

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ-ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱԿԱՆ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ԻՅՎԵՏԻՅԱ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ.
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՐԱԿՐԱԿԱՆ ԿՈՒՆԻՅՈՒ

Սյունց Զ. Տ., Արեւելահայկի Վ. Վ., Գառնարյան Ա. Մ., Եղիազարյան Ի. Վ., Կասյան Մ. Վ., Նազարով Ա. Կ. (պատ. խմբագիր), Ալմանով Մ. Չ., Տեր-Ստեփանյան Գ. Ի., Փինաջյան Վ. Վ. (պատ. խմբագիր տեղակալ):

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Авоиц Г. Т., Алексеевский В. В., Гаспарян А. М., Егиазаров И. В., Касьян М. В., Назаров А. К. (ответ. редактор), Пинкосян В. В. (зам. отв. редактора), Симонов М. З., Тер-Степанян Г. И.

От редакции

Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР утвердил ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц», согласно которому эта система с 1963 г. должна применяться как предпочтительная во всех областях науки, техники и народного хозяйства, а также при преподавании.

Учитывая важность надлежащей подготовки внедрения Международной системы единиц в народнохозяйственную практику и правильного освещения в научно-технической литературе этих вопросов, редакция помещает в настоящем номере подготовленную и одобренную Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР статью: «К введению Международной системы единиц в СССР».

Редакция обращается к читателям журнала с просьбой присылать свои сообщения и предложения по вопросам практического осуществления и целесообразных способов внедрения Международной системы единиц в институты, конструкторских бюро и других организациях и учреждениях.

К ВВЕДЕНИЮ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ В СССР

Развитие науки и техники за последние годы поставило вопрос о более высоких требованиях к обеспечению единообразия и точности измерений. Эти требования особенно возрастают в связи с широким внедрением средств автоматизации, вычислительно-управляющей техники, где вопросы унификации единиц как важнейшего элемента информации имеют первостепенное значение.

Для удовлетворения этих требований необходимо иметь рациональную систему единиц измерения физических величин.

В Советском Союзе государственными стандартами на единицы измерений для преимущественного применения приняты:

система МКС для измерения механических и акустических величин (ГОСТ 7664—61 и ГОСТ 8849—58) с основными единицами метр, килограмм, секунда и 22 производными единицами (16 для механических и 6 для акустических измерений);

система МКСА для измерения электрических и магнитных величин (ГОСТ 8033—56) с основными единицами метр, килограмм, секунда, ампер и 17 производными единицами;

система МКСТ для измерения тепловых величин (ГОСТ 8550—61) с основными единицами метр, килограмм, секунда, градус Кельвина* и 12 производными единицами;

* Предусматривается применение двух температурных шкал: термодинамической температурной шкалы и Международной практической температурной шкалы. Температуры по каждой из этих шкал могут быть выражены двойным способом — в градусах Кельвина и в градусах Цельсия.

система МСС для измерения световых величин (ГОСТ 7932—56) с основными единицами метр, секунда, свеча и 7 производными единицами.

Таким образом, указанные системы в своей совокупности содержат 6 основных единиц, которые воспроизводятся с помощью государственных эталонов на основе принятых определений для этих единиц, и 58 производных единиц для измерения различных физических величин и могут рассматриваться как составные части единой системы единиц.

Кроме указанных систем, действующими государственными стандартами на единицы измерений допускается также применение:

системы СГС для измерения механических, акустических, электрических и магнитных величин (ГОСТ 7664—61, ГОСТ 8849—58 и ГОСТ 8033—56) с основными единицами сантиметр, грамм, секунда и соответствующими производными единицами;

системы МКГСС для измерения механических величин (ГОСТ 7664—61) с основными единицами метр, килограмм-сила, секунда и соответствующими производными единицами;

ряда внесистемных единиц для измерения механических, акустических, тепловых и электрических величин.

Единицы систем СГС, МКГСС и внесистемные допущены к применению в связи с тем, что они получили широкое применение в практике, хотя для преимущественного применения рекомендованы единицы систем МКС, МКСА, МКСГ и МСС.

Наличие ряда систем единиц для измерения различных физических величин, а также большого числа распространенных внесистемных единиц вызывает значительные трудности и неудобства, связанные с переводом значений измеряемых величин из одной системы в другую.

Остро назрела необходимость в единой универсальной системе единиц для всех отраслей науки и техники и народного хозяйства, охватывающей измерения механических, тепловых, электрических, магнитных, акустических и световых величин.

Наиболее рациональной системой единиц для измерения различных физических величин является система, основанная на 6 основных единицах: метр, килограмм, секунда, ампер, градус Кельвина, свеча.

Совокупность единиц, принятых в СССР для преимущественного применения (6 основных и 58 производных), содержит в себе все элементы, необходимые для образования единой универсальной системы единиц измерения различных физических величин.

В результате детального рассмотрения и согласования в ряде международных организаций: Международной организации по метрологии, Международной организации по стандартизации (ИСО), Международном союзе чистой и прикладной физики (МСЧПФ), Международной электротехнической комиссии (МЭК) и др., вопрос об унификации единиц измерения получил свое решение путем принятия единой универсальной Международной системы единиц, в основу которой положены 6 указанных выше единиц.

В октябре 1960 г. Одиннадцатая Генеральная конференция по мерам и весам, состоявшаяся в Париже, приняла Международную систему единиц (СИ), состоящую из 6 основных единиц (метр, килограмм, секунда, ампер, градус Кельвина, свеча), 2 дополнительных единиц (радиан, стерадиан) и 27 важнейших произвольных единиц, не предопределяя другие производные единицы, могущие быть добавленными впоследствии. Все указанные 6 основных единиц, обе дополнительные единицы и 27 важнейших производных единиц полностью совпадают с соответствующими основными, дополнительными и производными единицами, принятыми в СССР государственными стандартами на единицы измерений для систем МКС, МКСА, МКСГ и МСС.

18 сентября 1961 г. в Советском Союзе утвержден ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц», который введен в действие с 1 января 1963 г. и устанавливает предпочтительное применение этой системы во всех областях науки, техники и народного хозяйства, а также при преподавании. Этот стандарт не предусматривает введения в СССР каких-либо новых единиц измерения, отличных от принятых в СССР единиц для преимущественного применения.

Основные достоинства системы СИ заключаются в следующем:

1. Унификация единиц физических величин для различных видов измерения.

Система СИ позволяет иметь для каждой физической величины, встречающейся в различных областях техники, одну общую для них единицу, например, джоуль для всех видов работы и количества теплоты вместо применяемых в настоящее время разных единиц для этой величины (килограмм-сила-метр, эрг, калория, ватт-час и др.)

2. Универсальность системы.

Единицы системы СИ охватывают все отрасли науки, техники и народного хозяйства, исключая необходимость применения каких-либо других единиц, и в целом представляют собой единую систему, общую для всех областей измерений.

3. Связность (когерентность) системы.

Во всех физических уравнениях, определяющих производные единицы измерения, коэффициент пропорциональности — всегда безразмерная величина, равная единице.

Так, например, в формуле мощности

$$N = k \frac{A}{t},$$

где:

N — мощность, A — работа и t — время,

в системе СИ, в которой единица работы — джоуль, а единица времени — секунда, для единицы мощности будет:

* Стандарт устанавливает сокращенное обозначение Международной системы единиц русскими буквами СИ (система интернациональная), соответствующее принятому Одиннадцатой Генеральной конференцией по мерам и весам сокращенному обозначению системы латинскими буквами (начальные буквы слов *Système International*).

$$1 \text{ ватт} = \frac{1 \text{ джоуль}}{1 \text{ секунда}}$$

а k — коэффициент пропорциональности, представляющий безразмерную величину, равную единице.

Система СИ позволяет значительно упростить операции по решению уравнений, проведению расчетов и составлению графиков и номограмм, так как отпадает необходимость применения значительного количества переводных коэффициентов.

4. Стройность и связность системы СИ значительно облегчает изучение физических закономерностей и педагогический процесс при изучении общенаучных и специальных дисциплин, а также вывод различных формул.

5. Принципы построения системы СИ обеспечивают возможность образования по мере надобности новых производных единиц и, следовательно, перечень единиц этой системы открыт для дальнейшего расширения.

Большинство единиц СИ получило уже в СССР широкое практическое применение (за исключением 4—5 единиц из 58 производных единиц, предусматриваемых системами МКС, МКСА, МКСГ и МСС).

Следует остановиться на существующей в настоящее время путанице в применении термина «вес», который в обычной практике и в разговорном языке часто используется для характеристики массы (количества вещества), хотя в механике он имеет смысл силы тяжести. Совершенно очевидно, что должны быть приняты меры для ликвидации этой путаницы.

Как известно, вес (P) равен произведению массы (m) на ускорение свободного падения (g).

В связи с тем, что g для различных пунктов Земли имеет разные числовые значения, вес также не является постоянным, в то время как величина массы не зависит от места ее измерения. Между тем, термин «вес» часто неправильно применяется для характеристики массы.

В системе СИ единицей массы является килограмм, а единицей силы (в том числе и силы тяжести, т. е. веса) — ньютон.

Во всех случаях, когда речь идет о количестве вещества, например, о расходе металла или другого материала на изготовление каких-либо изделий (станка, прибора и т. п.), необходимо говорить о массе, выраженной в килограммах (или граммах, кратных или дольных единицах грамма).

В тех случаях, когда необходимо определить подъемную силу или грузоподъемность крана или нагрузку на фундамент и т. п., необходимо говорить о силе тяжести и выражать ее в единицах силы, т. е. ньютонах (в кратных или дольных единицах ньютона).

Внедрение в практику единицы силы — ньютон вместо широко применяемой в настоящее время единицы килограмм-сила будет способствовать ликвидации указанной путаницы и позволит реализовать преимущества, достигаемые благодаря четкому разграничению единиц массы (килограмм) и силы (ньютон).

Введение с 1 января 1963 г. ГОСТ 9867—61 не означает, что все единицы систем СГС, МКГСС и внесистемные должны быть немедленно изъя-

ты из употребления или немедленно заменены единицами СИ во всем народном хозяйстве страны.

Внедрение в практику народного хозяйства единиц системы СИ, еще не получивших широкого практического применения, должно осуществляться постепенно в течение ряда лет, дифференцированно по каждой единице, с учетом области ее применения, наличия приборов, экономической целесообразности и других факторов. Введение в практику единиц СИ должно осуществляться без специальных затрат при условии использования существующего парка соответствующих измерительных приборов до их нормального износа.

Наибольшую сложность для внедрения в народнохозяйственную практику вызовут те единицы СИ, которые еще не нашли широкого применения в инженерных расчетах и для измерения которых в настоящее время отсутствуют измерительные приборы, градуированные в соответствующих единицах, например, для измерения силы в ньютонах, для измерения давления в ньютонах на квадратный метр, для измерения электрической энергии в джоулях и др. Поэтому особое внимание необходимо будет уделить вопросу перехода на единицы системы СИ в области измерения силы (ньютон) и давления (ньютон на квадратный метр), учитывая наличие в стране огромного парка машин и приборов для измерения этих величин и единицах килограмм-сила и килограмм-сила на квадратный сантиметр соответственно, а также другим единицам, получившим широкое применение (например, килограмм-сила на квадратный миллиметр и т. д.).

В ряде случаев встретится необходимость пересчета применяемых единиц в единицы системы СИ. Так, например, для пересчета единицы силы — килограмм-сила в единицу ньютон необходимо пользоваться установленным соотношением между единицей килограмм-сила и единицей ньютон, равным $1 \text{ кгс} = 9,80665 \text{ н}$. Однако подавляющее большинство случаев пересчета может быть значительно упрощено, так как с точностью около 2% можно принять, что $1 \text{ кгс} = 10 \text{ н}$ и таким образом этим простым соотношением можно пользоваться во всех случаях практики, когда представляется возможным пренебречь указанной выше разницей в 2%.

Вообще точность допустимых округлений, которые потребуются при выполнении различных пересчетов единиц, постепенно исключаемых из применения систем СГС и МКГСС и внесистемных, в единицы системы СИ, должна устанавливаться в каждом отдельном случае с учетом условий применения данной единицы.

Внедрение всего комплекса единиц системы СИ во всю вновь разрабатываемую научно-техническую и учебную литературу (монографии, справочники, учебники и т. д.) будет осуществляться в течение ряда ближайших лет, начиная уже с текущего года, наряду с ранее применявшимися единицами. Внедрение единиц СИ будет касаться также всей нормативной и другой документации, к которой относятся стандарты, нормалы, различные проекты, технические условия и т. д. Согласно приказам министра высшего и среднего специального образования СССР и министра

просвещения РСФСР в учебных заведениях вводится преподавание системы СИ.

По мере внедрения в народнохозяйственную практику единиц системы СИ, еще не получивших широкого практического применения, а также оснащения народного хозяйства мерами и измерительными приборами, обеспечивающими возможность измерения в единицах СИ, будет производиться изъятие из практического применения единиц, не входящих в СИ. Для практического введения всех единиц системы СИ в народное хозяйство будет обеспечен выпуск соответствующих таблиц перевода единиц измерения, с указанием возможной степени округления. В издаваемых справочниках и учебной литературе также будут излагаться методы перевода одних единиц в другие для различных физических закономерностей и наиболее целесообразные способы замены единиц дифференцированно по различным видам измерения.

Единицы измерения по всей нормативной документации должны быть увязаны между собой. Например, если единицы системы СИ вносятся в технические условия на какой-то объект, на который, кроме того, имеется также и другая действующая техническая документация, где указаны только ранее применявшиеся единицы измерения, то в этих технических условиях параллельно с вновь вводимыми единицами системы СИ необходимо сохранить также ранее применявшиеся единицы. Таким же образом следует поступать и во всех тех случаях, когда для вновь вводимых в различную техническую документацию единиц системы СИ отсутствуют измерительные средства, позволяющие производить измерения в этих единицах.

Одним из мероприятий явится введение единиц СИ, не получивших до сих пор практического применения, в государственные стандарты на промышленные изделия, сырье и материалы, а также в общетехнические и другие стандарты. Это мероприятие будет осуществляться уже начиная с этого года. При этом единицы СИ будут вводиться и стандарты параллельно, наряду с применяемыми в настоящее время в народнохозяйственной практике для соответствующих величин единицами других систем или несистемными единицами.

Существенным фактором, определяющим успех перехода на единицы системы СИ, должно явиться наличие мер и измерительных приборов по всем видам измерения в единицах этой системы, что связано с новой градуировкой шкал измерительных приборов.

Для обеспечения широкого практического применения единиц системы СИ, еще не получивших распространения, необходимо расширить и улучшить популяризацию преимуществ этой системы, обеспечить издание соответствующей учебной литературы и справочников, провести переобучение персонала и осуществить ряд других мероприятий. Одной из форм изучения системы СИ и вопросов практического внедрения соответствующих единиц должны являться семинары. К руководству семинарами должны привлекаться наиболее квалифицированные специалисты.

Имея в виду, что издание научно-технической литературы должно в

известной степени опережать непосредственную народнохозяйственную практику. Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР обращает внимание издательств научно-технической литературы на необходимость усилить требования к авторам и редакционно-издательским работникам в части проведения работы по введению единиц системы СИ во вновь выпускаемую в свет учебную и научно-техническую литературу с целью обеспечения перехода в этих изданиях на единую систему единиц.

В тех случаях, когда вводимые единицы системы СИ до сих пор не получили широкого практического применения (ньютон, ньютон на квадратный метр и др.), а также при отсутствии приборов, позволяющих производить измерения вышеуказанных единиц, эти единицы должны приводиться наряду с ранее применявшимися единицами. При этом выпуск технической литературы и нормативной документации, законченных разработкой, не должен подвергаться задержке или переделке специально для ввода таких единиц.

Внедрение в народнохозяйственную практику всех единиц системы СИ позволит полностью использовать ее преимущества в нашей стране, а ее международное распространение облегчит и улучшит условия для научного, технического, торгового и культурного общения между странами.

Необходимым условием успешного проведения большой работы по введению в практику народного хозяйства единиц системы СИ является активное участие в этой работе и ответственное отношение к ее выполнению со стороны широких кругов инженерно-технических работников и изыскание ими в каждом отдельном случае наиболее целесообразных технико-экономических решений.

Комитет стандартов и измерительных приборов при Совете Министров СССР

ՍՍՏՄ-ՈՒՄ ԴՐԱՎՈՒՆԵՐԻ ԴԻՋԱԶԳՈՅԻՆ ԽՐՈՏԵՄԻ ԸՆԿՈՒՆՄԱՆ ՎԵՐԱՐՆԵՐՅԱԼ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

ՍՍՏՄ Դրնխարների Սովետին կից Ստանդարտների, չափերի ու չափիչ գործիքների կոմիտեն հաստատել է Միավորների միջազգային սխեման՝ ГОСТ 98 7—61, համաձայն որի այդ սխեմայի 1963 թվականից պետք է կիրառվեն զտնի դիտաթյան, տեխնիկայի և ժողովրդական տնտեսաթյան բոլոր բնագավառներում, միևնույն ժամանակ և դատավանդման մեջ որպես նախընտրելի:

Հաշվի առնելով ժողովրդական տնտեսաթյան պրակտիկայում Միավորների միջազգային սխեմայի ներդրման պատշաճ ձևով նախապատրաստման և դիտա-տեխնիկական գրականաթյան մեջ այդ հարցերի ճիշտ լուսարսման կարևորաթյանը, խմբագրաթյանը այս համարում տպագրում է ՍՍՏՄ Դրնխարների Սովետին կից Ստանդարտների, չափերի ու չափիչ գործիքների

կոմիտեի կողմից նախագատրատուած և հասնութուն ատաղած սալն հոգ-
վածք:

Խմբագրութեանը գիտամ է հանդիսի ընթերցողներին ինատիտտոններում,
կոնտարակտորական բլարոններում և այլ հիմնարկ-ձեռնարկներում Միավոր-
ների միջազգային սիստեմի նպատակահարմար ձևով ներդրման և նրա իրա-
կանացման պրակտիկ եղանակների հարցերին վերաբերող իրենց ատաջար-
կութեանները և հարցադրումները ուղարկել հանդեսին:

ЭНЕРГЕТИКА

Ю. М. ШАХНАЗАРЯН

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ МОЩНОСТЬ ГИДРОГЕНЕРАТОРА
 В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ

При переходном асинхронном режиме генератора, когда изменение скольжения происходит с достаточно большой скоростью, процесс изменения токов в генераторе, связанный с изменением накопленной энергии магнитных полей контуров машины, может значительно отстать от изменения скольжения.

