-1,667	—	-2,369	—	-3,114	-3,927
	$B_2/C_2 = -D_2/C_2$	0,981	0,981	0,975	0,968	0,953	—	0,915	—	0,871	0,820
	A_3/C_3	-1	-1,092	-1,478	-1,996	-3,139	—	-5,905	—	-9,222	-13,054
	$B_3/C_3 = -D_3/C_3$	1	1,001	1,002	1,005	1,014	—	1,049	—	1,103	1,173
По формулам (23)	A_1/C_1	-1	-1,023	-1,114	-1,227	-1,449	-1,667	-1,885	-2,103	-2,323	-2,767
	$B_1/C_1 = -D_1/C_1$	1	0,999	0,998	0,998	0,997	0,996	0,994	0,992	0,990	0,986
	A_2/C_2	-1	-1,075	-1,378	-1,768	-2,588	-3,471	-4,419	-5,432	-6,506	-8,831
	$B_2/C_2 = -D_2/C_2$	1	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996
	A_3/C_3	-1	-1,158	-1,823	-2,734	-4,822	-7,242	-9,959	-12,948	-16,19	-23,355
	$B_3/C_3 = -D_3/C_3$	1	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998	0,997
По формулам (26)	A_1/C_1	-1	-1,033	-1,161	-1,314	-1,604	-1,880	-2,149	-2,415	-2,681	-3,212
	$B_1/C_1 = -D_1/C_1$	1	1,019	1,025	1,034	1,052	1,070	1,088	1,106	1,125	1,160
	A_2/C_2	-1	-1,091	-1,448	-1,885	-2,767	-3,688	-4,662	-5,691	-6,776	-9,113
	$B_2/C_2 = -D_2/C_2$	1	0,998	0,997	0,994	0,986	0,975	0,964	0,951	0,939	0,913
	A_3/C_3	-1	-1,181	-1,910	-2,869	-5,013	-7,465	-10,20	-13,216	-16,47	-23,669
	$B_3/C_3 = -D_3/C_3$	1	1,000	1,000	1,001	1,006	1,014	1,024	1,035	1,047	1,075

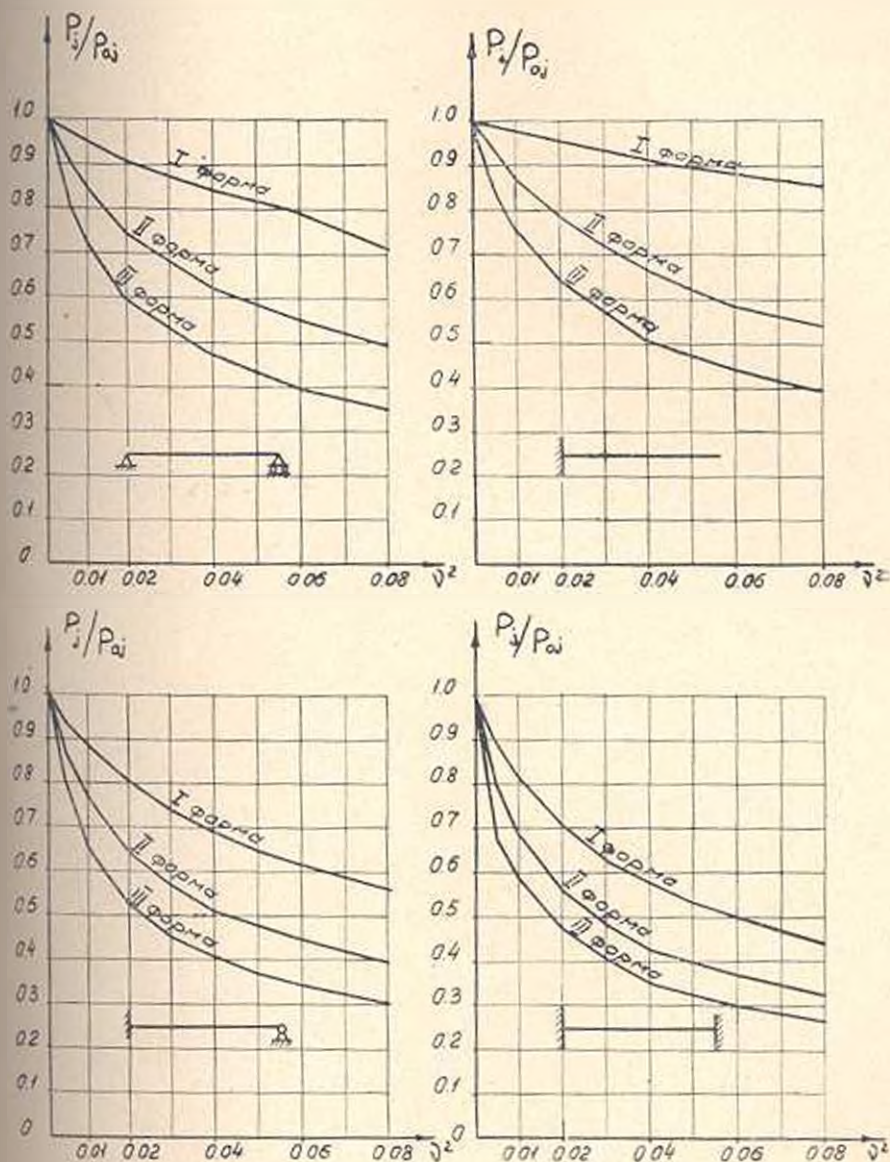


Рис. 1.

При чисто сдвиговых колебаниях уравнение свободных колебаний имеет вид [2, 3]

$$2FG \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{q}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0, \quad (30)$$

Частоты колебания при этом, как нетрудно убедиться, определяются формулой

$$\omega_i = \frac{\eta_i^2}{l} \sqrt{\frac{gFGk}{q}}, \quad (31)$$

где η_i — определяется из граничных условий. Для стержней с опер-

тыми и защемленными концами $\mu_j = j\pi$, для консольного стержня $\mu_j = \frac{2j-1}{2}\pi$. Сопоставим значения μ_j со значением $\theta_j = \sqrt{\frac{k_j^4}{k_j^2 + \frac{1}{v^2}}}$.