Это отставание тем заметнее, чем больше постоянная времени контуров машины и чем больше скорость изменения скольжения. При этом электромагнитная мощность генератора, найденная с учетом изменения скольжения и называемая динамической, будет заметно отличаться от статической. Исследование таких режимов, как синхронизация, ресинхронизация, качания и т. п. на физических и математических моделях следует вести с использованием реальных динамических характеристик мощности. Исключение могут составлять случаи, когда асинхронная мощность мала. Такие режимы, обычно, исследуются в предположении, движения ротора с постоянным ускорением

$$\delta(t) = \delta_0 - s_0 t + at^2, \quad (1)$$

где

$\delta(t)$ — относительный угол, изменяемый при рассматриваемых режимах по сложному закону; δ_0 — начальное его значение;

$a = \frac{1}{2} \frac{d^2 \delta}{dt^2}$ — ускорение; s_0 — начальное скольжение; t — время.

Рассмотрим асинхронный режим генератора, связанный с шинами неизменного напряжения, через сложную линейную связь (рис. 1). Дадим краткий анализ влияния ускорения движения ротора на электромагнитную мощность генератора.

При выводе формулы были приняты следующие основные допущения:

а) активное сопротивление и переходные процессы в статоре генератора не учитывались;

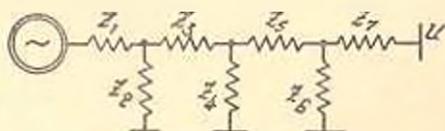


Рис. 1. Рассматриваемая схема передачи.

б) эквивалентная машина считалась симметричной. Использовался известный прием замены явнополюсной машины эквивалентной неявнополюсной.

Электромагнитная мощность считалась положительной, когда она отдавалась в сеть. Скольжение положительно при скорости вращения ротора ниже синхронной. В целях упрощения формула мощности выведена для невозбужденной машины.

Электромагнитную мощность можно выразить следующей формулой:

$$\begin{aligned}
 P_E = & - \frac{U^2}{2Z_{12}^2} \frac{x_d - x_q}{\left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right) \left(1 - \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right)} \left[L'_{ds} + \right. \\
 & \left. + V \sqrt{(1 - L'_{dc})^2 + L'^2_{ds}} \sin \left(2\delta - 2\alpha_{12} - \arctg \frac{L'_{ds}}{1 - L'_{dc}}\right) \right] - \\
 & - \frac{U^2}{2Z_{12}^2} \frac{x_d - x_q}{\left(1 - \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right) \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right)} \left[L'_{ds} + \right. \\
 & \left. + V \sqrt{(1 - L'_{dc})^2 + L'^2_{ds}} \sin \left(2\delta - 2\alpha_{12} - \arctg \frac{L'_{ds}}{1 - L'_{dc}}\right) \right] - \\
 & - \frac{U^2}{2Z_{12}^2} \frac{x_q - x_d}{1 - \frac{x_q - x_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}} \left[L'_{qs} - \right. \\
 & \left. - V \sqrt{(1 - L'_{qc})^2 + L'^2_{qs}} \sin \left(2\delta - 2\alpha_{12} - \arctg \frac{L'_{qs}}{1 - L'_{qc}}\right) \right] + \\
 & + \frac{U^2}{2Z_{11} Z_{12}^2} \left[\frac{x_d - x_d}{\left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right) \left(1 - \frac{x_d - x_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right)} \right]^2 \times \quad (2) \\
 & \times \left[(1 - L'_{dc})^2 + L'^2_{ds} \right] \sin \alpha_{11} \left[1 + \cos 2 \left(\delta - \alpha_{12} - \arctg \frac{L'_{ds}}{1 - L'_{dc}} \right) \right] + \\
 & + \frac{U^2}{2Z_{11} Z_{12}^2} \left[\frac{x_d - x_d}{\left(1 - \frac{x_d - x_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right) \left(1 - \frac{x_q - x_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right)} \right]^2 \times \\
 & \times \left[(1 - L'_{dc})^2 + L'^2_{ds} \right] \sin \alpha_{11} \left[1 + \cos 2 \left(\delta - \alpha_{12} - \arctg \frac{L'_{ds}}{1 - L'_{dc}} \right) \right] + \\
 & + \frac{U^2}{2Z_{11} Z_{12}^2} \left[\frac{x_q - x_q}{\left(1 - \frac{x_q - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right)} \right]^2 \left[(1 - L'_{qc})^2 + L'^2_{qs} \right] \sin \alpha_{11} \left[1 - \right. \\
 & \left. - \cos 2 \left(\delta - \alpha_{12} - \arctg \frac{L'_{qs}}{1 - L'_{qc}} \right) \right] +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{U^2}{Z_{11} Z_{12}} \times \\
 & \times \frac{(x_d - x_d')(x_d' - x_d) \sqrt{[(1 - L_{dc})^2 + L_{ds}^2][(1 - L_{dc}')^2 + L_{ds}'^2]}}{\left(1 + \frac{x_d - x_d'}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right) \left(1 - \frac{x_d' - x_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right)^2 \left(1 - \frac{x_d' - x_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right)} \times \\
 & \times \left[\frac{L_{ds} L_{ds}' + (1 - L_{dc})(1 - L_{dc}')}{\sqrt{[L_{ds} L_{ds}' + (1 - L_{dc})(1 - L_{dc}')]^2 + [L_{ds}(1 - L_{dc}') - L_{ds}'(1 - L_{dc})]^2}} \right. \\
 & \left. + \cos \left(2\delta - 2\alpha_{12} - \arctg \frac{L_{ds}(1 - L_{dc}') + L_{ds}'(1 - L_{dc})}{(1 - L_{dc})(1 - L_{dc}') - L_{ds} L_{ds}'} \right) \right] \sin \alpha_{11}, \quad (2)
 \end{aligned}$$

где U — напряжение на шинах приемной электрической системы;
 Z_{11}, Z_{12} — собственные и взаимные полные сопротивления;
 α_{11}, α_{12} — соответствующие дополнительные углы этих сопротивлений;
 x_d, x_d' — синхронные индуктивные сопротивления цепи статора по продольной и поперечной осям;
 x_d' — переходное индуктивное сопротивление по продольной оси;
 x_d, x_d' — сверхпереходные индуктивные сопротивления по продольной и поперечной осям.

Величины $L_{ds}, L_{ds}', L_{ds}, L_{ds}'$ в составляющей мощности, представляющей собой интегралы типа Френеля

$$L_s = \int_0^{t_s} e^{-s} \sin(s' y + \eta' y^2) dy; \quad (3)$$

$$L_c = \int_0^{t_c} e^{-s} \cos(s' y + \eta' y^2) dy, \quad (4)$$

где

$$y = \frac{t - \tau}{T}, \quad t_s = \frac{t}{T}, \quad s' = sT, \quad \eta' = aT^2.$$

T — постоянная времени контура ротора с учетом параметров генератора и системы.

Решение этих интегралов сводится к табулированным функциям интеграла вероятности от комплексного аргумента [1].

Для придания универсальности динамическим характеристикам, используется параметр η' , аналогично тому, как было принято в [1, 2, 4] при построении универсальных динамических характеристик синхронных и асинхронных машин.

Формула электромагнитной мощности получена на основании известного выражения мощности синхронной машины

$$P = E_d I_q + E_q I_d$$

быточный положительный момент, который вместе с электромагнитным моментом машины стремится перевести машину в область генераторного режима. Различие между статическими и динамическими характеристиками мощности имеет место в области малых скольжений и когда она меняет знак. Это различие будет тем больше, чем больше параметр η .

З а к л ю ч е н и е

При расчете режимов самосинхронизации, ресинхронизации, несинхронных АПВ целесообразно строить динамические характеристики мощности. Замена динамической характеристики мощности статической при анализе этих режимов может привести к значительным ошибкам. Ошибка, получаемая, как разность между этими характеристиками, даже при относительно малом значении ускорения ($a = 0.105 \text{ 1/сек}$), принятое в расчете — велика. Величина ошибки тем больше, чем больше параметр η , $\eta = aT^2$ характеризующий ускорения и постоянную времени контура ротора. В области больших скольжений эти характеристики практически совпадают.

Поэтому, изменение скорости вращения ротора не оказывает влияния на начальный процесс переходного режима для этих режимов. Введение параметра η , дает возможность получить динамические характеристики для широкого класса электропередач с различными мощностями асинхронного работающих генераторов и с различными длинами этих передач. В генераторах большой мощности, где постоянные времени велики, влияние рассматриваемого фактора будет сказываться при малых ускорениях. Исключения могут составлять случаи, когда асинхронная мощность мала по сравнению с другими составляющими электромагнитной мощности, определяющими движение ротора машины. Пользуясь методом последовательных интервалов формулу мощности можно применить и для более сложного случая движения ротора, принимая ускорение постоянным в каждом интервале. Однако такие расчеты, ввиду их громоздкости, следует вести с использованием вычислительных машин, которые следовало бы применить и для решения интегралов, входящих в формулу (2). Учет активного сопротивления линии связи смещает характеристики мощности вверх по оси ординат и тем выше, чем больше активное сопротивление передачи.

МЭИ

Поступило 17.11.1963

ՅՈՒ. Ս. ՇԱՀԱԶԱՐՅԱՆ

ՀԻՐՐՈՂԵՆՆԵՐԱՏՈՐԻ ԷԼԵԿՏՐՈՄԱԳՆԵՒԱԿԱՆ ԶԳՐՈՒԹՅՈՒՆԸ
ԱՆՅՈՒՄԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ԳԵՊԳՐՈՒՄ

Ա ճ փ ո փ ո լ ճ

Գեներատորի փոխանցման տարինրան ուժիմի ղեպզում, էրր սահքի փոփոխումը տեղի է աճննում բաղադրանին մեծ արագութիւնում, մեքենայի

կոնստրուկցիայի մագնիսական դաշտերի կոտակված էներգիայի փոփոխությունը հետևանքով՝ զիններատուում հոսանքների փոփոխման պրոցեսը կարող է սահքի փոփոխությունից զգալի չափով աջանալ: Այս դեպքում մեքենայի էլեկտրամագնիսական զինամիկական կոչվող կարողություն փոփոխումը (սա գտնված է սահքի փոփոխումը հաշվի առնելով) ստատիկականից զգալի կերպով կտարբերվի: Արքան մեծ է մեքենայի կոնստրուկցիայի հատաստան մամանակը և սահքի փոփոխման արագությունը, ալնջան ավելի է զգալի այդ տարրերությունը:

Այդպիսի սեմիոնների՝ ինչպիսիք են սինխրոնիզացիան, սինխրոնիզացիան, ոչ սինխրոնային Ա, Ս, Յ, ստատանումը և այլն ուսումնասիրությունները ֆիզիկական և մաթեմատիկական մոդելների վրա պետք է կատարել օրոպարմելով կարողությունների սեալ զինամիկական բնութագրերը: Բացառություն կարող են կազմել ալն զեպերը, երբ սինխրոն կարողությունը փոքր է: Այդպիսի համար սեմիոններն ուսումնասիրվում են պարզեցված միանկյանի համար՝ հաստատուն արագացումով ոտտորի շարժման զեպում:

Հոսրություն զինամիկական և ստատիկական բնութագրերի միջև առավել տարբերություն է ստեղծվում փոքր սահքի բնագավտում և ալն սաացվում է ավելի մեծ, որքան մեծ է հաշվման մեջ բնագավտող պարամետրը՝ $\eta = \alpha T^2$, որը բնութագրում է ինչպես արագացումը, ալնպես էլ ոտտորի կոնստրուկցիայի հատաստան մամանակը:

η պարամետրի կիրառումը հնարալորություն է աալիս ստանալ զինամիկ բնութագրեր՝ ինչպես յալն կարգի էլեկտրահաղորման համար, ալնպես և սինխրոն աշխատող զիններատուների տարրեր կարողությունների ու տարրեր երկարությունների համար:

Օգտվելով հաշուարական ինտերվալների մեթոդից, ստացված կարողություն բանաձևերը կարելի է կիրառել նաև ոտտորի շարժման ավելի բարդ զեպի համար արագացումը յարաքանչյուր ինտերվալում բնգանելով հաստատուն: Այսպիսի հաշվարկներում, ի նկատի առնելով նրանց մեծ ժալալը, հարկավոր է սգաաղորմել էլեկտրոնային հաշվիչ սեմիոններ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. М. Г. Мамиконянц, Токи и моменты асинхронных и синхронных машины при изменении скорости их вращения, Электричество № 8, 1958.
2. А. В. Иванов-Смоленский, Влияние скорости изменения скольжения на момент асинхронной машины, Электричество, № 6, 1950.
3. В. И. Фадеева и Н. М. Терентьев, Таблицы значений функции

$$W(z) = e^{-z} \left(1 + \frac{2i}{V\pi} \int_0^z e^t dt \right)$$

от комплексного аргумента, Гостехиздат, 1954.

4. Ю. М. Шахназарян, Активная и реактивная мощности у шунта приемной электрической системы при нестационарном асинхронном режиме гидрогенератора Известия АН СССР, ОТН «Энергетика и атомника», № 4, 1962.

ЭНЕРГЕТИКА

Г. А. АЙРАПЕТЯН

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ НЕСИНХРОННЫХ АПВ
 МЕЖСИСТЕМНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ОБЪЕДИНЕННЫХ
 ЭНЕРГОСИСТЕМ*

Изложенная в этом сообщении часть работы посвящена определению величин параметров, входящих в критерии допустимости несинхронных автоматических повторных включений (АПВ). В [1] было дано обоснование и пояснена физическая сущность критериев:

$$P_{20} > 0 \text{ при } S_1 < 0; \quad (1a)$$

$$P_{20} < 0 \text{ при } S_1 > 0;$$

$$\text{sgn } \Delta_n \neq \text{sgn } P_{20}. \quad (16)$$

Задача сводится к определению величин, входящих в критерии 1a и 16. В схеме представленной на рис. 1 электромагнитный момент, а при малых скольжениях и мощность действующая на генератор определяется следующим выражением, для Γ_2 :

$$E_1' E_2' b_{12} \sin \delta_{12} - E_1' E_2' g_{12} (1 - \cos \delta_{12}) + E_2' F_3' h_{23} \sin \delta_{23} - E_2' E_3' g_{23} (1 - \cos \delta_{23}). \quad (1)$$

Аналогично для Γ_1 .

$$E_1' E_2' b_{12} \sin \delta_{21} - E_1' E_2' g_{12} (1 - \cos \delta_{21}) + E_1' E_3' h_{13} \sin \delta_{31} - E_1' E_3' g_{13} (1 - \cos \delta_{31}). \quad (2)$$

В этих выражениях за положительное направление момента и отсчета углов принято направление против часовой стрелки. Принято также $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$; $\delta_{21} = \delta_2 - \delta_1$ и следовательно $\delta_{12} = -\delta_{21}$.

Определим углы δ_{12} и δ_{21} , при которых результирующий момент (мощность) меняет знак, т. е. проходит через нулевое значение. Для этого приравняем нулю выражение результирующего момента, действующего на генератор, с учетом следующих обозначений:

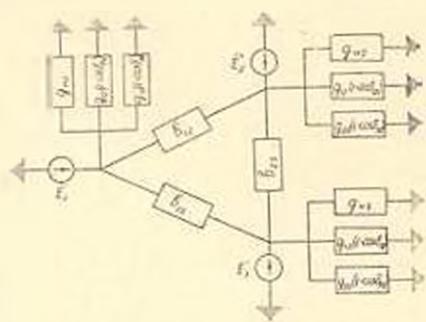


Рис. 1.