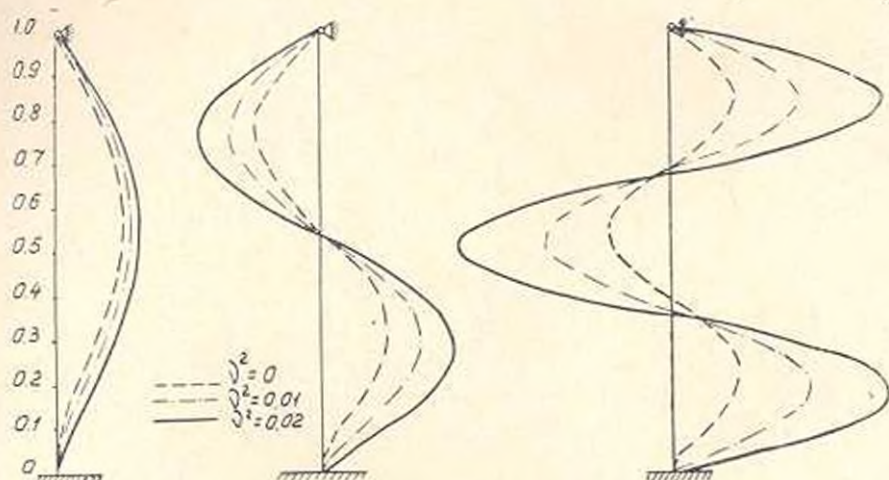


Рис. 2.

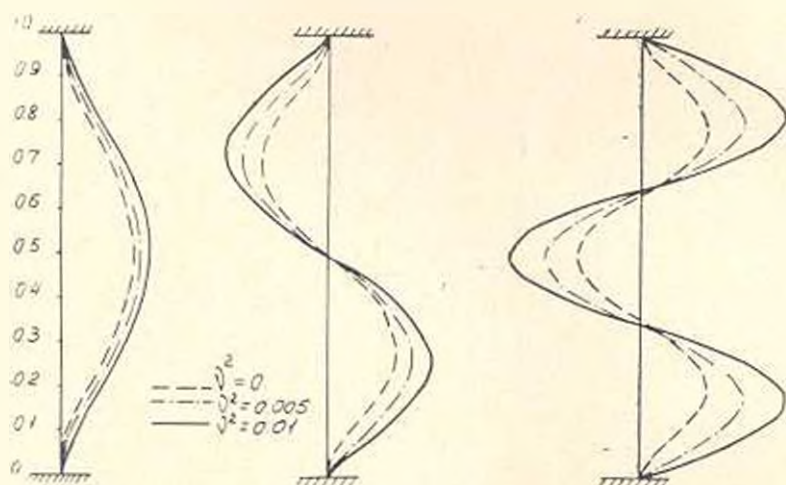


Рис. 3.

Для консольного стержня $\mu_1 = 1.57$, $\mu_2 = 4.71$, $\mu_3 = 7.85$. Тогда при

$$v^2 = 1.5 \ (h = 2.21), \ k_1 = 1.653, \ k_2 = 4.533, \ k_3 = 7.801,$$

$$\theta_1 = 1.482, \ \theta_2 = 4.481, \ \theta_3 = 7.758;$$

при $v^2 = 2.0 \ (h = 2.51), \ k_1 = 1.637, \ k_2 = 4.586, \ k_3 = 7.813,$

$$\theta_1 = 1.503, \ \theta_2 = 4.532, \ \theta_3 = 7.781.$$

Значения k_j для θ_j определялись из характеристического уравнения (19). Приведенные данные показывают, что при $v^2 = 2.0$ откло-

вектор между μ_1 и θ_1 составляет не более 4,5°, а для высших форм колебаний оно еще меньше.

ЛИСМ

Поступило 31.V.1967.

Է. Ն. ԿԱԾԻՅԱՆ

ՄԻՔՐԱՆ ԵՎ ՄԱՀՔԻ ԳԵՃՈՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՄԱՏՈՒՄ ՀԱՇՎԱԹՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ
ԶՈՒԼՆԵՐ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԵՎ ՏԱՏԱՆՈՒՄԱՆ ՉԵՎՆԵՐ ՈՐՈՇՄԱՆ ՇՈՒՐՋԵ

Ո. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Հոդվածում բերված են ծոման և սահճի դեֆորմացիաների համատեղ հաշվառման դեպքում ձողերի տատանումների հաճախությունների և տատանման ձևերի որոշման հզորիտ րանաձևեր:

Ի՞նչ շարք պրակտիկ կիրառություն ունեցող ամրակցումների դեպքում տալիս են հաճախությունների (19), (22), (25) հավասարումների և տատանման ձևերի (6) հավասարման մեջ մտնող A_1, B, C և I , զործակիցների (20), (23), (26) արտահայտությունները: Ծոման և սահճի կոշտությունների հարաբերության (14) տարրեր արժեքների դեպքում էլեկտրոնային հաշիվի մեքենայի օգնությամբ ստացված են հաճախությունների (29), (22), (25) հավասարումների ստաջին երեք արմատների արժեքները, որոնք բերված են 5-ի աղյուսակում: A, B, C և D զործակիցների համապատասխան արժեքները բերված են N 2 աղյուսակում: Ստացված տվյալներն հիման վրա տալիս են միայն մաքուր ծոման և սահճի հաշվառման դեպքում ստացվող հաճախությունների հարաբերությունները, որոնց կապը ծոման և սահճի կոշտությունների հարաբերությունից սխեմատիկ կերպով ցույց է տրված եկ. 1-ում:

Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս սահճի դեֆորմացիաների նշանակալից ազդեցությունը տատանման հաճախությունների վրա և առանձնապես տատանման րսրծի ձևերի հաճախությունների վրա:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Тимошенко. Колебания в инженерном деле. Физматгиз, 1959.
2. Назаров А. Г. Методы инженерного анализа сейсмических сил. АН АрмССР, Ереван, 1959.
3. Норчинский Н. Л. Вибрация качениях зданий, вызываемая вибрацией грунта. Строительная промышленность, № 6, 1950.
4. Филиппов А. И. Колебания упругих систем. АН Украинской ССР, Киев, 1956.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

В. А. КАРАПЕТЯН

К ВОПРОСУ ГРАНИЦЫ АРМИРОВАНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ЛЕГКОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА
НА ЛИТОНДНОЙ ПЕМЗЕ*

В [1—3] приводятся результаты исследования вопросов предельного армирования изгибаемых, а также внецентренно сжатых элементов из тяжелого бетона.

В статье приводятся результаты экспериментального исследования влияния легкого бетона марок 200—350 на величину параметра $\frac{\sigma}{R}$ (σ — предел текучести арматуры, R — характеристика прочности бетона, μ — коэффициент армирования сечения), характеризующего границу предельного армирования сечения.

Исследованию подвергались балки, изготовленные из бетона на литондной пемзе Джраберского месторождения. В качестве рабочей арматуры применялась горячекатаная сталь периодического профиля марки 35 ГС. Одновременно для сопоставления результатов были испытаны балки из тяжелого бетона на базальтовом щебне. Всего было испытано 20 балок, из коих 18 из легкого и остальные из тяжелого бетона. Кубиковая прочность легкого бетона в образцах изменялась в пределах от 150 до 350 кг/см², а коэффициент армирования в пределах 0,0117—0,0488. Одна группа балок была спроектирована так, чтобы исчерпание их несущей способности происходило в результате текучести арматуры. Другая же группа балок характеризовалась тем, что исчерпание их несущей способности должно было наступить вследствие разрушения бетона сжатой зоны. Схема армирования балки показана на рис. 1. Арматура образцов представляла вязанный каркас. Поперечная арматура располагалась только в опорных участках для предохранения их от преждевременного разрушения. Образцы изготавливались в металлических формах. Одновременно бетонировали по две балки-близнеца. Уплотнение осуществлялось глубинным вибратором. Все образцы до 28-дневного возраста хранились во влажных опилках, а затем в испытательной станции. Для изготовления опытных образцов применялся цемент Араратского завода, активность которого к моменту приготовления бетона составляла в растворе жесткой консистенции 500 кг/см² в пластичной 400 кг/см². Составы бетонов приведены в табл. 1.

* Научный руководитель проф. В. В. Пинаджян.

Арматурная сталь испытывалась согласно ГОСТ. Определялись предел текучести, предел прочности, относительное удлинение и модуль упругости стали. Характеристики испытанных балок приведены в табл. 2. Балки испытывались под кратковременной нагрузкой по схеме, показанной на рис. 1. Измерение деформаций арматуры и бетона производилось в зоне чистого изгиба при помощи тензодатчиков сопротивления с базой 20 мм и 50 мм соответственно для арматуры и бетона.

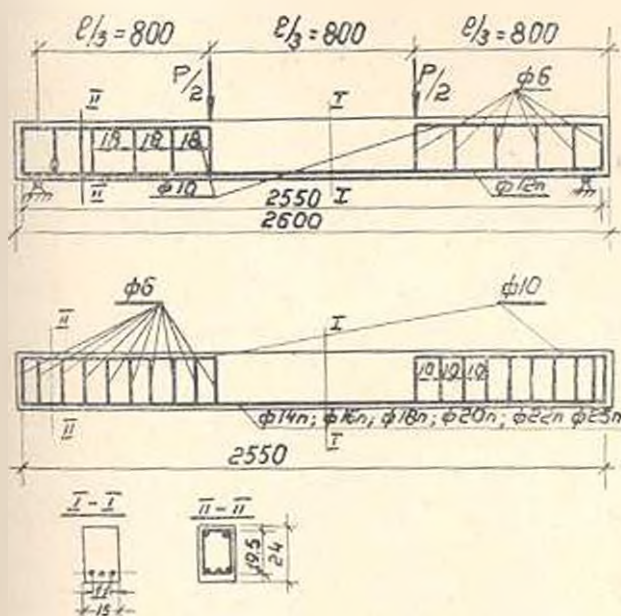


Рис. 1.

Датчики на бетоне располагались по высоте сечения в середине пролета балки, а также в двух смежных сечениях на расстоянии 15 см от среднего сечения. Кроме того, датчики были наклеены на верхней и нижней гранях балки. Часть балок загружалась до момента появления трещин, затем они разгружались и защитный слой бетона в зоне образования трещин удалялся; арматура тщательно очищалась и на нее наклеивались датчики. Другая часть балок испытывалась с заранее оголенной на отдельных участках арматурой. Длина этих участков принималась не более 30 см, необходимой для наклеив-

Таблица 1

Серия образцов	Проектная марка бетона	Расход материалов на 1 м ³ бетона в кг				Фактическая кубиковая прочность бетона в возрасте 28 дней
		цемент	песок	щебень	вода	
I	150	160	550	630	250	157
II	350	580	550	550	250	390