* Работа выполнялась под руководством проф.



$$E_2 E_3 b_{23} - P_{b23}; \quad E_1 E_2 b_{12} = P_{b12}; \quad E_2 E_3 g_{23} = P_{g23}; \quad E_1 E_2 g_{12} = P_{g12}.$$

Тогда получим для Γ_1

$$P_1 = P_{b12} \sin \delta_{21} - P_{g12} (1 - \cos \delta_{21}) + P_{b13} \sin \delta_{31} - P_{g13} (1 - \cos \delta_{31}) + P_{11} = 0, \quad (3)$$

где

$$P_{11} = - [P_{b12} \sin \delta_{021} - P_{g12} (1 - \cos \delta_{021}) + P_{b13} \sin \delta_{031} - P_{g13} (1 - \cos \delta_{031})].$$

Соответственно, для Γ_2 получим:

$$P_2 = P_{b12} \sin \delta_{12} - P_{g12} (1 - \cos \delta_{12}) + P_{b23} \sin \delta_{32} - P_{g23} (1 - \cos \delta_{32}) + P_{22} = 0, \quad (4)$$

где

$$P_{22} = - [P_{b12} \sin \delta_{012} - P_{g12} (1 - \cos \delta_{012}) + P_{b23} \sin \delta_{032} - P_{g23} (1 - \cos \delta_{032})].$$

Исключив из уравнений (3) и (4) угол δ_{21} , путем подстановки $\delta_{21} = \delta_{31} - \delta_{32}$, а также раскрыв значение синуса и косинуса разности двух углов и выделив постоянную часть, получим следующее уравнение записанное относительно δ_{12} или δ_{32} :

$$P = M \sin \delta + L \cos \delta + C = 0. \quad (5)$$

Решение этого уравнения имеет вид:

$$\delta = 2 \arctg \frac{-M \pm \sqrt{M^2 - L^2 - C^2}}{C - L}. \quad (6)$$

Значение коэффициента M , L и C для случая определения δ_{31} будет

$$\begin{aligned} M_1 &= P_{b13} + P_{b12} \cos \delta_{032} + P_{g12} \sin \delta_{032}; \\ L_1 &= P_{g13} + P_{b12} \sin \delta_{032} - P_{g12} \cos \delta_{032}; \\ C_1 &= P_{g13} + P_{g12} + P_{11}. \end{aligned} \quad (7)$$

То же для δ_{32}

$$\begin{aligned} M_2 &= P_{b23} + P_{b12} \cos \delta_{031} + P_{g12} \sin \delta_{031}; \\ L_2 &= P_{g23} + P_{b12} \sin \delta_{031} - P_{g12} \cos \delta_{031}; \\ C_2 &= P_{g23} + P_{g12} + P_{22}. \end{aligned} \quad (8)$$

Имея в виду, что к положению неустойчивого равновесия генератор может подойти пройдя положение устойчивого равновесия, следует из двух значений корней уравнение (6) взять большее. Случай, когда при определении δ_{21} подкоренное выражение оказывается отрицательным, означает, что момент, действующий на Γ_2 , не меняет знака и, следовательно, возможен выход из синхронизма. Однако, для общности изложения, и в этом случае в качестве критерия будем рассматривать знак энергии \mathcal{E}_2 , при этом за верхний предел примем угол $\delta_{32} = \delta_{032} \pm 360^\circ$. Далее остается определить энергию \mathcal{E}_2 , которая необходима Γ_2 для преодоления противодействующих моментов в процессе поворота до неустойчивого равновесия.

Для этого необходимо выполнить интегрирование по углу δ выражения мощности P_{22} , взятое согласно (4):

$$P_2 = M_2' \sin \delta_{32}' + L_2' \cos \delta_{32}' - C_2', \quad (9)$$

где значение коэффициентов необходимо принимать согласно (8). Из уравнения (9) определяется величина момента P_{20} , действующего на Γ_2 в начальный момент его движения, т. е. когда $\delta_{32}' = \delta_{032}'$.

Интегрируя выражение (9) получим

$$\begin{aligned} \mathcal{D}_2 = \int_{\delta_{32}'}^{\delta_{32}'} P_2 d\delta_{32}' &= -M_2' \cos \delta_{32}' \Big|_{\delta_{032}'}^{\delta_{32}'} + L_2' \sin \delta_{32}' \Big|_{\delta_{032}'}^{\delta_{32}'} + \\ &+ C_2' \cdot \delta_{32}' \Big|_{\delta_{032}'}^{\delta_{32}'} = M_2' (-\cos \delta_{32}' + \cos \delta_{032}') + \\ &+ L_2' (\sin \delta_{32}' - \sin \delta_{032}') + C_2' \left(\frac{\delta_{32}' - \delta_{032}'}{57.3} \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Таким образом определяются все величины, входящие в критерии, исключающие выход из синхронизма Γ_2 . Случаи 3 и 4 [1] исследуются по схеме трех станций соизмеримой мощности, рассматриваемой ниже.

Исследование схемы замещения с тремя генераторами соизмеримой мощности

Выше были даны критерии (1а) и (1б) для случая, когда один из генераторов принимался относительно неподвижным ($\Gamma_3 = \infty$). При исследовании системы с тремя генераторами соизмеримой мощности, критерий (1а) недействителен. Определяющим является критерий (1б). Покажем, что общий вид полученных выражений не изменится, если третий генератор будет иметь соизмеримый момент инерции. Пользуясь предыдущим примером, рассмотрим случай $T_3 \neq \infty$. Попытаемся рассматриваемый общий случай привести к случаю $T_3 = \infty$. Имея в виду сделанное ранее допущение о неизменности угла δ_{032}' при движении генератора Γ_1 и угла δ_{32}' при движении Γ_2 , можно рассматривать в первом случае генераторы Γ_2 и Γ_3 как один генератор с моментом инерции равным $T_2 + T_3$ и во втором случае — генераторы Γ_1 и Γ_3 , как один генератор с моментом $T_1 + T_3$. Тогда нетрудно решить поставленную задачу, путем рассмотрения этих эквивалентных генераторов как неподвижные, за счет соответствующего переноса моментов на остальные генераторы системы. При этом необходимо учесть, что один и тот же момент (или эквивалентная ему мощность), действуя на разные генераторы, вызывает ускорения, в зависимости от соотношения их постоянных инерций. Поэтому, для эквивалентного приложения моментов ко всем генераторам необходимо их предварительно пересчитать. Если мощности приложенные к Γ_2 и Γ_3 обозначить через P_2 и P_3 , то эти же мощности приложенные к Γ_1 будут соответственно,

$$P_{2(1)} = -P_2 \frac{T_1}{T_2 + T_1}; \quad P_{3(1)} = -P_3 \frac{T_1}{T_2 + T_1}.$$

Справедливость такого переноса моментов вытекает из [2], описывающей уравнения движения генераторов при равенстве нулю мощностей турбин:

$$\frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2} \cdot \frac{d^2 \delta_{12}}{dt^2} = - \frac{T_2 P_1 - T_1 P_2}{T_1 + T_2}. \quad (13)$$

Отсюда

$$- T_1 \frac{d^2 \delta_{12}}{dt^2} = P_1 - \frac{T_1}{T_2} P_2. \quad (14)$$

Из этого выражения следует, что относительное ускорение не меняется, если рассматривать движение только генератора Γ_1 , с учетом соответствующего пересчета моментов.

После пересчета, в приведенных выше выражениях (6), (9) и (10) изменится значение коэффициентов M , L и C , а именно

$$\begin{aligned} M_2 &= (1 + k_1)(P_{b13} + P_{b12} \cos \delta_{031}) + (1 - k_1) P_{g12} \sin \delta_{031}; \\ L_1 &= (1 - k_1)(P_{g13} + P_{g12} \cos \delta_{032}) - (1 + k_1) P_{b12} \sin \delta_{031}; \end{aligned} \quad (15)$$

$$C_1 = -(1 - k_1)(P_{g13} + P_{g12}) - k_1 (P_{g2} + P_{g3}) + P_{b1},$$

$$P_{r2} = - [P_{b12} \sin \delta_{031} - P_{g12} (1 - \cos \delta_{031})];$$

$$P_{r3} = - [P_{b13} \sin \delta_{031} - P_{g13} (1 - \cos \delta_{031})];$$

$$M_2' = (1 + k_2)(P_{b23} + P_{b12} \cos \delta_{031}) + (1 - k_2) P_{g12} \sin \delta_{031};$$

$$L_2' = (1 - k_2)(P_{g23} + P_{g12} \cos \delta_{031}) - (1 + k_2) P_{b12} \sin \delta_{031}; \quad (16)$$

$$C_2' = -(1 - k_2)(P_{g23} + P_{g12}) - k_2 (P_{r1} + P_{r3}) + P_{b2}.$$

где

$$k_1 = \frac{T_1}{T_2 + T_1}; \quad k_2 = \frac{T_2}{T_1 + T_2};$$

$$P_{r1} = - [P_{b12} \sin \delta_{021} - P_{g12} (1 - \cos \delta_{021})];$$

$$P_{r3} = - [P_{b23} \sin \delta_{023} - P_{g23} (1 - \cos \delta_{023})].$$

З а к л ю ч е н и е

Условие втягивания в синхронизм после несинхронного включения и расчеты процесса втягивания в настоящее время исследованы, в основном, для двух несинхронно вращающихся частот системы, т. е. по двухмашинной схеме замещения. Однако, исследования по такой схеме в объединенных энергосистемах редко дают удовлетворительные результаты. Возможность кратковременного появления в системе третьей частоты, т. е. появление третьей машины (или части системы), которая переходит из одной несинхронно вращающейся системы

в другую и влияние ее на процессе восстановления синхронизма, требует дальнейшего изучения [3].

Предлагаемые критерии дают возможность, путем проведения несложных расчетов выявить возможность появления в системе третьей частоты в последнем цикле асинхронного хода. По критерию может быть определена предельно передаваемая мощность (угол передачи δ), при которой в процессе несинхронного АПВ может появиться третья частота и затянуть ресинхронизацию, что фактически исключает возможность применения НАПВ при таких перетоках. Таким образом предлагаемые критерии могут служить одновременно одним из критериев допустимости несинхронного АПВ. Предлагаемые критерии могут служить также в качестве критериев допустимости эквивалентирования, так как невозможность выхода из синхронизма отдельных машин определяет возможность объединения их в эквивалентную станцию.

Предложенное решение было проверено на межсистемных линиях Закавказской энергосистемы.

Институт энергетики
АН Армянской ССР

Поступило 2.IV 1963 г.

Գ. Ա. ՉԱԿԱՊԵՅՅԱՆ

ՄԱՌՅՅԱԼ ԷՆԵՐԳՈՍԻՍԵՄԵՆԵՐԻ ՄԻՋՍԻՍԵՄԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԿՆՈՒԹՅԱՆ
ԳՅԵՐԻ ՈՉ ՍԻՆԿՐՈՆԻԶԱԿԻ ՈՐՈՇ ՀԱՐՅՆԻ

Ա մ փ ո փ ու լ մ

Առաջին հաղորդման մեջ (ՀՍՍՐ ԳԱ «Տեղեկագիր», № 5, 1963 թ.) տրված էր միջսխառնմալին էլեկտրահաղորդման գծերի ոչ սինխրոն ավտոմատ կրկնակի միացումից (ՈԱԿՄ) հետո ստացվող ռեսինխրոնիզացիայի երևալթի ֆիզիկական մեկնաբանումը և առաջարկվում էր կրիտերիաներ, որոնք կարող են սգտազորմվել ՈԱԿՄ թույլատրելիության հարցի լուսաբանման համար: Սույն հաղորդման մեջ տրված է կրիտերիաների մեջ մտնող բոլոր մեծաթվունները որոշող հաշվային բանաձևերի դուրս բերումը: Ճույց է տրված, որ առաջադրվող կրիտերիաները կիրառելի են ինչպես Յ գեներատորներով սխեմաների համար, որոնցից մեկը կարելի է դիտել որպես անսահման հզորության դոդ, ալնպես էլ Յ համաչափելի հզորություններով գեներատորների ղեպքում: Կատարված հետևությունների հիման վրա իտրոշուրդներ է արված ՈԱԿՄ կիրառման և էներգոսխառնմի տեղադրված սխեմայի համարվերացման ղեպքում առաջարկված կրիտերիաների սգտազորմման եղանակի վերաբերյալ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Գ. Ա. Աճառեստի. Некоторые вопросы несинхронных АПВ межсистемных линий электропередач объединенных энергосистем. Известия Академии наук Армянской ССР, ТН, № 5, 1963 г.

2. В. А. Веников. Электромеханические переходные процессы в электрических системах. Госэнергоиздат, 1958.
3. В. А. Веников, Ю. М. Горский, Л. А. Солдаткина. Методы теории вероятности в применении к анализу режимов электроэнергетических систем. Доклады научно-технического совещания по применению вероятностных методов к анализу режимов энергосистем. Вып. 1. Киев, 1963.

Л. А. ДИЛАНЯН

ОБ ОДНОМ ПРИНЦИПЕ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С ДЕФИЦИТОМ МОЩНОСТИ

Рассматривается энергосистема, собственных энергоресурсов которой недостаточно для покрытия заданного графика нагрузки, и дефицит мощности покрывается за счет межсистемных перетоков. В общем случае система может состоять из изолированных и каскадных ГЭС, регулируемых и работающих на водотоке, а также тепловых станций, работающих на газовом топливе в вынужденном режиме. Уровни верхних бьефов принимаются постоянными. Под экономичным режимом подобной системы при заданном графике нагрузки следует понимать максимальную выработку энергии на регулируемых ГЭС, при условии пуща заданного объема воды. При этом, пики нагрузки должны быть сняты регулируемыми ГЭС, остальная же ее часть, постоянная во времени, должна быть покрыта за счет выработки нерегулируемых ГЭС и межсистемных перетоков.

Решение этой задачи сводится к определению максимума функционала:

$$\int \left[P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_m + \lambda_1^{(1)} Q_1 + \lambda_2^{(1)} Q_2 + \lambda_3^{(1)} Q_3 + \dots + \lambda_m^{(1)} Q_m + \lambda_1 \left(\frac{dP_1}{dt} - \frac{dP_2}{dt} - \frac{dP_3}{dt} - \dots - \frac{dP_m}{dt} \right) \right] dt, \quad (1)$$

который достигается при условии, когда

$$\frac{\partial Q_1}{\partial P_1} = \lambda_1, \quad \frac{\partial Q_2}{\partial P_2} = \lambda_2, \quad \frac{\partial Q_3}{\partial P_3} = \dots = \lambda_m, \quad \frac{\partial Q_m}{\partial P_m} \quad (2)$$

Здесь $P_{n(t)}$ — заданный график нагрузки системы; t — номер регулируемой ГЭС; $t = 1 \dots m$; P_t — мощность регулируемой ГЭС; Q_t — расход воды на регулируемой ГЭС; $\lambda_t^{(1)}$ — постоянные коэффициенты Лагранжа; λ_t — коэффициент, являющийся функцией времени.

В выражении (2) $\lambda_t = \lambda_t^{(1)} \alpha_t^{(1)}$; $\int_0^T Q_t dt = V_t$ — первое условие, заключающееся в реализации каждой регулируемой станцией за рассматриваемый промежуток времени T заданного объема воды — V_t .

Выражение

$$\frac{dP_1}{dt} - \frac{dP_2}{dt} - \frac{dP_3}{dt} - \dots - \frac{dP_n}{dt} = 0, \quad (3)$$

представляющее собой баланс производных мощности по времени (для каждого момента времени), является вторым условием, заключающимся в задании регулируемым ГЭС очертания графика нагрузки, т. е. в снятии ими пиков нагрузки [1,2].

Для решения задачи должны быть заданы следующие исходные данные: расхоные характеристики всех станций: $Q_i(P_i)$; $Q_i(P_j)$, где $j = 1 \div n$ — номер нерегулируемой ГЭС; характеристики относительных приростов регулируемых ГЭС $\varepsilon_i(P_i)$; $\varepsilon_i = \partial Q_i / \partial P_i$; средний расход воды на регулируемых ГЭС — $Q_{i,r} = V_i/T$; допустимые отклонения от заданного среднего расхода воды на регулируемых ГЭС — $\Delta Q_{i,\text{доп}}$; $\varepsilon_{i,\text{мин}}$, $\varepsilon_{i,\text{макс}}$; график нагрузки системы — $P_n(t)$.

При наличии в системе тепловых станций, суммарная выработка последней $P_T(t)$ должна быть вычтена из заданного графика $P_n(t)$.

Обозначим $P_r(t) = P_n(t) - P_T(t)$. Тогда суммарный график нагрузки регулируемых ГЭС, распределение которого между отдельными станциями должно быть произведено по условию (2), может быть определен по формуле:

$$P_{\text{нр.}(t)} = [P_n(t) - P_T(t)] - P_n \quad (4)$$

где P_n — постоянная часть графика нагрузки, подлежащая распределению между нерегулируемыми ГЭС и межсистемным перетоком. Приближенно эта величина может быть определена по формуле:

$$P_n = \frac{\sum_{i=1}^{i-1} (P_{\text{нр.}(t)} - P_T(t))}{i} = \sum_{i=1}^{i-1} P_i \quad (5)$$

Величина P_n будет меняться с изменением величины $P_{i,\text{ср}}$ на различных ступенях приближения. Здесь $P_{i,\text{ср}}$ — средняя мощность регулируемой ГЭС, соответствующая данному среднему расходу воды. Кроме условия (2) при распределении $P_{\text{нр.}(t)}$, в каждый момент времени должно выполняться также условие баланса мощностей:

$$P_{\text{нр.}(t)} - P_1(t) - P_2(t) - \dots - P_m(t) = 0, \quad (6)$$

что равносильно выполнению условия (3), так как $P_{\text{нр.}(t)} = P_n(t) - P_n$.

Условие (6) вводится вместо условия (3) для удобства расчетов. Распределение нагрузок между станциями по равенству относительных приростов при соблюдении условия баланса мощностей можно осуществить методом последовательного деления интервала относительных приростов каждого элементарного отрезка времени рассматриваемого расчетного периода [3]. Однако, здесь удобнее следующий порядок распределения. По характеристикам $P_i(Q_i)$ определяются

$P_{i\text{ ср}}$ для заданных значений $Q_{i\text{ ср}}$, затем, по характеристикам относительных приростов $\varepsilon_i(P_i)$, определяются $\varepsilon_{i\text{ ср}}$, соответствующие значениям $P_{i\text{ ср}}$ и, наконец, определяются $\lambda_i = \frac{\varepsilon_i P_i}{\varepsilon_{i\text{ ср}}}$ и строятся характеристики $\lambda_i \varepsilon_i(P_i)$. Из всех значений $\lambda_i \varepsilon_{i\text{ мин}}$ находится наименьшее $\varepsilon_{\text{ мин}}$, из всех значений $\lambda_i \varepsilon_{i\text{ макс}}$ — наибольшее $\varepsilon_{\text{ макс}}$. ($\varepsilon_{\text{ макс}} - \varepsilon_{\text{ мин}}$) делится на отрезки $\Delta\varepsilon$ таким образом, чтобы в каждом из них кривую $P_i(\varepsilon_i)$ можно было бы с достаточной точностью принять за прямую (рис. 1).