Таблица 2

№ п.п	Серия балок	Шифр балок*	Размеры сечения, см			Характеристики арматуры				Процент армирова- ния сече- ния, %	Прочность бетона в момент испы- тания балок, кг/см ²	
			b	h	h ₀	F _a см ²	R _s кг/см ²	R _г кг/см ²	R _п %		призматическая прочность R _{пр}	кубиковая R _{куб}
1	I	ЛБ-I-1	15,0	24,0	20,5	3,38	1602	7200	22	1,17	180	235
2		ЛБ-I-1'	15,0	24,0	20,5	3,38	4600	7150	22	1,17	180	235
3		ЛБ-I-2	15,0	24,0	20,5	4,62	4200	6400	23	1,56	180	235
4		ЛБ-I-2'	15,1	24,0	20,5	4,62	4220	6420	23	1,56	180	235
5		ЛБ-I-3	14,9	24,0	20,5	6,03	4000	6600	23	1,96	180	202
6		ЛБ-I-3'	15,0	24,0	20,5	6,03	4850	6610	22	1,96	180	202
7		ЛБ-I-4	14,7	24,2	20,5	7,63	4030	6160	22	2,19	180	202
8		ЛБ-I-4'	15,0	23,9	20,5	7,63	4600	7180	25	2,49	180	202
9	I ^{аа}	ЛБ-II-2	15,0	24,0	20,5	14,73	4190	6820	23	4,88	192	235
10		ЛБ-II-2'	15,0	23,8	20,5	14,73	4280	6700	24	4,88	192	235
11		ЛБ-II-1	14,8	24,0	20,5	9,11	4200	6550	22	3,07	305	392
12		ЛБ-II-1'	15,1	24,0	20,5	9,41	4350	6750	22	3,07	305	392
13		ЛБ-II-2	15,0	24,0	20,5	11,10	4030	6440	23	3,71	305	392
14		ЛБ-II-2'	14,9	24,2	20,5	11,40	4050	6480	23	3,71	305	392
15		ЛБ-II-3	15,0	24,0	20,5	13,56	4130	6420	24	4,45	295	368
16		ЛБ-II-3'	14,9	24,0	20,5	13,56	4100	6450	23	4,45	295	368
17	III	ЛБ-III-23	16,0	24,0	21,6	7,63	3340	—	—	2,49	294	377
18		ЛБ-III-24	15,9	24,0	21,6	7,63	3210	—	—	2,49	294	377
19	IV	ТБ-1	15,1	24,1	20,5	6,03	1900	6710	22	1,96	260	380
20		ТБ-2	15,0	24,0	20,5	6,03	4875	6675	23	1,96	260	380

* ЛБ — легкий бетон; ТБ — тяжелый бетон.

** балки были пронумерованы.

Таблица 3

Номера балок	Вид бетона	R_b кг/см ²	$R_{пр}$ кг/см ²	ρ	$\sigma_s = \frac{\sigma_{s0}}{R_s}$	$\sigma_{пр} = \frac{\sigma_{пр0}}{R_{пр}}$	$\sigma_{сж} = \sigma_{сж0} \frac{\sigma_s}{\sigma_T}$	$\sigma_{пр} = \sigma_{пр0} \frac{\sigma_s}{\sigma_T}$	Величины изгибающего момента $m \cdot m$			Характер разру- шения балок
									$M_{оп}$	$M_{рас}$	$M_{рас}^2$	
ЛБ-1-1	Легкий бетон на антоцидовой щелочи	235	180	0,0117	0,23	0,31	0,28	0,37	3,48	3,07	5,85	по арматуре
ЛБ-1-1'		235	180	0,0117	0,23	0,31	0,28	0,37	3,36	3,07	5,85	то же
ЛБ-1-2		235	180	0,0156	0,28	0,36	0,32	0,41	3,60	3,62	5,85	то же
ЛБ-1-2'		235	180	0,0156	0,28	0,36	0,35	0,45	4,09	3,62	5,85	то же
ЛБ-1-3		202	180	0,0196	0,47	0,53	0,44	0,50	5,20	4,60	5,04	по бетону
ЛБ-1-3'		202	180	0,0196	0,47	0,53	0,53	0,60	5,00	4,60	5,04	по арматуре
ЛБ-1-4		202	180	0,0249	0,50	0,56	0,44	0,50	5,40	5,09	5,04	по бетону
ЛБ-1-4'		202	180	0,0249	0,55	0,63	0,40	0,52	5,67	5,09	5,04	то же
ЛБ-2		235	192	0,0488	0,87	0,92	0,45	0,59	5,20	7,10	5,80	то же
ЛБ-2'		235	192	0,0488	0,88	0,94	0,45	0,59	4,80	7,10	5,80	то же
ЛБ-II-1		392	305	0,0307	0,33	0,42	0,39	0,50	7,72	6,83	9,81	по арматуре и бетону
ЛБ-II-1'		392	305	0,0307	0,34	0,44	0,38	0,49	7,67	6,83	9,81	по арматуре
ЛБ-II-2		392	305	0,0371	0,38	0,49	0,37	0,48	8,54	8,56	9,81	по бетону
ЛБ-II-2'		392	305	0,0371	0,38	0,49	0,37	0,48	8,80	8,56	9,81	то же
ЛБ-II-3		362	295	0,0445	0,50	0,62	0,40	0,50	8,97	8,43	9,20	то же
ЛБ-II-3'		368	295	0,0445	0,50	0,62	0,42	0,52	9,46	8,43	9,20	то же
ТБ-1	тяжелый	380	260	0,0196	0,25	0,37	0,31	0,46	5,51	5,25	9,34	по арматуре
ТБ-2	бетон	380	260	0,0196	0,25	0,37	0,32	0,47	5,80	5,25	9,34	

ки тензодатчиков. Для измерения средних деформаций арматуры между трещинами к арматурным каркасам приваривались штыри. Измерение средних деформаций производилось переносной мессурой с ценой деления 0,01 мм в середине пролета и у опор балки. Образцы испытывались на гидравлическом прессе типа ГРМ-2, настроенном в зависимости от ожидаемой прочности балок на 10 и 25 т. Балки центрировались по физической оси. Нагружение их производилось ступенями, равными 0,1 от ожидаемой разрушающей нагрузки с поддержкой 15 мин на каждом этапе нагружения. Результаты проведенных испытаний представлены в табл. 3. Там же приведены расчетные величины изгибающих моментов, вычисленных по формулам [4]:

$$M_{пр}^1 = R_a b h_0^2 \alpha (1 - 0,5 \alpha), \quad (1)$$

$$M_{пр}^2 = 0,4 b h_0^2 R_a, \quad (2)$$

где $\alpha = \frac{\sigma_s F_s}{b h_0 R_a}$.

В наших вычислениях было принято $R_a = 1,1 R_{пр}$.

Анализ данных, приведенных в табл. 3, показывает, что одновременное разрушение балок по бетону и арматуре при легком бетоне М 200 произошло в случае, когда $\alpha = \frac{\sigma_s}{R_a}$ равно 0,47 или при

$\alpha_{пр} = \frac{\sigma_s}{R_{пр}}$, равным 0,53. В графах 8 и 9 приведены значения α_s и α_0 , полученные в результате прямых измерений напряжений в арматуре σ_s при разрушении балки, несколько отличающихся от величины σ_r — предела текучести арматуры. Нетрудно заметить, что между величинами α_s , $\alpha_{пр}$ и соответствующими величинами α_s^0 и α_0^0 в случае

одновременного истощения прочности арматуры и бетона расхождение невелико.

По результатам проведенных испытаний рекомендуется для изгибаемых элементов из легкого железобетона на литойной невязе параметр, характеризующий границу предельного армирования, принимать равным $\alpha_s \approx \alpha_{пр} = 0,5$ при марке легкого бетона 200 и 0,4 при марке бетона 350.

Հ. Ա. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ,

ԻՐԱՌԻՆԱՅԻՆ ՊԵՐԶԱՔԻ ՀԻՄՆԱՆ ՎՐԱ ՊԱՏՐԱՍՏԱԿԱՆ ԽԵԹԻՎ ԵՐԱԴՐՈՒՄՆՈՆ
ՄՈՎՈՂ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐԻ ՈՍՀՄԱՆԱԶՆԻ, ԱՐԴԱՆԱԿԱՐԴԱՆ ՀԱՐՅԻ ՇՈՐՔԸ

Ա Վ Փ Ի Ն Փ Ի Ն Վ

Հոդվածում բերված են թվեր և կրկնաթիվներ ձեռք գրված տեղանիշների համար
վածքի անվանադիր ամրանագրումը բնութագրող պարամետրի՝ $\frac{\sigma_s}{R}$ -ի

(որ α -ամրանի հոսունության սահմանն է, R -րհատնի ամրության բնութագիրը, α կտրվածքի ամրանավորման զործակիցը) և թեթև ռհատնի մարկայի միջև գոյություն ունեցող կապի էքսպերիմենտայ հետազոտությունների արդյունքները: Ուսումնասիրության ևն ենթարկված Ջրարերի հանքավայրի լիթոդային պեմդայի հիման վրա պատրաստված երկաթբետոնի հեծանների ամրանավորված ՅԾԴՄ մարկայի պողպատի պարբերական կտրվածքի ձեռքով:

Ըստ կոտարված փորձարկումների արդյունքների, առաջարկվում է լիթոդային պեմդայի հիման վրա պատրաստված երկաթբետոնի ծովող էլեմենտների աշմանային ամրանավորման պարամետրի մեծությունն բնդունել, 200 մարկայի բետոնի համար՝ $\alpha_k = \alpha_{\text{пр}} = 0,5$, իսկ ՅԾ0 մարկայի համար՝ 0,4:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гвоздев А. А. Предельное армирование изгибаемых элементов, граница между первым и вторым случаями внецентренного сжатия и расчет по второму случаю. Со. НИИЖБ „Расчет и конструирование железобетонных конструкций“. Госстройиздат, 1964.
2. Дегтярев В. В. О границе применения формулы для расчета прочности изгибаемых элементов, приведенной в СН 200—62. Исследование прочности и долговечности транспортных сооружений. Труды ЦНИИС, вып. 60, М., 1966.
3. Булгаков В. С., Корольков В. Т. О предельном армировании элементов из высокопрочного бетона. Бетон и железобетон. № 5, 1967.
4. СНиП II—В. 1—62. Бетонные и железобетонные конструкции. М., 1962.

Е. А. НЕРСЕСЯН

К ВОПРОСУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЖИЛИЩНО-БЫТОВОЙ
НАГРУЗКИ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В статье приводятся результаты вероятностного моделирования на ЦВМ „УРАЛ-3“ графиков нагрузок отдельных электробытовых приборов для определения существующих нагрузок и прогнозирования пикового спроса мощности трансформаторов, питающих жилищный сектор города. Основой для построения математической модели послужили количество, включенная мощность, характер использования приборов (типовые графики нагрузок), современный и перспективный уровень насыщенности этих приборов и случайные числа, которые и явились входными данными ЦВМ. Для выявления исходных параметров были использованы материалы исследования электрических нагрузок городских сетей, полученные в АрмНИИЭ и в других организациях [1-4] с учетом программы производства прибора на будущее время. Результаты анализа обработанных данных исследований для современного и перспективного периода приведены в следующей таблице:

Наименование электробытовых приборов	Современный (исходный) период			Перспективный (расчетный) период			
	средняя мощность (вт)	Охват приборов в % для квартир		средняя мощность (вт)	Обхват приборов в % для квартир		
		с газовыми лампами	без газовых плит		с газовыми электроплитами	с газовыми электроплитами	с газовыми электроплитами
Освещение	310	100	100	350	100	100	100
Радиоприемники, радиолы, магнитофоны	73	75	73	60	95	95	95
Телевизоры	160	68	67	100	90	90	90
Утюги	150	59	95	400	100	100	70
Холодильники	144	55	45	100	95	95	95
Стиральные машины	386	21	40	300	50	50	—
Пылесосы, полотеры	100	30	15	350	80	80	80
Плитки	572	—	96	500	100	—	—
Кастрюли, чайники, кофейники, самовары	—	—	—	600	30	—	—
Духовки	—	—	—	950	20	—	—
Раднаторы, камины, рефлекторы	—	—	—	700	20	20	10
Водонагреватели	—	—	—	1000	—	20	—
Кухонная стационарная электроплита	—	—	—	2000	—	70	—
То же, большой мощности	—	—	—	5000	—	30	—
Новые приборы	—	—	—	1500	10	20	5

Для современного периода принято 8 видов нагрузок, изучен характер их работы и для каждого прибора построено 10 типовых графиков возможного их использования за пиковые сутки. Для перспективного периода принято 15 видов нагрузок и построены 30 типовых графиков использования отдельных приборов за пиковые часы.