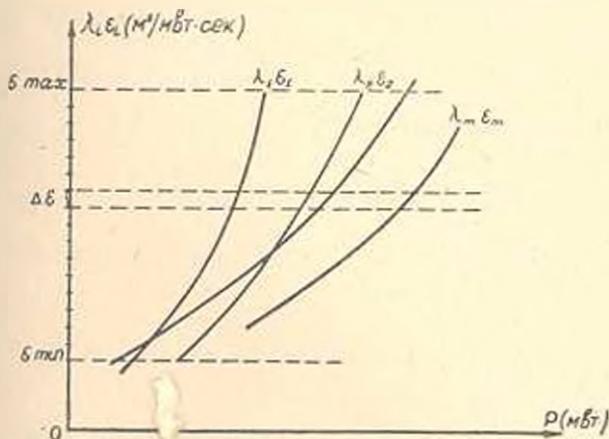


Рис. 1.

Для $\lambda_i \varepsilon_i = \varepsilon_c = \varepsilon_{\text{ мин}} + \Delta\varepsilon \cdot l'$, (где $l' = 0 \div l$), определяются мощности отдельных станций, а также суммарная, и составляется соответствующая таблица (см. пример). Распределение графика $P_{\text{пр}(t)}$ между станциями для каждого момента времени производится по составленной таблице (при необходимости интерполяцией).

При завершении этой операции, для всего цикла регулирования, проверяется условие реализации на каждой станции заданного объема воды.

Для этого определяется фактический средний расход на каждой ГЭС

$$Q_{i\text{ срф.}} = \frac{\sum_{t=1}^{T} Q_i(P_i)}{T} \quad (7)$$

который сравнивается с заданной величиной среднего расхода $Q_{i\text{ ср}}$. Задачу можно считать решенной при выполнении условия:

$$|\Delta Q_i| = Q_{i\text{ срф.}} - Q_{i\text{ ср}} \leq \Delta Q_{i\text{ доп.}} \quad (8)$$

При невыполнении же условия (8), определяются новые средние значения расходов на регулируемых ГЭС:

$$Q_{i\text{ ср}}^{(1)} = Q_{i\text{ ср}} - \Delta Q_i \quad (9)$$

и весь расчет производится вновь, до выполнения условия (8). При

этом дополнительно определяются мощности нерегулируемых ГЭС для всех моментов времени и, соответственно, график межсистемных перетоков

$$P_{\text{пер}} = P_n - \sum_{j=1}^{l-n} P_j(t) \quad (10)$$

$P_j(t)$ — определяются по соответствующим значениям $Q_j(t)$.

Алгоритм для реализации задачи на цифровой машине

Заданы исходные данные: $Q^j(P^j)$; $j = 1 \rightarrow n$; $Q^l(P^l)$; $l = 1 \rightarrow m$; $\epsilon^j(P^j)$; $Q_{\text{ср}}^j$; $\epsilon_{\text{мин}}^j$; $\epsilon_{\text{макс}}^j$; $\Delta V_{\text{лок}}^j$; $P_{\text{ср}}^j$; $P_{\text{сг}}^j$; $l = 1 \rightarrow 24$

1. Определяется $P_{\text{сг}}^l = P_{\text{сг}}^l - P_{\text{сг}}^l$; 2. Определяется $P_{\text{ср}} = \frac{\sum_{j=1}^{l-n} P_j^l}{24}$;
3. Посылается „0“ в $[\sum P_{\text{ср}}^j]$; 4. Посылается „0“ в $[l]$;
5. Прибавляется „1“ к $[i]$ и прибавляется к $[\sum P_{\text{ср}}^j]$; 6. Определяется $P_{\text{ср}}(Q_{\text{ср}})$;
7. Проверяется условие $i = m^{12}$;
8. Определяется $P_n = P_{\text{ср}} - \sum_{i=1}^{l-n} P_{\text{ср}}^i$; 9. Определяется $P_{\text{ср}}^l = P_{\text{сг}}^l - P_n$;
10. Определяется $\epsilon_{\text{ср}}^l(P_{\text{ср}}^l)$; 11. Определяются $\lambda^l = \epsilon_{\text{ср}}^l : \epsilon_{\text{ср}}^l$;
12. Посылается 10^6 в $[\epsilon_{\text{мин}}^l]$; 13. Посылается „0“ в $[\epsilon_{\text{макс}}^l]$;
14. Определяются $\lambda^l \epsilon_{\text{мин}}^l$; 15. Определяются $\lambda^l \epsilon_{\text{макс}}^l$;
16. Проверяется условие: $\lambda^l \epsilon_{\text{мин}}^l < [\epsilon_{\text{мин}}^l]^{12}$;
17. Посылается $\lambda^l \epsilon_{\text{мин}}^l$ в $[\epsilon_{\text{мин}}^l]$; 18. Проверяется условие $\lambda^l \epsilon_{\text{макс}}^l > [\epsilon_{\text{макс}}^l]^{12}$;
19. Посылается $\lambda^l \epsilon_{\text{макс}}^l$ в $[\epsilon_{\text{макс}}^l]$;
20. Определяется $l = \frac{\epsilon_{\text{макс}} - \epsilon_{\text{мин}}}{0,03}$ и округляется до ближайшего большого целого числа — l ;
21. Посылается „0“ в $[l']$;
22. Посылается $\epsilon_{\text{мин}}^l$ в $[l]$;
23. Прибавляется „1“ к $[l']$;
24. Определяется $\epsilon = [l] + \Delta \epsilon$; 25. Определяются $P^l(\epsilon)$;
26. Вычисляется $\sum_{i=1}^{l-n} P^l(\epsilon)$; 27. Проверяется условие $l = l^{12}$;
28. Посылается P^l в $[P^l]$;
29. Посылается „0“ в $[l]$;
30. Прибавляется „1“ к $[l]$;
31. Посылается „0“ в $[l]$;
32. Посылается „0“ в $[\sum Q^j]$;
33. Прибавляется „1“ к $[l]$;
34. Определяется $[P^l]$;
35. Определяется $Q^l(P^l)$;
36. Прибавляется Q^l к $[\sum Q^j]$;
37. Посылается l^2 в $[P^l, l]$;
38. Посылается Q^l в $[Q^l, l]$;
39. Проверяется условие $l = m^{12}$

40. Проверяется условие $t = 24^{t-1}$; 41. Определяется $Q_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{t-1} Q_i(P_i)}{24}$;
 и $V_{\Phi}^t = Q_{\text{ср}} \cdot T$; 42. Определяется $\Delta V^t = V^t - V_{\Phi}^t$;
 43. Проверяется условие $\Delta V^t \leq |\Delta V_{\text{доп}}^t|^{100}$;
 44. Определяется новое значение $Q_{\text{ср}}^{(t+1)} = Q_{\text{ср}}^t - \frac{\Delta V^t}{T}$ и цикл повто-
 ряется начиная с п. 6 до выполнения условия 43;
 45. Определяется $P_n^a = P_n - \sum_{i=1}^{t-n} P_i(t)$ и идет на печать.

Пример. Исходные данные: График нагрузки энергосистемы по-
 крывается за счет выработки каскада из четырех ГЭС и межсистемных
 перетоков. ГЭС 1, 2 и 4 — регулируемые, ГЭС 3 — нерегулируемая.

$z_{1 \text{ min}} = 0,32 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$; $z_{2 \text{ min}} = 0,27 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$; $z_{4 \text{ min}} = 0,31 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$.
 $z_{1 \text{ max}} = 1,1 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$; $z_{2 \text{ max}} = 0,65 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$; $z_{4 \text{ max}} = 1,02 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$.
 $Q_{1 \text{ ср}} = 45 \text{ м}^3/\text{сек}$; $Q_{2 \text{ ср}} = 39,4 \text{ м}^3/\text{сек}$; $Q_{4 \text{ ср}} = 32,4 \text{ м}^3/\text{сек}$.
 $\Delta Q_{1 \text{ доп}} = 1,3 \text{ м}^3/\text{сек}$; $\Delta Q_{2 \text{ доп}} = 1,1 \text{ м}^3/\text{сек}$; $\Delta Q_{4 \text{ доп}} = 1 \text{ м}^3/\text{сек}$; $m = 3$; $n = 1$.

Суточный график нагрузки системы задан табл. 1.

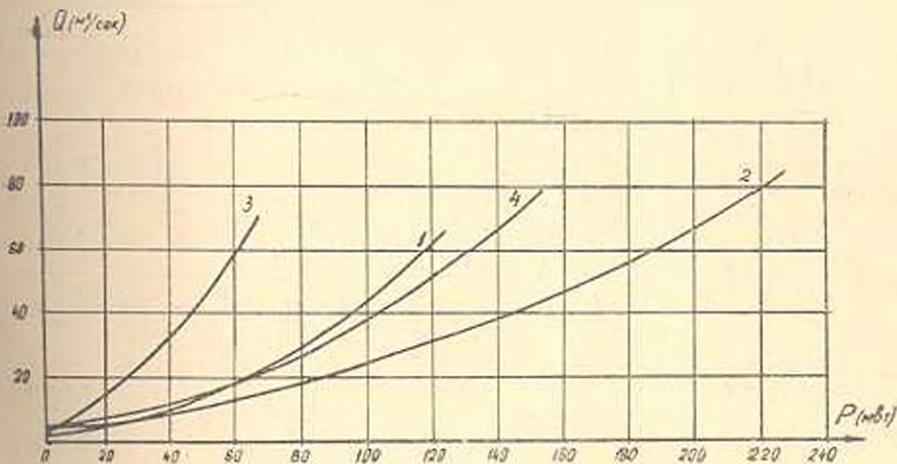


Рис. 2.

Расходные характеристики всех ГЭС приведены на рис. 2, а ха-
 рактеристики относительных приростов регулируемых ГЭС на рис. 3.

$$\sum_{i=1}^{t=24} P_{i \text{ ср}}$$

Решение: $P_{1 \text{ ср}} = \frac{\dots}{24} = 402 \text{ Мвт}$; $P_{1 \text{ ср}} = 98 \text{ Мвт}$; $P_{2 \text{ ср}} = 138 \text{ Мвт}$;

$P_{3 \text{ ср}} = 86 \text{ Мвт}$; $\sum_{i=1}^3 P_{i \text{ ср}} = 322 \text{ Мвт}$; $P_0 = 402 - 322 = 80 \text{ Мвт}$.

Таблица 1

Часы	1	4	5	6	7	8	9	10	11	15	17	18	21	22	24
Нагр. (Мвт)	340	360	370	380	425	430	420	410	400	390	440	460	440	415	460

Таблица 2

Часы	1	4	5	6	7	8	9	10	11	15	17	18	21	22	24
$R_{пр} (\text{г})$	260	280	290	300	345	350	340	330	320	310	360	380	360	335	280

Таблица 3

ΣP_2	140	153	175	215	262	302	340	381	416	441	466	478	485	490
P_1	40	53	67	77	85	95	103	115	120	120	120	120	120	120
P_2	60	60	60	77	105	126	145	163	183	200	216	220	220	220
P_3	40	40	48	61	72	81	92	103	113	121	130	138	145	150

Таблица 4

Часы	1	4	5	6	7	8	9	10	11	15	17	18	21	22	24
$Q_1, \text{м}^3/\text{сек}$	32	36	37	40	50	51	49	46	44	41	53	58	53	48	36
$Q_2, \text{м}^3/\text{сек}$	28	31	32	34	44	45	42	41	38	36	47	50	47	41	31
$Q_3, \text{м}^3/\text{сек}$	25	27	29	30	34	35	34	33	31	31	38	42	38	35	27

Таблица 5

Часы	1	4	5	6	7	8	9	10	11	15	17	18	21	22	24
P_1	37	38	39	40	47	48	46	45	43	41	52	53	52	45	38

Таблица 6

Часы	1	4	5	6	7	8	9	10	11	15	17	18	21	22	24
P_0	43	42	41	40	33	32	34	35	37	39	28	26	28	35	42

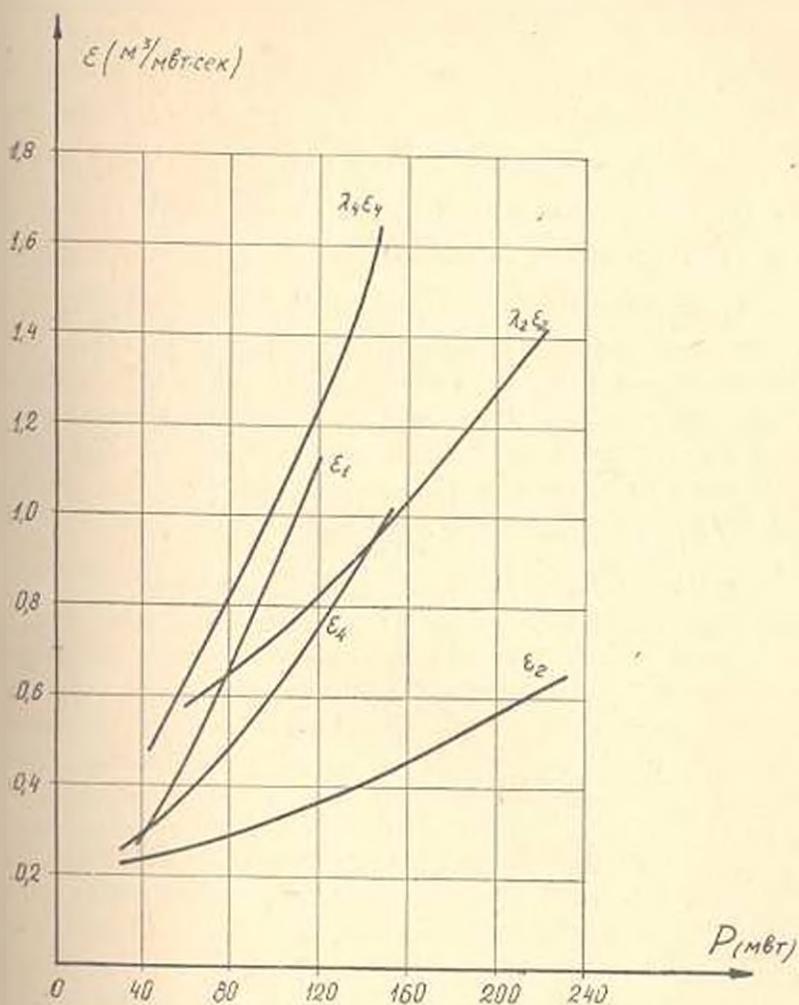


Рис. 3.

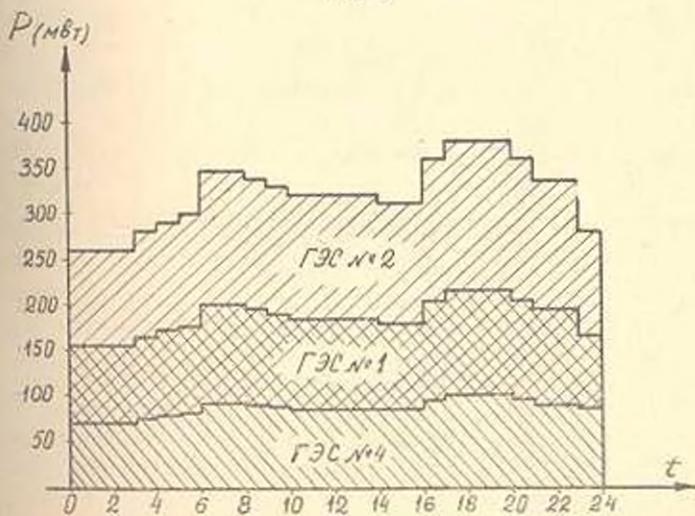


Рис. 4.

Значения $P_{np(t)} = P_{u(t)} - P_n$ сведены в табл. 2.

$\varepsilon_{1\text{ ср}} = 0,89 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}; \varepsilon_{2\text{ ср}} = 0,40 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}; \varepsilon_{3\text{ ср}} = 0,56 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек};$

$\lambda_2 = 2,22; \lambda_4 = 1,59$. Зависимости $\varepsilon_1, \lambda_2 \varepsilon_2$ и $\lambda_4 \varepsilon_4$ от P приведены на рис. 3.

$\varepsilon_{\text{max}} = \lambda_1 \varepsilon_{2\text{max}} = 1,62 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}; \varepsilon_{\text{min}} = \lambda_1 \varepsilon_{1\text{min}} = 0,32 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек};$

$P_{np\text{ max}} = 490 \text{ Мвт}; P_{np\text{ min}} = 140 \text{ Мвт}; \varepsilon_{\text{max}} - \varepsilon_{\text{min}} = 1,62 - 0,32 = 1,30;$

$l = 26; \Delta\varepsilon = 0,05$. Для 26-и значений $\varepsilon_c = \lambda_1 \varepsilon_c = \varepsilon_{\text{min}} + \Delta\varepsilon \cdot l' = 0,32 + 0,05l'$ ($l' = 0 \div 26$) составляется табл. 3 (приводится в сокращенном виде).

Распределение $P_{np(t)}$ между регулируемым ГЭС каскада произведено на основании табл. 3. Графики распределения приведены на рис. 4. Соответствующие значения расходов воды на регулируемых ГЭС, определенные по характеристикам $Q_1(P_1)$ (рис. 2), сведены в табл. 4.