Типовые графики использования отдельных приборов вводились в запоминающее устройство ЦВМ. Затем, как исходные данные машины задавалось число подключенных к трансформатору абонентов и

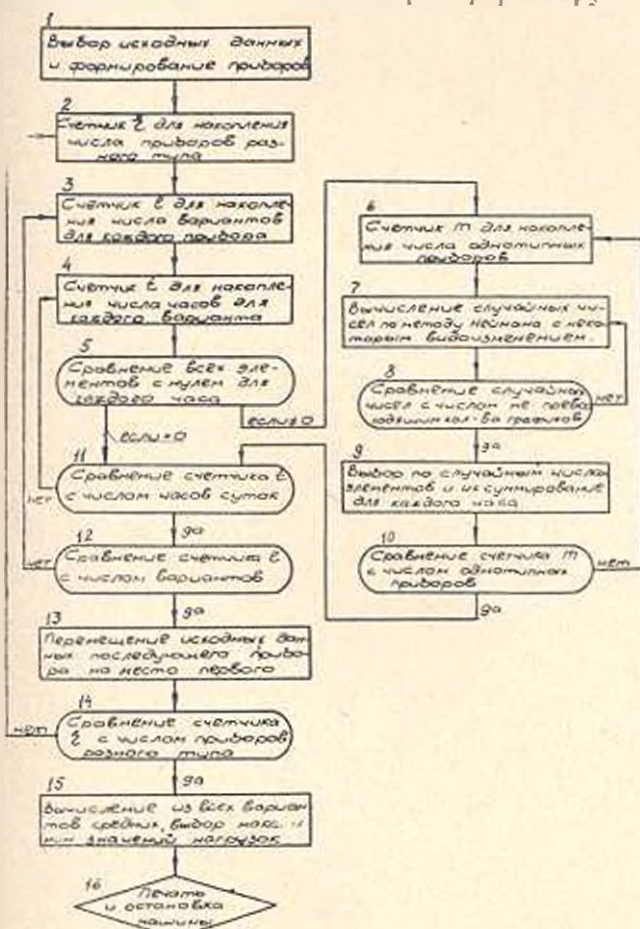


Рис. 1. Логическая блок-схема программы моделирования на „УРАЛ-3“ вероятных режимов нагрузок трансформаторов.

уровень насыщенности семей приборами. Случайная выборка из этих графиков производилась при помощи псевдослучайных чисел, вырабатываемых машиной по специальной подпрограмме, основанной на использовании некоторого рекуррентного соотношения. Она была составлена по методу Неймана [5, 6] с некоторым видоизменением, учитывающим возможности „УРАЛ-3“.

Последовательность операций при реализации алгоритма на ЦВМ представлена на рис. 1.

Суть метода Монте-Карло заключается в многократной реализации на ЦВМ случайных режимов нагрузок. Ввиду ограниченности статистических данных, моделирование дает приближенное значение искомых параметров.

Были моделированы 57 суточных графиков жилых домов города Еревана, для которых имелись данные измерений фактических нагрузок. Анализ результатов показал, что после 20 реализаций особенные изменения в режиме нагрузки не наблюдаются, при этом математическое ожидание максимальной нагрузки и форма кривых достаточно хорошо совпадают с фактическими графиками, полученные путем измерения. Диапазон отклонений среднего значения максимальных нагрузок от фактически измеренных для одного и того же объекта составляет (0—20)% при среднем отклонении 4,8%. Большие отклонения наблюдались при малом числе абонентов (менее 30 квартир). По величине средней нагрузки за пиковые часы суточных графиков определялись максимальные мощности. Были решены 24 примера моделирования пикового спроса мощности трансформаторов на перспективный период, питающих число квартир от 30—600 с газонными, газовыми и электрическими плитами. По результатам моделирования строились кривые зависимости максимальной нагрузки от числа квартир (рис. 2).

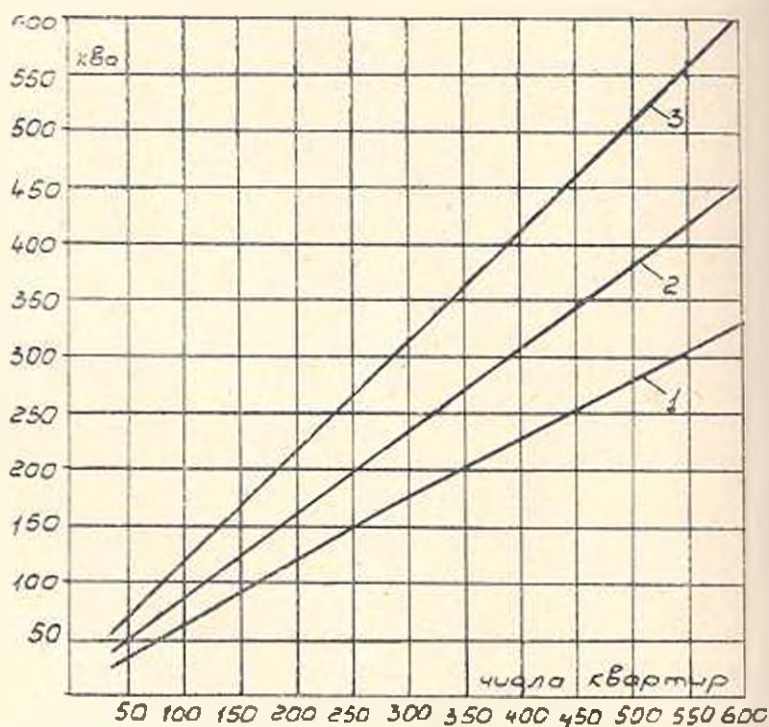


Рис. 2. Кривые зависимости перспективных нагрузок трансформаторов от числа квартир с газификацией быта (1), без газификации быта, с частичным электропечиприготовлением (2) и со стационарными кухонными электроплитами (3).

Для иллюстрации метода приводится один из примеров моделирования вероятного режима нагрузок трансформаторов из Ереванской городской электрической сети, который питает 32-х квартирный газифицированный жилой дом. Согласно разработанной программе, для этого примера произведены 20 игровых вариантов на „УРА-1-3“ по методу Монте-Карло. Машинное время решения этой задачи составило 2 минуты (при скорости „УРА-1-3“ — 5000 операций в секунду). По выходным данным вычислительной машины, представляющие максимальные, средние и минимальные значения нагрузки в киловольт-амперах, строились соответствующие суточные графики нагрузок трансформаторов (рис. 3а). Для измерения фактических нагрузок и

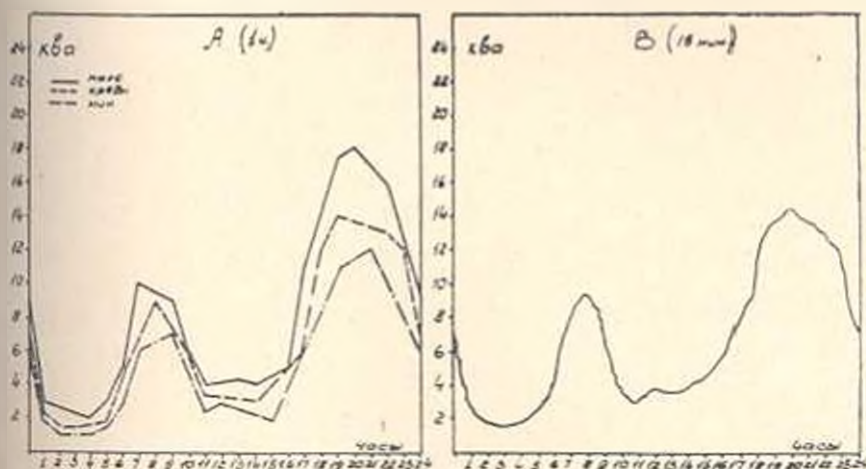


Рис. 3. Сопоставление усредненных графиков суточной нагрузки одного трансформатора, полученных путем моделирования (А) и в эксплуатационных условиях (В).

снятия суточных графиков на фидере подстанции этого жилого дома в течение 4-х месяцев были включены самопишущие амперметры и вольтметры. Зарегистрированы 146 суточных графиков зимней нагрузки и путем математической обработки данных измерений построен усредненный график нагрузки. Графики трансформатора, полученные путем моделирования и снятые в эксплуатационных условиях, показаны на рис. 3. Как видно из рис. 3, между ними имеется удовлетворительная сходимость.

АрмНИИЭ

Поступило 8.XI.1967.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зорин В. В., Ничипорович Л. В. К определению расчетных нагрузок в городских электрических сетях. Вестник КНИИ. Серия электроэнергетическая, Киев, №2, 1966.
2. Казбинский Л. Д. Нормы удельного электропотребления на жилищно-бытовые и коммунальные нужды. Тр. Ленинградского инженерно-экономического института, вып. 11 1962.

3. Михайлова В. М. Перспективные удельные расходы электроэнергии в жилых зданиях. Тезисы к докладам научно-технического совещания „Основные направления проектирования и развития городских электрических сетей. Изд. „Энергия“, 1966.
4. Сурбиновский Г. В., Федосенко Р. Я. Электрические нагрузки жилых зданий. Журн. „Электрические станции“, № 3, 1966.
5. Бусленко Н. П., Голенико Д. И., Соболев И. М., Сригович В. Г., Шрейдер Ю. А. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). М., 1962.
6. Голенико Д. И. Моделирование и статистический анализ псевдослучайных чисел на электронных вычислительных машинах. М., 1965.

УДК 621.35+681.12

Сравнительные свойства электрохимических счетчиков времени наработки.
Казарян Э. В., Шорыгин А. П. «Известия АН АрмССР
(серия Т. Н.)», т. XXI, № 4, 1968, 3—11

Рост требований к надежности современной аппаратуры автоматики, радиоэлектроники и измерительной техники диктует необходимость создания простых малогабаритных счетчиков машинного времени (СМВ) для получения надежных статистических данных о времени наработки. В статье указаны основные требования, предъявляемые к СМВ, и проведено сравнение известных отечественных и зарубежных образцов электромеханических и электрохимических СМВ. Отмечается, что по величине потребляемой мощности и пригодности для работы с датчиками с малым выходным напряжением и габаритом наилучшими являются электрохимические элементы.

Библиографий 12 Иллюстраций 2 Таблиц 3

УДК 621.313.322.045-82+621.317.4

Применение эффекта Холла в полупроводниках для измерения тока в стержнях усложнительных обмоток гидрогенераторов. Акопян Р. Е., Тер-Газарян Г. Н. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 4, 1968, 12—17.

Для измерения тока в стержнях усложнительной обмотки гидрогенератора используется датчик Холла, который по сравнению с магнитным поясом (поясом Роговского) имеет существенные преимущества. Для повышения чувствительности датчика Холла предлагается схема импульсного питания послеземного.

Библиографий 2 Иллюстраций 6

УДК 621.3.016.2+621.317.392

Алгоритмы определения частных производных от потерь мощностей по мощностям отдельных станционных узлов. Хачатрян В. С. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 1, 1968, 18—26.

Предлагается метод определения частных производных, необходимых в управлении экономичных режимов энергосистем. Предложенный метод позволяет учесть взаимовлияние параметров электрических режимов.

Библиография 4. Таблиц 2.

К вопросу сварки алюминиевых сплавов в контролируемой атмосфере повышенного давления. Карамян Р. С., Воропай Н. М., Рабкин Д. М. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 4, 1968, 27—33.

Изучено влияние давления контролируемой атмосферы аргона на электрофизические характеристики дуги, плотность швов и испарение элементов при сварке алюминия и сплавов систем $Al-Mg$, $Al-Zn-Mg$. Приведены фотограммы дуги переменного тока с осциллограммами напряжений при давлении контролируемой атмосферы аргона от 0,1 до 6,0 ата. Обнаружена закономерность увеличения эффективной мощности и напряжения дуги при увеличении давления аргона. Исследовано влияние давления аргона на процессы распространения тепла. Установлено, что повышение давления аргона до 3,0 ата резко уменьшает пористость швов и испарение элементов при сварке алюминиевых сплавов.

Библиографий 3. Иллюстраций 2. Таблиц 3.

О методике использования акселерограмм землетрясений в задачах сейсмостойкости сооружений. Дарбинян С. С. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 4, 1968, 34—40.