$Q_{1\text{срф}} = 44,7 \text{ м}^3/\text{сек}; Q_{2\text{срф}} = 38 \text{ м}^3/\text{сек}; Q_{3\text{срф}} = 31,6 \text{ м}^3/\text{сек};$

$\Delta Q_1 = 0,3 < 1,3 \text{ м}^3/\text{сек}; \Delta Q_2 = 0,7 < 1,1 \text{ м}^3/\text{сек}; \Delta Q_3 = 0,8 < 1,0 \text{ м}^3/\text{сек}.$

По характеристикам $P_3 (Q_3 = Q_2)$ (рис. 2) определяются значения $P_3(t)$, приведенные в табл. 5. Значения перетоков $P_{n(t)} = P_n - P_{3(t)}$ сведены в табл. 6.

Институт энергетики
АН Армянской ССР

Поступило 2.IV 1963 г.

Լ. Ա. ԴԻԼՅԱՆԿՆ

ՀԳՈՐՈՒԹՅԱՆ ԳԵՆԵՐԱՏՈՒՆԵՐԻ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՍԳՏԻՄԱԿԱ
ԻՆՏԻՄԻ ԿԱՌՈՒՄՈՒՆ ԻՐ ՍԿԶՐՈՒՆՔԻ ՂԵՐՍՈՒՆՅԱԿԱ

Ո Վ Փ Ո Ւ Ն Ի Ճ

Հաղածում բերված է էներգետիկական արտադրանքի անվտանգ կառուցման արդյունքը, որը ապագա սիտեմի անվտանգ էներգետիկական արտադրանքի շահագրգիռ արված բնակավածությունը գրաֆիկի մասերն են համար, և այդ պահանջարկը է կրկնապատկերվածի միջոցով հասնում հասնում հասնում:

Տրված է խնդրի մաթեմատիկական լուծումը: Վերջինիս համար կազմված է արդյունքի մասերը և իրականացնելի գրաֆիկը պարզ հասնում մեքանիկայի սխեմայում: Թերթում է այդ խնդրի լուծման մի արժանի արժանի սիտեմի համար, որը բաղկացած է հիդրակլեկարակարանների կառուցված:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. М. Горюштин. Навыгоднейшие режимы работы гидростанции в энергетических системах. Гидроэнергоиздат, М.—Л., 1959.
2. Л. С. Бедяев. Некоторые вопросы энергетического годичного регулирования стока каскада параллельно работающих ГЭС. Автореферат канд. диссертации, 1959.
3. Г. Г. Авоиц, Ю. Г. Григорян, М. М. Авоиц. Алгоритм, программа и пример расчета на ВМНД режима экономии топлива в энергосистеме, связанного с выбором соотношения агрегатов. «Известия АН Армянской ССР», т. XIV, ТН, № 3, 1961.

ЭНЕРГЕТИКА

К. А. ГАМБУРЯН

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗОК МСПТ С ПОМОЩЬЮ
АНАЛОГОВОЙ МАШИНЫ

1. Модели сетей переменного тока (МСПТ) оказались наиболее удобным средством для моделирования электрических сетей энергосистем. Для моделирования нагрузок и генераторных станций энергосистем более рациональными оказываются аналоговые устройства, так называемые вычислительные машины непрерывного действия (ВМНД). При исследовании электромеханических переходных процессов энергосистем (динамической устойчивости, несинхронных режимов, влияния регуляторов скорости турбин и др.) с помощью только МСПТ или только ВМНД обнаруживается ряд затруднений, приводящих к большим погрешностям в расчетах, а в отдельных случаях и к недоверию результатов исследований. В связи с этим Г. Т. Адонцом в 1958 году было выдвинуто предложение об использовании для расчетов электромеханических переходных процессов энергосистем сопряженных друг с другом МСПТ и ВМНД. Одним из результатов разработки этого предложения является схема моделирования нагрузок МСПТ с помощью аналоговой машины. В настоящей статье описаны работы, проведенные в Институте энергетики АН Армянской ССР, по сопряжению МСПТ [1] с ВМНД для моделирования динамических характеристик асинхронной нагрузки.

Существует несколько методов моделирования нагрузок энергосистемы на МСПТ. К числу их относятся методы, основанные на: принципе постоянства активных и реактивных сопротивлений; принципе постоянства активных и реактивных мощностей [2]; принципе постоянства тока [3]; представлении нагрузок динамическими характеристиками [4, 5].

Для моделирования асинхронных приводов более удобным можно признать последний метод. Согласно этому методу, параметры нагрузок изменяются в зависимости от скольжения. Последнее зависит от напряжения и времени переходного процесса, что определяется уравнением моментов асинхронного привода. Для получения параметров в зависимости от скольжения, рассмотрим схему замещения асинхронного привода, показанную на рис. 1а. Эквивалентное сопротивление асинхронного привода, подключенного к энергосистеме через комплексное сопротивление питающей сети Z_1 , согласно рис. 1б, равно

$$Z_3(s) = Z_c + Z_1 + \frac{Z_0 Z_2'}{Z_0 + Z_2'} \quad (1)$$

где $Z_1 = R_1 + jX_1$ — комплексное сопротивление статорной обмотки;
 $Z_0 = R_0 + jX_0$ — комплексное сопротивление ветви намагничивания;

$Z_2' = \frac{R_2'}{s} + jX_2'$ — приведенное к напряжению статора комплексное сопротивление ротора и нагрузки двигателя для данного скольжения.

Для моделирования воспользуемся возможностью эквивалентной

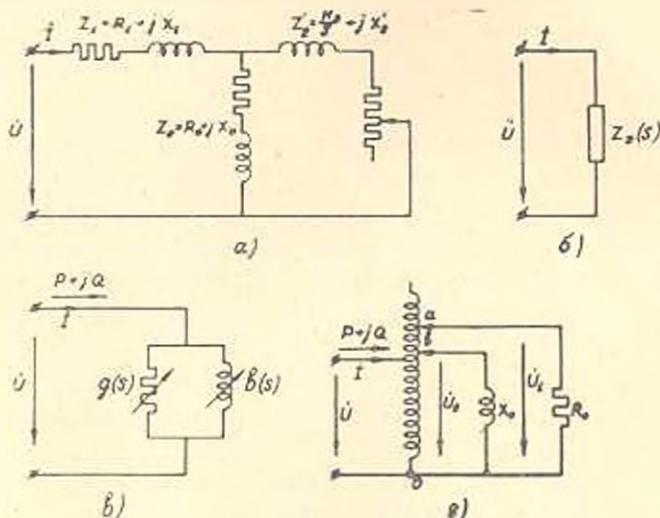


Рис. 1.

замены схем. В частности, при замене исходной схемы цепью из параллельно соединенных активного и реактивного сопротивлений (рис. 1в), получим

$$Y_3(s) = g(s) - jb(s).$$

Принимаем

$$R(s) = \frac{1}{g(s)} ; X(s) = \frac{1}{b(s)} \quad (2)$$

Зависимость сопротивлений $R(s)$ и $X(s)$ от скольжения s показана на рис. 2а. Выражения $R(s)$ и $X(s)$, согласно (1), зависят от сопротивления питающей сети. Характеристики $R(s)$ и $X(s)$ в зависимости от структуры сети будут иметь различный вид. Поэтому, если известны параметры схемы замещения системы, то необходимо построить новые характеристики $R(s)$ и $X(s)$ для каждого узла нагрузки, а если они неизвестны, то можно пользоваться типовыми характеристиками, приведенными, например, в [4].

Для определения скольжения рассмотрим уравнение движения ротора асинхронного привода, которое, при некоторых известных допущениях, имеет следующий вид

$$T_a \frac{ds}{dt} = M_c - \frac{2M_{\max} \left(\frac{U}{U_n} \right)^2}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}} \quad (3)$$

где s — скольжение двигателя;

T_a — постоянная инерции двигателя;

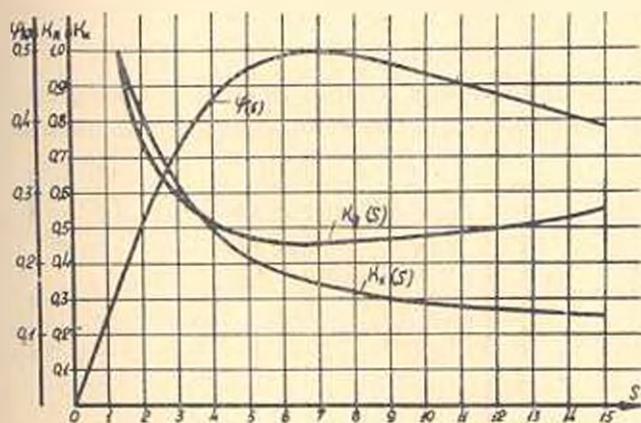
M_c — момент сопротивления привода;

M_{\max} — максимальный вращающий момент двигателя;

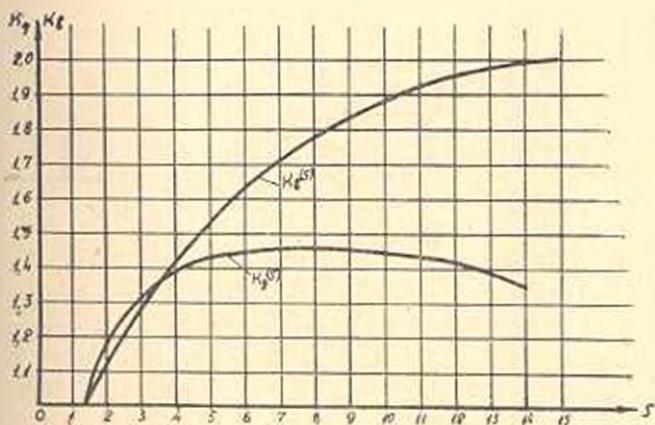
s_k — критическое скольжение;

U_n — напряжение при номинальном режиме;

U — напряжение двигателя в динамическом режиме.



а)



б)

Рис. 2.

Момент сопротивления в общем случае не постоянный и для различных приводов зависит от скольжения и от начального момента. Рассмотрим случай постоянного значения M_c . Трудности получения д.т.н. № 2

решения уравнения (3) относительно скольжения $x_{i-1} = f(U_i/U_n, t)$ связаны с тем, что зависимость напряжения от времени является неизвестной. Поэтому выражение скольжения от времени может быть найдено методом последовательных интервалов, что требует производства больших вычислительных операций и большой затраты времени. С целью повышения производительности расчетов динамической устойчивости электрических систем на МСПТ предусмотрено устройство, которое решает уравнение (3) относительно скольжения. Для решения уравнения (3) на ВМНД использован функциональный преобразователь (нелинейный блок), который воспроизводит функцию

$$\varphi(s) = \frac{1}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}} \quad (4)$$

Для получения величины сопротивлений в каждом интервале времени оказываются необходимыми еще два функциональных преоб-

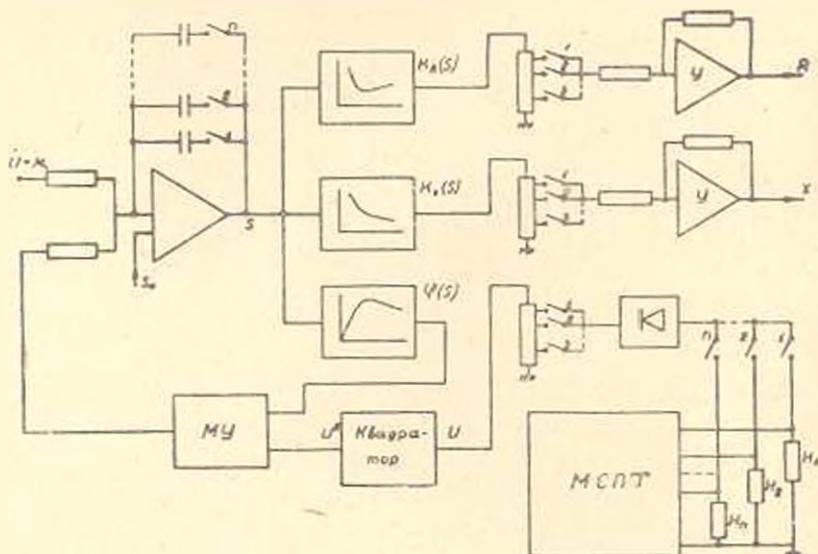


Рис. 3.

разователя, для воспроизведения функций $R(s)$ и $X(s)$. Для решения дифференциального уравнения (3) на ВМНД с использованием функциональных преобразователей принята схема, показанная на рис. 3, принцип работы которой заключается в следующем.

Переменное напряжение (400 гн) на нагрузочном элементе МСПТ выпрямляется и подается на вход квадратора, на выходе которого получается напряжение, пропорциональное квадрату поданного напряжения. Полученное на выходе квадратора напряжение подается на один из входов множительного устройства (МУ). Напряжение на выходе МУ подается на вход интегратора. На интегратор подается также постоянное напряжение U , воспроизводящее свободный член дифференциального уравнения. Конденсатор в цепи обратной связи ин-

тегратора заряжается напряжением, соответствующим номинальному скольжению (s_0). Выход интегратора подключается к функциональному преобразователю, воспроизводящему функцию $\varphi(s)$, выход которого, в свою очередь, подключается ко второму входу МУ. Фактически на вход интегратора подается величина, пропорциональная правой части уравнения (3), следовательно, на выходе получается скольжение — s . Последнее подается на входы функциональных преобразователей, воспроизводящих функции $K_R(s)$ и $K_X(s)$ в виде коэффициентов. Если умножить полученные значения коэффициентов $K_R(s)$ и $K_X(s)$, соответственно, на значения активного и реактивного сопротивления при нормальном режиме, то получим новые значения R и X в каждом интервале времени динамического процесса. Эти умножения осуществляются двумя решающими масштабными усилителями (Y_1 и Y_2), на выходах которых получается R и X . Использование описанного устройства (рис. 3) позволяет одновременно учесть динамические характеристики всех нагрузок, входящих в схему замещения системы. Это делается при помощи конденсатора в цепи обратной связи интегратора и делителей. В нормальном режиме все конденсаторы заряжаются напряжением, пропорциональным номинальному скольжению синхронного двигателя. Конденсаторы выполняют функции запоминающего устройства для дальнейшего расчета динамической устойчивости. В схеме имеется возможность изменять коэффициент загрузки асинхронных двигателей, а также номинальное скольжение путем изменения соответственно, входного сопротивления интегратора и напряжения заряда конденсатора.

2. Изменение параметров R и X нагрузочного элемента обычно влечет за собой изменение активной и реактивной мощностей, *потребляемых нагрузкой*. Такое же изменение мощности можно получить на постоянных сопротивлениях R_0 и X_0 , если соответственно менять напряжения U_1 и U_2 (рис. 1в).

Так как для обеих схем нагрузочного элемента потребляемые активная и реактивная мощности должны быть одинаковыми, то можно написать следующие равенства:

$$U_1 = A_R U \frac{1}{\sqrt{K_R(s)}}, \quad U_2 = A_X U \frac{1}{\sqrt{K_X(s)}},$$

где $A_R = \sqrt{\frac{R_0}{R_n}}$, $A_X = \sqrt{\frac{X_0}{X_n}}$ — постоянные;

R_n и X_n — активное и реактивное сопротивления нормального режима.

Таким образом, если в каждом интервале времени измерять напряжение U на зажимах нагрузочного элемента и по нему определять скольжение, затем по скольжению определять значения функций вида $K_R(s) = \frac{1}{\sqrt{K_R(s)}}$ и $K_X(s) = \frac{1}{\sqrt{K_X(s)}}$ наконец умножать последние на напряжение U , то получим новые значения напряжения U_1 и

U_2 , которые соответствуют новому режиму для данного нагрузочного элемента.

Нагрузочный элемент (рис. 1г) представляет собой автотрансформатор с двумя ползунками. Первичная обмотка автотрансформатора подключается к схеме замещения, собранной на МСПТ, а к двум вторичным обмоткам присоединяются постоянное активное R_0 и индуктивное X_0 сопротивления. Для того, чтобы осуществлять изменение параметров нагрузки или, что одно и то же, изменение напряжения U_1 и U_2 предусмотрен исполнительный механизм.

Блок-схема устройства для автоматизации расчета динамических характеристик нагрузки показана на рис. 4. Как видно из схемы, ее

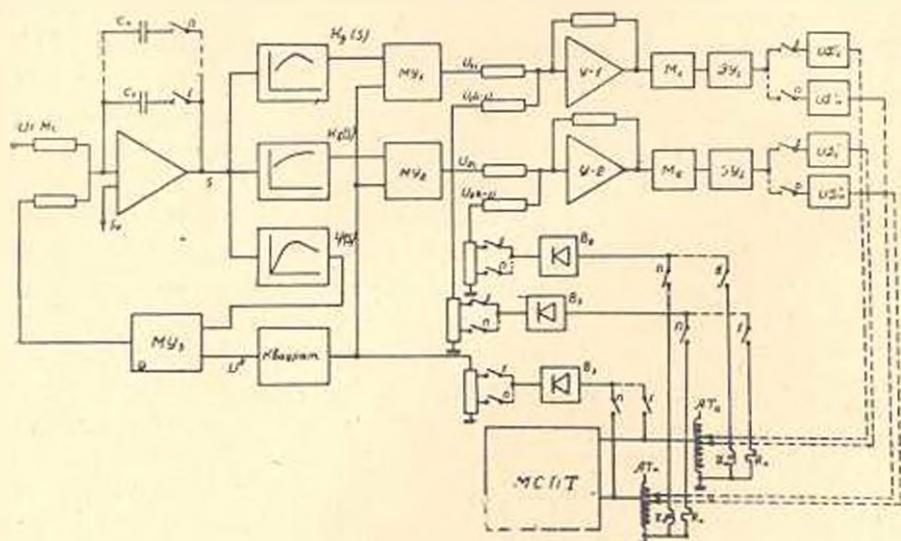


Рис. 4.

основная часть, то есть устройство для решения дифференциального уравнения (3), осталась неизменной.