Обсуждаются вопросы использования акселерограмм при решении задач сейсмостойкости сооружений. В основном выясняются вопросы выбора шага при табулировании акселерограмм, выбора продолжительности колебательного процесса основания сооружения и метода решения задач сейсмостойкости с помощью ЭВМ.

Исследования проведены на примере системы с одной степенью свободы.

Библиографий 3. Иллюстраций 2. Таблиц 3.

К определению частот и форм колебаний стержней при совместном учете деформаций изгиба и сдвига. Хачиян Э. Е. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 4, 1968, 41—49.

Получены частотные уравнения и формы колебания стержней при совместном учете деформации изгиба и сдвига. Для некоторых случаев закрепления на концах решены характеристические уравнения при различных отношениях изгибных и сдвиговых жесткостей и полученные результаты сравнены с аналогичными данными, но без учета влияния деформации сдвига. Отмечается, что и гибких высоких сооружениях влияние деформаций сдвига существенно для высших форм колебания.

Библиографий 4. Иллюстраций 3. Таблиц 2.

К вопросу границы армирования изгибаемых элементов из легкого железобетона на литойной пемзе. Каралетян В. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 4, 1968, 50—55.

В статье приводятся результаты экспериментального исследования зависимости параметра $\frac{\sigma_{\text{т}}}{R}$ (где $\sigma_{\text{т}}$ — предел текучести арматуры, R — характеристика прочности бетона, μ — коэффициент армирования сечения), характеризующего границу предельного армирования сечения, от марок легкого бетона. Исследованию подвергались блоки, изготовленные из бетона на литойной пемзе Джаберского месторождения. В качестве рабочей арматуры применялась горячекатаная сталь периодического профиля марки 35 ГС.

По результатам проведенных испытаний, для изгибаемых элементов из легкого железобетона на литойной пемзе, величину параметра, характеризующего границу предельного армирования, рекомендуется принять равной $\sigma_{\text{т}} \approx \sigma_{\text{пр}} = 0,5$ при марке бетона 200 и 0,4 — при марке 350.

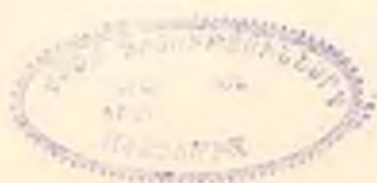
Библиографий 4. Иллюстраций 1. Таблица 3.

К вопросу прогнозирования жилищно-бытовой нагрузки городских электрических сетей. Нерсесян Е. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 4, 1968, 56—60.

Предлагается методика расчета и прогнозирования жилищно-бытовых нагрузок городских электрических сетей, основанная на принципе вероятностного моделирования на ЦВМ графиков нагрузок отдельных приборов с применением метода Монте-Карло.

По разработанным в АрмНИИЭ программным решены конкретные примеры на «Урал-3» и приведены результаты исследования.

Библиографий 6. Иллюстраций 3. Таблица 1.



Ր ՈՎ Ա Ն Ի Ա Կ ՈՒ Թ Յ ՈՒ Ն

ՉԱՓՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

Է. Վ. Ղազարյան, Ա. Պ. Շուրիգին. Աշխատատեղերի էլեկտրաքիմիական հաշվիչների համեմատական հատկությունները 3

ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆԻԿԱ

Ռ. Լ. Հակոբյան, Գ. Ն. Տեր-Ղազարյան. Կիսահաղորդիչներում առաջացող ռոչի էֆեկտի էկրանումը փոքրագնեքատրոնների հանգստացնող փաթույթների ձողերում հոսանքի շափման համար 12

Վ. Ս. Խաչատրյան. Հզորությունների հզորության կորուստների մասնակի ամսանշանների որոշման ալգորիթմ ըստ առանձին կայանների 13

ՄԵՏԱԼԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Ռ. Ս. Փարամյան, Ն. Մ. Վոբոսով, Գ. Մ. Ռաբկին. Ռաբար ճեղման կարգավորող մթնոլորտում ալյումինի միահալվածքների հոքի հարցի շուրջը 22

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Ս. Ս. Պալչինյան. Կաուսթիկների սեյսմակալունությունը խեղդիներում երկրաշարժերի եղանակորոշման ռադիոտեղեկության մեխանիկայի մասին 34

Է. Լ. Խաչիկյան. Մոման և սահքի ղեկավարման համատեղ հաշվառման դեպքում հեղուկ հեղուկալուծույթների և տառանման ձևերի որոշման շուրջը 41

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ԿՈՆՍՏՐԱԿՏԻՎՆԻՐ

Վ. Ա. Կարապետյան. Թեթև երկաթեռան ծովոց էլեմենտների ամրակալումից առաջին հարցի շուրջը 50

ԳԻՏԱԿԱՆ ՆՈԹՆՐ

Ե. Ա. Ներսիսյան. Քաղաքային էլեկտրական ցանցերի բնակարան-կենցաղային բռն-հաշիվի կառուցողական հարցի շուրջը 56

СОДЕРЖАНИЕ

Измерительная техника

- Э. В. Кизарян, А. П. Шорыгин.* Сравнительные свойства электрохимических счетчиков времени наработки 3

Электротехника

- Р. Е. Акопян, Г. Н. Тер-Газарян.* Применение эффекта Холла в полупроводниках для измерения токов в стержнях успокоительных обмоток гидрогенераторов 12
- В. С. Хачатрян.* Алгоритм определения частных производных от потерь мощностей по мощностям отдельных станционных узлов 18

Металловедение

- Р. С. Карамян, Н. М. Вороний, Д. М. Рабкин.* К вопросу сварки алюминиевых сплавов в контролируемой атмосфере повышенного давления . . . 27

Строительная механика

- С. С. Дарбинян.* О методике использования акселерограмм землетрясений в задачах сейсмостойкости сооружений 34
- Э. Е. Хачиян.* К определению частот и форм колебаний стержней при совместном учете деформаций изгиба и сдвига 41

Строительные конструкции

- В. А. Карапетян.* К вопросу трещины армирования изгибаемых элементов из легкого железобетона на антоциановом цементе 50

Научные заметки

- Е. А. Норсисян.* К вопросу прогнозирования жилищно-бытовой нагрузки городских электрических сетей 56