Полученное напряжение, пропорциональное скольжению s , подается на входы двух функциональных преобразователей, воспроизводящих функции $K_x(s)$ и $K_y(s)$. Выходные напряжения этих блоков подаются на входы двух множительных устройств (MY_1 и MY_2), на другие входы которых подается выпрямленное напряжение U с зажимов нагрузочного элемента. На выходах MY_1 и MY_2 получают напряжения, пропорциональные, соответственно, U_1 и U_2 .

Положение ползунков автотрансформатора должно изменяться таким образом, чтобы напряжение между зажимами ao соответствовало U_1 , а напряжение между зажимами $bo - U_2$ (рис. 1г). Это достигается путем включения в схему следящей системы, которая преобразует полученное напряжение в угол поворота оси ползунка.

Следящая система состоит из суммирующего усилителя (Y_1 и Y_2), модулятора (M_1 и M_2), преобразующего напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока, электронного усилителя мощ-

ности ($\mathcal{E}U_1$, $\mathcal{E}U_2$) и исполнительного двигателя (ND). На один из входов суммирующего усилителя подается напряжение, полученное на выходе MU_1 и MU_2 . На другой вход подается выпрямленное напряжение U_1 и U_2 (от вторичных обмоток автотрансформатора). При противоположной полярности этих напряжений, когда они по величине одинаковы, на выходе напряжение будет равно нулю и, следовательно, двигатель будет находиться в покое. При нарушении режима в системе, напряжение U будет изменяться и на выходе Y_1 и Y_2 получится напряжение разбаланса определенной полярности. Модулятор преобразует это напряжение в напряжение переменного тока, фаза которого зависит от полярности входного напряжения. Эти напряжения усиливаются усилителями и подаются на управляющую обмотку исполнительного асинхронного двухфазного двигателя. Вал двигателя через редуктор механически соединен с ползунком автотрансформатора. Ползунок будет перемещаться до тех пор, пока на выходе суммирующего усилителя Y_1 и Y_2 не получится напряжение, равное нулю.

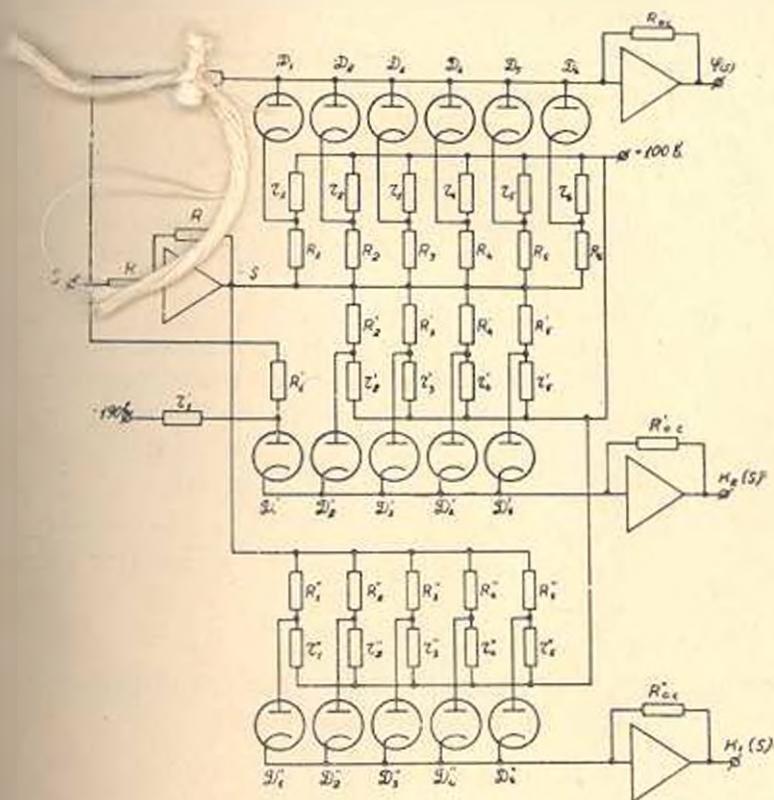


Рис 5.

В описанных схемах используются специализированные преобразователи функций $\varphi(s)$, $R(s)$, $X(s)$, $g(s)$ и $b(s)$. Принципиальные схемы вышелеречисленных функциональных преобразователей показаны на рисунках 5 и 6. В схемах использованы ламповые двойные диоды 6X6С. Так как на вход трех функциональных преобразователей нуж-

но подать одно и то же напряжение обеих полярностей, то использован один выходной, инвертирующий усилитель (рис. 5 и 6). Использование специализированных функциональных преобразователей упрощает схему и дает возможность обойтись малым количеством решающих усилителей.

В качестве множительных устройств и квадратора использованы тиристы, вольтамперные характеристики которых, в комбинации с ли-

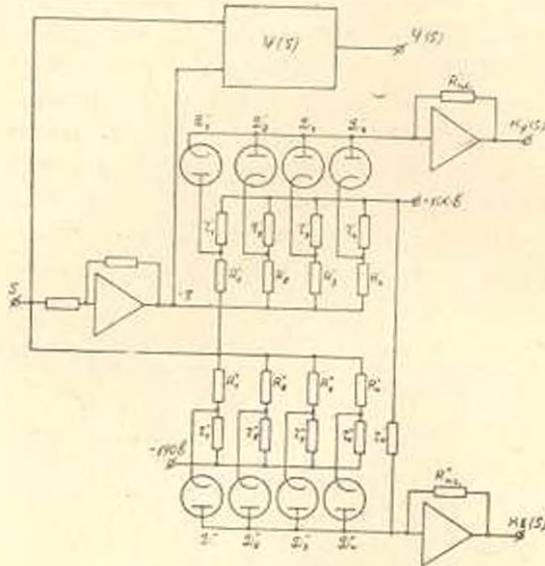


Рис. 6.

нейными сопротивлениями, дают квадратичную характеристику. Описанное устройство в настоящее время работает в полуавтоматическом режиме из-за незавершения некоторых работ по монтажу схемы. В разработке устройств принимал участие дипломник Ереванского политехнического института им. К. Маркса Р. Г. Айказян.

Институт энергетики
АН Армянской ССР

Поступило 2.IV 1963 г

Կ. Ն. ԳԱՄԲՈՒՐՅԱՆ

ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ՀՈՍԱՆՔԻ ՑԱՆՅԻ ՄՈԴԵԼԻ ԲԵՌՆԵՐԻ ՄՈԴԵԼԱՅՈՒՄԸ ԱՆԱՂՎ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ՕԳՆՈՒԹՅԱՄԲ

Ա մ փ ո փ ա լ մ

Էլեկտրական սխեմաների անցողիկ երևույթները ուսումնասիրելիս հաջող արդյունք է տալիս փոփոխական հասանքի ցանցերի մոդելի (ՓՀՑՄ) օգտագործումը: Սակայն այդ դեպքում անհրաժեշտ է լինում անալիտիկորեն մի շարք օժանդակ հաշվումներ կատարել: Վերջինս վերացնելու համար լավ արդյունք է տալիս ՓՀՑՄ և անընդհատ զործող հաշվիչ մեքենաների (ԱԳՀՄ) միակցումը:

Հողվածում բերվում է վերը նշված մեքենաների միակցման հզանակր ախնիրոն բեռերի զինամիական բնաթաղերի մոդելացման համար, որը բառարվում է Հայի, ՍՍՌ ԳՍ Էներգետիկայի ինստիտուտում:

Ասինիրոն շարժիչները, որոնք կազմում են էներգոսխառեմի սպառիչների հիմնական մասը, իրենցից ներկայացնում են ոչ գծային էլեմենտներ: Ինչպես հայտնի է ախնիրոն շարժիչի սահքը, կախված նրա սեղմակների վրա եղած լարումից (տե՛ս, հայ. 3), փոփոխվում է: Երա համարմեք պարամետրերը (R և X) իրենց հերթին կախված են սահքից: Սահքը ինչպես լարման և ժամանակի ֆունկցիա, կարելի է գտնել ԱԳՇՄ-ի օգնությամբ, լուծելով (3) համասարումը: Այս պեպքում բացի հաստատուն հաստների ամեղացուցիչներից անհրաժեշտ են ֆունկցիոնալ փոխակերպիչներ (2) և (4) ֆունկցիաները ստանալու համար (այդ ֆունկցիաները նախորդը հայտնի են, նկ. 2) ինչպես և բազմապատկման էլեմենտներ: Մոդելացման կիսաապստասա և լրիվ ապստասա սխեմաները պատկերված են նկ. 3, 4-ում, իսկ ֆունկցիոնալ փոխակերպիչների սխեմաները՝ նկ. 5, 6-ում:

Նշված մոդելացումը նախարվություն է ստեղծում մեկ սխեմայի միջոցով կատարել գանկացած էներգոսխառեմի բոլոր ախնիրոն բեռերի մոդելացումը: Այլ կատարվում է կոնդենսատորների միջոցով, որոնք միացված են ինտեղրատորի ճեռապարձ կապին և մեկից մյուսին անցնող հատուկ ապստաստիկայի միջոցով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Адоян Г. Т., Аюнджяни Г. Д., Гамбурян К. А., Мартиросян М. А. Модель сетей переменного тока АН Армянской ССР. Известия АН АрмССР, № 6, 1961.
2. M. Šafránek, Československé modely elektrá renských sítí. Stroje na Zpracování In- formací, Sb. III, 1955.
3. Чугунков С. С. Нелинейный элемент расчетного стола переменного тока. Журн. «Электричество», № 5, 1949.
4. Азарьев Д. И. Поведение электроустановок и устойчивость параллельной работы электрических систем. Журн. «Электричество», № 7, 1939.
5. Азарьев Д. И. Математическое моделирование электрических систем. Госэнергиздат, 1962.

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Э. Е. ХАЧИЯН

РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ
 ПО АКСЕЛЕРОГРАММАМ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Сообщение 3.

В настоящем сообщении приводятся спектры перемещений, упрощенные способы учета влияния высших форм колебаний, а также данные о максимальных скоростях колебания грунта, вычисленные по акселерограммам.

1. Спектры перемещений

При расчете сооружений на сейсмостойкость используется сейсмический спектр ускорений. По спектру ускорений решается задача прочности различных конструкций. Исследование спектров ускорений приводится в [1а]. Для обеспечения сейсмостойкости сооружения существенное значение имеют также вопросы жесткости конструкции, характеризуемые горизонтальными максимальными перемещениями. Зависимость максимальных перемещений системы с одной степенью свободы от периода ее свободных колебаний С. В. Медведев [2] называет спектром действия. Графо-аналитическим методом им получен ряд таких спектров на основе сейсмограмм и акселерограмм слабых и сильных землетрясений. Ниже приводятся результаты исследований по спектрам перемещений, полученным на основе четырех реальных акселерограмм сильных землетрясений. Вычисления производились при помощи электронной вычислительной машины. Акселерограммы, их основные характеристики и методика их расшифровки приведены в [1а].

Дифференциальное уравнение простой системы с одной степенью свободы при колебаниях основания по произвольному закону $y_0(t)$ имеет вид:

$$y'' + \frac{2\pi}{T} \alpha y' + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 y = -\ddot{y}_0(t). \quad (1.1)$$

Общее решение уравнения (1.1) при малых значениях α есть:

$$y = e^{-\frac{\alpha t}{T}} \left(A \sin \frac{2\pi}{T} t + B \cos \frac{2\pi}{T} t \right) - \frac{T}{2\pi} \int_0^t e^{-\frac{\alpha(t-\xi)}{T}} \ddot{y}_0(\xi) \sin \frac{2\pi}{T} (t-\xi) d\xi, \quad (1.2)$$

где α — коэффициент внутреннего трения, связанный с декрементом затухания δ соотношением $\delta = \alpha$; T — период свободных колебаний системы; y — относительное перемещение (деформация) системы.

В начальный момент землетрясения перемещения и скорости точек сооружения равны нулю, т. е. $y = y' = 0$ при $t = 0$. Поэтому (1.2) примет вид:

$$y = -\frac{T}{2\pi} \int_0^t e^{-\frac{\pi}{T}(t-\xi)} y_0'(\xi) \sin \frac{2\pi}{T}(t-\xi) d\xi. \quad (1.3)$$

При помощи электронной вычислительной машины для четырех акселерограмм были получены максимальные значения y по уравнению (1.3). В частности, максимальные значения y и зависимости от α и T для акселерограммы № 2 представлены в табл. 1, а спектры перемещений $y_{max}(T)$ для акселерограмм № 1—№ 4 приведены на рис. 1.

Таблица 1
Максимальные значения перемещений при различных значениях T и α , для акселерограммы № 2

T сек	Максимальные перемещения y_{max} в см			
	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,08$	$\alpha=0,12$	$\alpha=0,16$
0,10	-0,144	0,058	0,018	0,044
0,15	0,190	0,185	0,152	0,118
0,20	0,540	0,254	0,243	0,234
0,25	-1,518	0,397	0,316	0,338
0,30	1,748	-1,012	0,673	0,768
0,35	3,292	1,516	-1,320	-1,140
0,40	1,559	1,206	-1,109	-1,012
0,45	2,329	1,533	1,467	1,287
0,50	3,253	-2,019	-1,740	-1,449
0,55	-5,254	2,259	-1,570	-1,662
0,60	-3,365	-1,887	-1,606	-1,459
0,65	-1,883	-1,594	-1,476	1,262
0,70	-1,946	-1,475	-1,450	-1,388
0,75	2,896	2,044	1,775	1,647
0,80	3,596	-2,349	-2,057	-1,927
0,85	-4,172	2,616	2,380	2,267
0,90	-3,546	2,952	2,706	2,583
1,0	3,592	3,036	2,808	2,707
1,1	2,938	2,001	2,509	2,478
1,2	-3,139	2,336	2,263	2,226
1,3	3,552	2,439	2,225	2,182
1,4	3,626	2,534	2,335	2,286
1,5	3,363	2,507	2,394	2,337
1,6	-3,439	2,416	2,336	2,271
1,7	3,001	2,342	2,209	2,196
1,8	2,709	2,298	2,216	2,134
1,9	2,745	2,379	2,196	2,101
2,0	2,839	2,433	2,312	2,230
2,5	2,217	2,376	2,217	2,217
3,0	2,509	2,052	2,052	2,052

Первой особенностью спектров перемещений по сравнению со спектрами ускорений является то, что пики на спектрах перемещений получаются не в интервале $0,2 \text{ сек} < T < 0,5 \text{ сек}$, а в интервале

$0,5 \leq T \leq 0,7$ сек. Заметны сильные снижения пиков за счет затухания. Спектры перемещений после $T=1,0$ сек возрастают почти прямолинейно, причем при $T=3,0$ сек, максимальные значения перемещений не превосходят 2,5 см. Исключение составляет акселерограмма № 3.

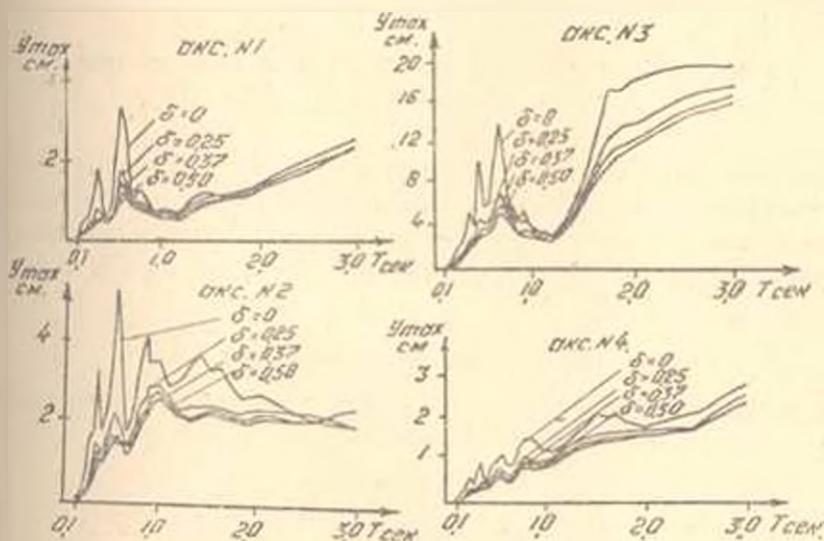


Рис. 1. Спектры перемещений для акселерограмм № № 1—4.

для которой получились большие значения перемещений. Для этой акселерограммы получились большие значения и для ускорений.

В табл. 2 вычисленные автором максимальные значения u сопоставлены с данными С. В. Медведева [2]. Анализ результатов показывает,

Таблица 2
Сопоставление результатов исследования С. В. Медведева и автора

T сек	Максимальные перемещения u_{max} в см по результатам исследования							
	С. В. Медведева				Автора			
	аксел. № 1	аксел. № 2	аксел. № 3	аксел. № 4	аксел. № 1	аксел. № 2	аксел. № 3	аксел. № 4
0,10	0,04	0,05	0,098	0,042	0,529	0,044	0,075	0,017
0,15	0,103	0,14	0,23	0,040	0,078	0,126	0,221	0,082
0,20	0,21	0,27	0,43	0,19	0,223	0,234	0,514	0,206
0,25	0,36	0,47	0,68	0,29	0,370	0,338	0,883	0,298
0,40	0,88	1,50	2,00	0,64	0,532	1,012	2,725	0,364
0,50	1,20	1,90	2,50	0,87	0,620	1,441	3,654	0,557
0,60	1,70	2,20	2,70	1,20	1,228	1,159	4,879	0,656
0,80	2,40	3,20	3,10	1,40	0,826	1,927	4,133	0,923
1,00	2,5	3,70	3,90	3,00	0,632	2,707	3,263	0,910
1,40	3,0	5,60	5,60	4,90	0,694	2,286	5,616	1,491
2,00	4,00	9,60	6,70	6,70	1,313	2,230	12,260	1,723

что между ними имеется существенное расхождение, особенно для больших значений T . Такое расхождение результатов, вероятно, следует объяснить погрешностями графо-аналитического метода, приме-

ленного С. В. Медведевым. Ввиду значительной нерегулярности акселерограмм, по-видимому нельзя их разбить на участки и рассматривать каждый участок в виде полусинусоид с различными амплитудами и периодами.

2. Упрощенные способы учета влияния высших форм колебаний

Проведенные автором исследования [16, 3] по точному методу расчета систем со многими степенями свободы, на основе реальной акселерограммы землетрясения, позволяют дать оценку рассмотренным ниже приближенным методом учета влияния высших форм колебаний.

Брус с преобладанием деформаций сдвига

В рассматриваемом случае по точному методу получено следующее выражение для поперечной силы [3]:

$$S(x, t) = \frac{ql}{g} \sum_{i=1}^3 f_i(x) \frac{2\pi}{T_i} \int_0^t e^{-\frac{\pi}{T_i}(t-\xi)} y''(\xi) \sin \frac{2\pi}{T_i} (t-\xi) d\xi, \quad (2.1)$$

где

$$f_i(x) = \frac{8}{\pi(2j-1)} \cos \frac{2j-1}{2} \pi \frac{x}{l}. \quad (2.2)$$

При различных соотношениях периодов колебаний T_1 , T_2 и T_3 на электронной машине были получены истинные максимальные значения поперечной силы $S(x, t)$ в различных сечениях по высоте бруса по формуле (2.1). Одновременно были получены эпюры распределения поперечной силы по высоте, по отдельным формам колебаний, т. е. по отдельным членам ряда (2.1).

Имея эпюры поперечных сил по отдельным формам колебаний можно учитывать влияния высших форм колебаний упрощенными способами. В табл. 3 приведены значения поперечных сил при различных оценках влияния высших форм колебаний для случая $T_1 = 1,0$ сек, $T_2 = 0,33$ сек, $T_3 = 0,20$ сек. Для каждой акселерограммы в табл. 3 приведены максимальные значения поперечной силы вычисленные по формуле (2.1), т. е. истинные значения поперечных сил при действительном наложении поперечных сил по формам колебаний. Далее приведены значения поперечных сил при среднеквадратичном учете влияния высших форм колебаний, т. е. по формуле

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^3 S_i^2}, \quad (2.3)$$

где S_i — значения поперечных сил по i -ой форме колебания. В следующих графах табл. 3 приводятся значения поперечных сил вычис-

ленные по формуле, рекомендуемой действующими нормативными положениями по строительству в сейсмических районах [1]:

$$S = \sqrt{(S_{\max}^k)^2 + 0,5 \sum_{i=1}^3 S_i^2}, \quad (2.4)$$

где S_{\max}^k — наибольшее значение поперечной силы в рассматриваемом сечении, определяемое из сопоставления эпюр поперечных сил по отдельным формам; S_i — значение поперечной силы в том же сечении по остальным двум формам колебаний. Суммирование в (2.4) производилось по всем формам, кроме той, которая соответствует максимальному значению поперечной силы.

В табл. 3 приведены также максимальные значения поперечных сил, вычисленные по первому члену ряда (2.1), т. е. с учетом только первой формы колебания. Аналогичные результаты получились и при следующих соотношениях периодов

$$T_1 = 0,8 \text{ сек}, T_2 = 0,25 \text{ сек}, T_3 = 0,15 \text{ сек}.$$

На рис. 2 показаны эпюры поперечных сил для четырех акселерограмм соответственно сплошной линией при действительном наложении по формуле (2.1) и пунктирной линией по приближенной формуле (2.3). Сопоставление данных табл. 3 и эпюр, показанных на

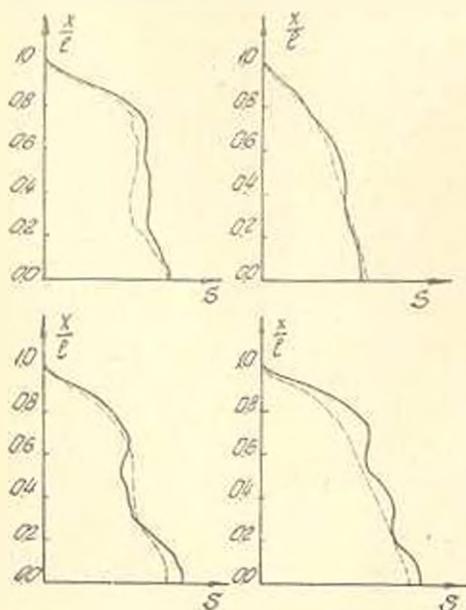


Рис. 2. Эпюры поперечных сил для акселерограмм №№ 1—4 (сдвиговые колебания).

сил по точному методу получены следующие выражения [16]:

$$M(x, t) = \frac{q l}{g} \sum_{i=1}^3 \gamma_i(x) \frac{2\pi}{T_i} \int_0^t e^{-\frac{\pi}{T_i}(t-\tau)} y_0(\tau) \sin \frac{2\pi}{T_i} (t-\tau) d\tau, \quad (2.5)$$

рис. 2, показывает, что наилучшее приближение дает формула (2.3). Вообще, значения поперечных сил по формулам (2.3) и (2.4) мало отличаются друг от друга. Но так как формула (2.4) не имеет достаточного теоретического и экспериментального обоснования, то нам представляется, что для приближенной оценки влияния высших форм колебаний целесообразно пользоваться формулой (2.3), которая применяется и в других областях приближенных вычислений.

Брус с преобладанием деформаций изгиба

При изгибных колебаниях бруса постоянного сечения для изгибающих моментов и поперечных

$$Q(x, t) = \frac{qt}{g} \sum_{i=1}^3 \varphi_i(x) \frac{2\pi}{T_i} \int_0^t e^{-\frac{\pi}{T_i}(t-\xi)} y_0(\xi) \sin \frac{2\pi}{T_i}(t-\xi) d\xi.$$

При значениях периодов свободных колебаний $T_1 = 2,5$ сек, $T_2 = 0,4$ сек, $T_3 = 0,15$ сек по формулам (2.5) были получены максимальные значения M и Q и эти же значения по отдельным формам колебаний.

Были вычислены также значения изгибающих моментов и поперечных сил по формулам:

$$M = \sqrt{\sum_{i=1}^3 M_i^2}, \tag{2.6}$$

$$Q = \sqrt{\sum_{i=1}^3 Q_i^2}.$$

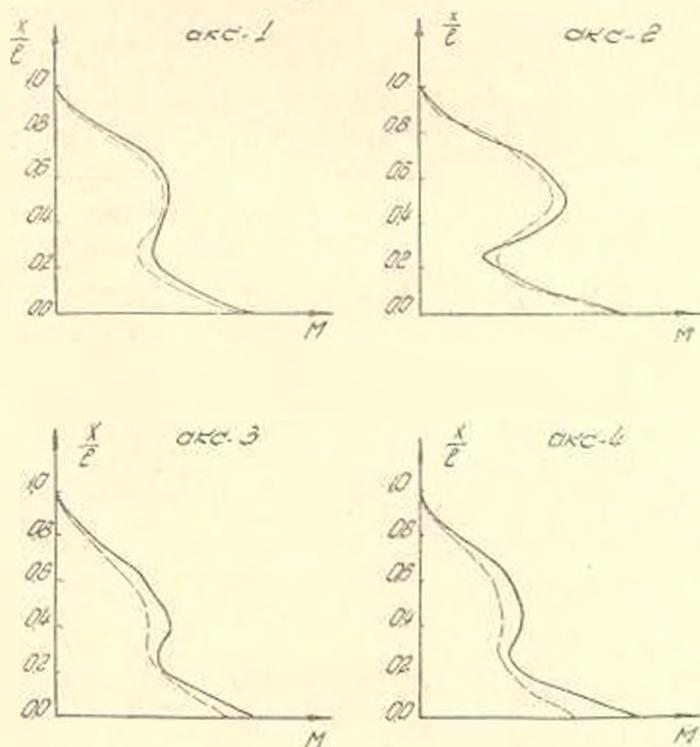


Рис. 3. Эпюры изгибающих моментов для акселерограмм №№ 1—4 (изгибные колебания).

Значения изгибающих моментов и поперечных сил для четырех акселерограмм при $\alpha = 0,08$ приведены в табл. 4. На рисунках 3 и 4 приведены эпюры изгибающих моментов и поперечных сил, построенных по результатам действительного наложения по формулам (2.5) сплошной линией и по формулам (2.6) — пунктирной линией. Данные, при-

веденные в табл. 4 и эпюры, построенные на рис. 3 и 5, свидетельствуют о том, что среднеквадратичная оценка влияния высших форм колебаний и для случая изгибных колебаний бруса постоянного сечения дает приемлемые результаты.

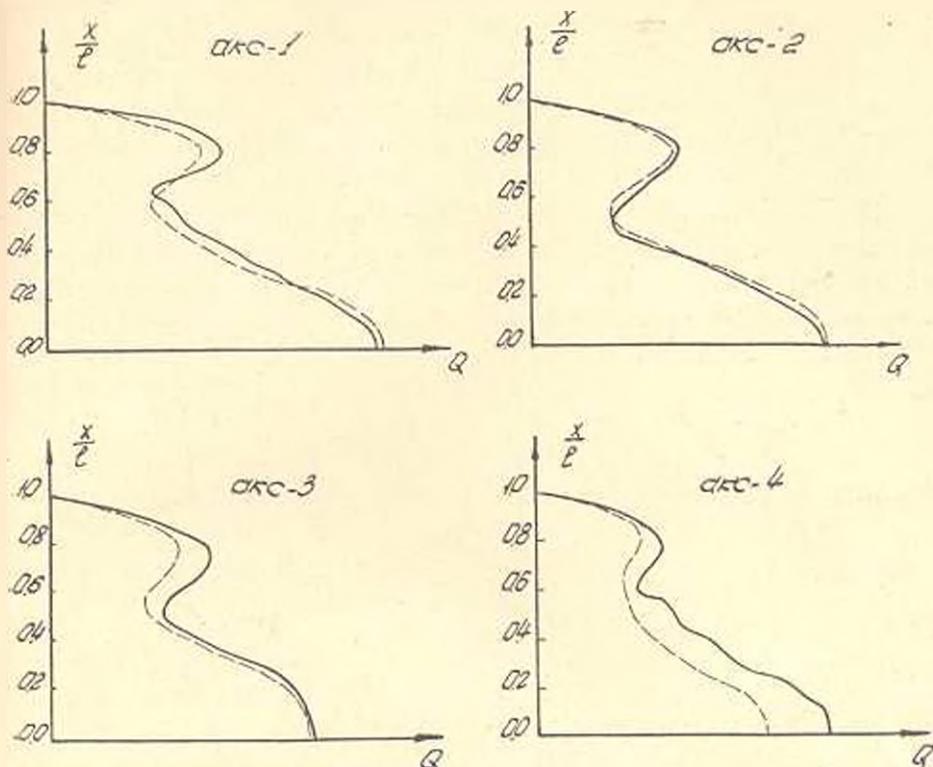


Рис. 4. Эпюры поперечных сил для акселерограмм №№ 1—4 (изгибные колебания).

§ 3. О максимальных скоростях колебания грунта

Результаты исследований, приведенных в сообщениях [1] показали, что воздействие землетрясения на сооружение по своему характеру мало отличается от воздействия отдельного сейсмического удара (импульса). С другой стороны известно, что сейсмический удар характеризуется максимальной скоростью, которую получает основание сооружения [5]. По акселерограмме землетрясения можно вычислить максимальное значение скорости колебания грунта пользуясь следующей формулой:

$$v_{\max} = \left[\int_0^t \ddot{y}_0(\xi) d\xi \right]_{\max} \quad (3.1)$$

По табулированным значениям функции ускорения $\ddot{y}_0(t)$ на электронной машине по формуле (3.1) для четырех исследуемых акселерограмм были получены значения скорости движений грунта. Максимальные значения $(y_0)_{\max}$ и v_{\max} приведены в табл. 5.

Таблица 5
Максимальные значения ускорения и скорости
движения грунта

Номера акселерограмм	$(y_0)_{\max}$ и см/сек ²	Максимальное значение скорости грунта v_{\max} в см/сек
1	93	10,98
2	123	17,96
3	242	27,97
4	67	11,52

Кстати отметим, что максимальные значения скорости приведенные в табл. 5 находятся, примерно, в таких соотношениях, в каких находятся максимальные ускорения. Если допустить, что у основания сооружения имеет место сейсмический удар, то для приведенного сейсмического ускорения будем иметь [5,6]:

$$z(T, \alpha, t) = \frac{2\pi}{T} v_{\max} e^{-\frac{\alpha\pi}{T}t} \sin \frac{2\pi}{T} t. \quad (3.2)$$

Максимальное значение выражения (3.2) получается при $t = \frac{T}{2}$.

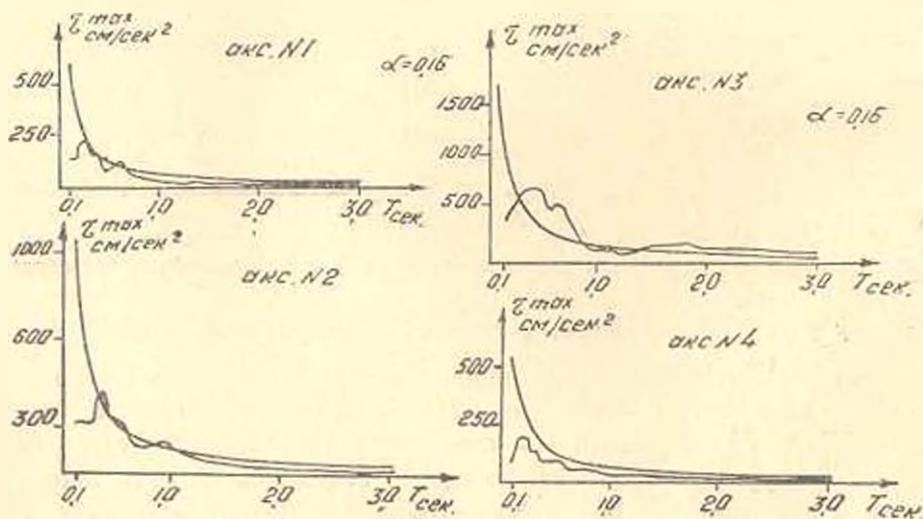


Рис. 5. Спектры ускорений для акселерограмм № 1—№ 4.

В частности,

$$\begin{aligned} \text{при } \alpha = 0,08 \quad \tau_{\max}(T) &= 0,94 \frac{2\pi}{T} v_{\max}; \\ \text{при } \alpha = 0,16 \quad \tau_{\max}(T) &= 0,88 \frac{2\pi}{T} v_{\max}; \\ \text{при } \alpha = 0,20 \quad \tau_{\max}(T) &= 0,85 \frac{2\pi}{T} v_{\max}. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Подставляя в (3.3) максимальные значения скорости v_{max} из табл. 5 и задаваясь различными значениями T , легко получить спектры $\tau_{max}(T)$.

На рис. 5 приведены спектры $\tau_{max}(T)$, полученные по формулам (3.3) (параболы) и для сравнения действительные спектры, построенные на основе акселерограммы [1а] при $\alpha = 0,16$.

Сравнение спектров показывает, что расхождение между ними не большое, причем как показали вычисления, чем больше затухание, тем меньше расхождение. Поэтому в первом приближении в ряде случаев воздействие землетрясения на сооружение представляется возможным заменить воздействием отдельного сейсмического удара с определенным значением для скорости колебания грунта.

Армянский НИИ строительных
материалов и сооружений

Поступило 28.1.63

Է. Ն. ԿԱԶՈՑԱՆ

ՈՒՅԵԿ ԵՐԿՐԱՇԱՐՔՆԵՐԻ ԱԿՍԵԼԵՐՈԳՐԱՄԱՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ
ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔՆԵՐԻ ՍԵՅՍՄՈՎԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿ

Հաղորդում 3

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Ներկա հաղորդման մեջ բերվում են 1) տմեղ երկրաշարժների ակտիվացումների հիման վրա ստացված ակտիվացիայի միջոցների սպեկտրները և նրանց առանձնահատկությունները՝ Սյնեյով [1, 3]-ում բերված ալյալներից տրված և առատանման բարձր ձևերի մոտավոր հաշվառման գոտայան մեխոլոգների վերլուծությունը՝ նշվում է, որ այդ մոտավոր մեխոլոգներից առավելագույն մոտավորություն ապրի և տատանման բարձր ձևերի միջին քառակուսային հաշվառման մեխոլոգը: Հոդվածի վերջում բերվում են ակտիվացումների հիման վրա հաշված զեանի շարժման մաքսիմալ արագությունների մեծությունները: Նշվում է, որ այդ մեծությունների հիման վրա կառուցված արագացումների սպեկտրայ կորերը մոտավորապես համընկնում են իրական սպեկտրայ կորերին: Այս եզրակացությունը մի անգամ ևս հաստատում է, որ հավանաբար որոշ վնասվածք կառուցվածքների սկզբնականության հաշվարկը ուստ ակտիվացումների հիման վրա կարելի է փոխարինել տոննձին սկզբնական հարվածի ազդեցության հաշվարկումով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Хачиян Э. Е. Расчет сооружений на сейсмостойкость по акселерограммам сильных землетрясений. «Известия АН Армянской ССР» (серия т. и). а) Сообщение 1, т. XV, № 3, 1962, б) Сообщение 2, т. XV, № 5, 1962.
2. Медведев С. В. Инженерная сейсмология. Госстройиздат, М., 1962.

3. Хачиян Э. Е. Использование электронных вычислительных машин для расчета сооружений со многими степенями свободы на сейсмостойкость. Бюллетень Совета по сейсмологии АН СССР, № 14, М., 1963.
4. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. СНиП 11—А. 12—62.
5. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Ереван, 1959.
6. Хачиян Э. Е. К интерпретации сейсмического спектра и учету влияния высших форм колебаний. Известия АН Армянской ССР, серия т. II, т. XII, № 3, 1959.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

С. Г. ОВЧНЕВ

О БИОСТОЙКОСТИ НЕКОТОРЫХ ПЛЕНОЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ
 ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одной из основных характеристик долговечности материалов является их стойкость к воздействию микроорганизмов. Практика показала, что жизнедеятельность микроорганизмов возможна как в подземных сооружениях (метро, резервуары, фундаменты и т. д.), так и в наземных сооружениях (плоские кровли, дорожные покрытия и т. д.) Применяемые в настоящее время гидроизоляционные материалы на основе битума оказались не стойкими к воздействию микроорганизмов. С появлением полимеров и изучения возможных путей применения их в качестве гидроизоляционных материалов возникла необходимость исследования их на биостойкость.

В настоящее время известно большое количество плесневых грибов. Фюзе [1] приводит перечень основных плесневых грибов-возбудителей поражения пластических материалов, картона, текстильных изделий и т. д. Кроме плесневых грибов на материалы действуют бактерии и актиномицеты, причиняющие однако значительно меньше вреда, чем грибы.

Все известные методики, выработанные международными организациями или отдельными исследовательскими учреждениями и вошедшие в стандарты испытаний материалов, по характеру воздействия на материал плесневых грибов можно разделить на две группы.

I группа. Методики, основанные на искусственном заражении материалов водной суспензией спор одного или нескольких видов грибов. Оценка стойкости дается по наличию или отсутствию роста плесени. Сюда относится Женевская методика [2].

II группа. Методики, основанные на искусственном заражении материалов спорами плесневых грибов, предварительно покрытых по всей поверхности питательной средой. Оценка стойкости материала дается по изменению механических и диэлектрических показателей. Материалы, зараженные по той или иной методике помещаются в камеру, где поддерживается температура $30 \pm 2^\circ \text{C}$ и относительная влажность воздуха 80-100%. Методики I группы более просты по технике исполнения. Они могут сравнительно быстро и правильно дать ответ, ибо единственным источником питательных веществ, необходимых для развития плесневых грибов является сам

материал. При появлении плесени на материале можно с уверенностью сказать, что питательной средой для плесени является именно материал. Методики II группы более сложны по технике исполнения и требуют более продолжительных сроков. Лишь после использования всей питательной среды с поверхности материала, грибы переходят непосредственно на самый материал, употребляя его, если это возможно, в качестве питательных веществ.

В основе проводимых испытаний полимерных материалов лежит Женевская методика [2], которая для приготовлений суспензий рекомендует применить 7 видов плесневых грибов (*Chaetomium globosum* Kunze, *Paecilomyces varioti* Bainer, *Stachybotris atra* Corda, *Penicillium brevi compactum*, *Penicillium cycloptium*, *Aspergillus amstelodami* (Mang), *Aspergillus niger*).

Кроме этих грибов в состав смеси спор добавляют и другие разновидности, как например: *Trichoderma*, *Myrothecium verrucaria*, *Mecanomiella echinata galloway*, *Penicillium funiculosum* Thom, *Aspergillus flavus* Link, *Sterigmatocystis nigra*.

При проведении экспериментов поверхность образцов перед опрыскиванием смесью спор плесневых грибов обычно протирают спиртом для удаления с них посторонних загрязнений, могущих служить пищей грибам. Исследования по определению грибостойкости проводились параллельно в НИИ пластических масс (Э. А. Аюпджанян) и ВНИИ пленочных материалов и искусственной кожи (Гамова Н. И.).

При испытании чашечным методом [3] образцы раскладывались на поверхности питательного агара, который заражался смесью спор 12 перечисленных выше видов плесневых грибов. Чашки Петри с образцами ставились в эксикаторы над водой и помещались в термостат при температуре 30°C. В каждую чашку помещалось по два образца. Наблюдение за обрастанием производили периодически в течение 90 дней.

При испытании по методике МЭК [2] образцы подвешивались к решетке, которую помещали в эксикатор*. Затем испытуемые материалы заражались смесью спор такого же состава плесневых грибов, как при испытании в чашках Петри, но без питательной среды. Испытания по этому методу продолжались 180 дней.

Исследованию были подвергнуты шесть пленочных полимерных гидроизоляционных материалов: чистый несгаблизованный полиэтилен высокого давления марки ПЭ-200, различные композиции полиэтилена с полиизобутиленом и каменноугольным пеком, изол и композиция наирита с каменноугольным пеком и гудрокамом.

В табл. 1 приводятся данные о биологической стойкости материала в зависимости от степени роста плесневых грибов. Табличные данные показывают, что полиэтиленпековые пленки являются стойкими к воздействию микроорганизмов. То же самое можно сказать и про пленку на основе наирита (полимергудрокампековая). Изол при испы-

* С каждого материала вырезались по пять образцов размером 50×140 мм.

Таблица 1

Наименование материала	Метод обрастания плесневыми грибами (чашечный метод)		Степень питательности (методика МЭК)															
	Продолжительность опытов в днях																	
	2	5	10	15	20	30	60	90	2	5	10	15	20	30	60	90	180	
Полиэтиленпексовая пленка 20%								+										
Полиэтиленпексовая пленка 30%								+										
Полиэтиленпексовая пленка 30/30								+										
Полимергидрокампексовая пленка (наиритовая)								+									+	+
Полиэтиленовая пленка						+	+	●										+
Изол	+	+	+	+	+	+	+	●			+	+	+	+	+	+	+	●

Обозначения: — нет роста плесневых грибов; + слабый рост плесневых грибов; ● интенсивный рост плесневых грибов.

тания оказался не биостойким. Грибы начали развиваться на его поверхности уже на 5—10 день с дальнейшим увеличением их роста. На 60 день поверхность изола была вся покрыта мицелиями, и испытания чашечным методом были прекращены. По методу МЭК исследования продолжались 180 дней. К этому времени изол весь был покрыт мицелиями. При испытании полиэтилена вся его поверхность на 90 день покрылась мицелиями грибов.

Результаты механических испытаний гидроизоляционных пленок представлены в табл. 2.

Таблица 2

Материалы	Прочность на разрыв в кг/см ²				Относительное удлинение в процентах			
	исход.	1 мес.	3 мес.	6 мес.	исход.	1 мес.	3 мес.	6 мес.
Полиэтиленпексовая пленка 20%	105	104	105	101	40	42	41	39
Полиэтиленпексовая пленка 30%	90	92	94	89	50	51	48	47
Полиэтиленпексовая пленка 30/30	80	83	81	84	70	68	65	69
Полиэтиленовая пленка	100	100	110	108	160	150	142	135
Полимергидрокампексовая (наиритовая) пленка	25	26	24	21	440	432	430	425
Изол	4,0	4,1	4,3	3,4	80	65	64	70

Как видно из табл. 2 все пленки, за исключением изола, в течение 6 месяцев сохранили свои начальные характеристики. Вazole наблюдалось понижение прочности на разрыв вследствие агрессивного действия микроорганизмов. Для придания изолу биостойкости необходимо добавить в него фунгициды, которые не дают возможности развиваться грибам на поверхности пленки. В настоящее время в НИИ Асбестцемент ведутся работы по созданию биостойкого изола.

На основании произведенных опытов можно отметить, что наиболее стойкими к воздействию плесневых грибов оказались полиэтиленовые и полимергудрокампековые пленки.

Автор выражает признательность Г. А. Арзумяняну за ценные советы данные им при рецензировании статьи.

Армянский НИИ

строительных материалов и сооружений

Поступило 13.II 1963 г.

Ո Ղ ՕՒԿՆԻՎ

ԽԱՎԱՆԹԱՅԻՆ ՊՈՒՐԵՐԱՅԻՆ ԶԻՐՈՒՄԿՈՒՄԻՉ ՆՅՈՒԹԵՐԻ
ԿԵՆՍԱՐԱՆԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԶԱՐՅԻ ՎԵՐԱՐԵՐՅԱԼ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Նյութերը փորձարկվել են երկու եղանակով՝ Պետրիի բաժակի մեջ սննդարար միջավայրի սակայությամբ և առանց սննդարար միջավայրի՝ Նյութերը հիշված եղանակներով փորակվում էին պլաստմասայի վրա ուժեղ ազդեցություն ցուցաբերող 12 տեսակի բորբոսային սնկերով: Պատրաստված նմուշները տեղադրվում էին էքսիկատորներում. որոնց մեջ պահպանվում էր $30^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճան, $80 - 100\%$ հարաբերական խոնավության պայմաններում:

Նյութերի կայունությունը հանդես առնող միկրոօրգանիզմների ազդեցության դնահատվում էր ինչպես ըստ բորբոսի ծածկման աստիճանի (կենսարանական դնահատական), այնպես և ֆիզիկո-մեխանիկական ցուցանիշների փոփոխություն (ձգման ամրություն, հարաբերական երկարացման և շրանթափանցելիության): Փորձարկման են ենթարկվել վից տեսակի թաղանթային նյութեր. ստարիլիզացիայի չենթարկված պոլիէտիլեն, իզոլ, պոլիէտիլենի և պոլիդորոտիլենի ու քարածխային կուպրի կոմպոզիցիան, նախրտի և պողոտյամի ու քարածխային կուպրի կոմպոզիցիան: Պոլիէտիլենի և պոլիմեր-ցուղրակամպեկային թաղանթները միկրոօրգանիզմների ազդեցության նկատմամբ իրենց ցուցաբերեցին կայուն էզոլի և պոլիէտիլենի մակերևույթները ծածկված էին սնկերի միջնկերով. այսինքն Նրանք հանդես էին եկել ոչ կենսակայուն:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Fuzzy P. Courrier de normalisation* № 150, 1959.
2. Основные методы ваннатиических металлических испытаний Центрального бюро межгосударственной электротехнической комиссии. Доклад № 68, Женева, 1954.
3. *Голова-Клюкова И И, Савишкина М. А. ВНИИППКл, сб. 11, 1960.*

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

И. Ф. ГОНЧАРЕВИЧ, Е. А. СИМОНЯН

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОУДАРЕНИЯ ГРУЗА
 С ВИБРИРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

В процессе вибротранспортирования, вибропогрузки и вибробункеризации закономерности соударения груза с вибрирующей поверхностью остаются неизученными. Наибольший интерес представляют продолжительность соударения, силы и ускорения действующие в процессе удара, а также потери энергии.

Известно, что потеря кинетической энергии тела массы m_1 при вполне неупругом ударе его о другое тело массы m_2 равна

$$W^{*} = \frac{m_1}{\frac{m_1}{m_2} + 1} \cdot \frac{(v' - v)^2}{2}, \quad (1)$$

где v' и v — скорости движения тел перед ударом и после него.

Скорость движения груза и грузонесущего органа в момент соударения (падения) соответственно равны*

$$\dot{x}_{\text{гн}} = - \frac{g}{\omega_0} (1 - e^{-\omega_0 t}) - A \omega \sin \psi_0 e^{-\omega_0 t}, \quad (2)$$

$$\dot{x}_n = - A \omega \sin \psi_n, \quad (3)$$

где A и ω — амплитуда и частота колебаний грузонесущего органа вибрационной машины;

ψ_0 — угол отрыва груза от грузонесущего органа;

$\psi_{\text{гн}}$ — угол полета груза;

ψ_n — угол падения груза;

x — коэффициент, учитывающий сопротивления и другие факторы действующие на груз.

Используя соотношения (1)–(3), найдем потери кинетической энергии груза в процессе соударения с вибрирующей поверхностью

$$W^{*} = \frac{m_1}{\frac{m_1}{m_2} + 1} \cdot \frac{(\dot{x}_{\text{гн}} - \dot{x}_n)^2}{2} = \frac{m_1}{\frac{m_1}{m_2} + 1} \times$$

* Следует отметить, что гипотеза неупругого удара вполне соответствует действительности при взаимодействии массовых грузов с вибрирующей поверхностью.

$$\times \frac{A^2 \omega^2 \left[\sin \psi_n - \sin \psi_0 e^{-\Gamma x} - \frac{1}{\Gamma x} (1 - e^{-\Gamma x}) \right]^2}{2}, \quad (4)$$

где $\Gamma = \frac{A \omega^2}{g}$ — безразмерный параметр режима работы вибрационной машины.

Потери кинетической энергии груза в процессе соударения выполняются за счет энергии колебательного движения рабочего органа вибрационной машины. Вибрационная машина совершает работу, преодолевая силу, возникающую в процессе соударения груза с грузонесущим органом. Дифференциал работы силы удара, действующей перпендикулярно грузонесущему органу в процессе соударения, выразится так

$$dW^{*'} = \frac{1}{t^{*'}} S dx, \quad (5)$$

где $t^{*'}$ — время соударения груза с грузонесущим органом;
 S — ударный импульс;
 x — перемещение грузонесущего органа.
 Из теории удара известно, что

$$S = F^{*'} t^{*' } = m (v' - v), \quad (6)$$

где v' и v — скорость движения тела до и после удара.

Принимая во внимание, что скорость движения груза после удара равна $A \omega \sin \psi_n^{*'}$, а также учитывая (2), (5) и (6), получим

$$dW^{*'} = \frac{1}{t^{*' }} m \left[-\sin \psi_n^{*' } + \sin \psi_0 e^{-\Gamma x} + \frac{1}{\Gamma x} (1 - e^{-\Gamma x}) \right] dx, \quad (7)$$

откуда, работа, затрачиваемая вибрационной машиной на преодоление ударных сопротивлений, будет

$$\begin{aligned} W^{*'} &= \int_{x_n}^{x_n^{*' }} \frac{m}{t^{*' }} \left[-\sin \psi_n^{*' } + \sin \psi_0 e^{-\Gamma x} + \frac{1}{\Gamma x} (1 - e^{-\Gamma x}) \right] dx = \\ &= \frac{m}{\omega t^{*' }} \left[-\sin \psi_n^{*' } + \sin \psi_0 e^{-\Gamma x} + \frac{1}{\Gamma x} (1 - e^{-\Gamma x}) \right] \int_{x_n}^{x_n^{*' }} \frac{dx}{dt} dt, \quad (8) \end{aligned}$$

где x_n и $x_n^{*'}$ — перемещения грузонесущего органа, соответствующие началу и концу соударения;

ψ_n и $\psi_n^{*'}$ — фазовые углы начала и конца соударения.

Приняв, что грузонесущий орган совершает гармонические колебания по закону

$$x = A \cos \omega t, \quad (9)$$

получим

$$W^{*'} = \frac{mA^2\omega^2}{\delta^{*'}} \left[\sin \psi_n^{**} - \sin \psi_0 e^{-\delta^{*'}} - \frac{1}{\Gamma_x} (1 - e^{-\delta^{*'}}) \right] \int_{\psi_0}^{\psi_n} \sin \omega t dt, \quad (10)$$

где $\delta^{*'}$ — угол соударения.

Пронзведя интегрирование и осуществив преобразования, найдем

$$\begin{aligned} W^{*'} = & -mA^2\omega^2 \left[\sin \psi_n^{**} - \sin \psi_0 e^{-\delta^{*'}} - \frac{1}{\Gamma_x} (1 - e^{-\delta^{*'}}) \right] \times \\ & \times \left[\cos \psi_n \frac{\sin^2 \frac{1}{2} \delta^{*'}}{2} + \sin \psi_n \frac{\sin \delta^{*'}}{\delta^{*'}} \right] = -mA^2\omega^2 \left[\sin \psi_n \cos \delta^{*' +} \right. \\ & \left. + \cos \psi_n \sin \delta^{*' -} - \sin \psi_0 e^{-\delta^{*' -}} - \frac{1}{\Gamma_x} (1 - e^{-\delta^{*' -}}) \right] \times \\ & \times \left[\cos \psi_n \frac{\sin^2 \frac{1}{2} \delta^{*'}}{2} + \sin \psi_n \frac{\sin \delta^{*' -}}{\delta^{*' -}} \right]. \quad (11) \end{aligned}$$

Для облегчения дальнейших выкладок упростим выражение (11).

Так как $\delta^{*'}$ мало, можно считать, что $\cos \delta^{*' -} = 1$, $\sin \delta^{*' -} = 0$,

$$\frac{\sin \frac{1}{2} \delta^{*' -}}{\frac{1}{2} \delta^{*' -}} = 1, \quad \frac{\sin \delta^{*' -}}{\delta^{*' -}} = 1 \text{ и } \sin \frac{1}{2} \delta^{*' -} = \frac{1}{2} \delta^{*' -}, \text{ поэтому}$$

$$\begin{aligned} W^{*'} = & -mA^2\omega^2 \left[\sin \psi_n - \sin \psi_0 e^{-\delta^{*' -}} - \frac{1}{\Gamma_x} (1 - e^{-\delta^{*' -}}) \right] \times \\ & \times \left[\cos \psi_n \frac{1}{2} \delta^{*' -} + \sin \psi_n \right]. \quad (12) \end{aligned}$$

Приравняв, согласно постановке задачи, выражение (4) выражению (12), получим угол соударения

$$\delta^{*' -} = - \left(\frac{1 - e^{-\delta^{*' -}}}{\alpha \Gamma \cos \psi_n} + \frac{\sin \psi_0 e^{-\delta^{*' -}}}{\cos \psi_n} \right) \frac{1}{\frac{m_1}{m_2} + 1}, \quad (13)$$

и время соударения

$$t^{*' -} = - \frac{1}{\omega} \left(\frac{\sin \psi_0 e^{-\delta^{*' -}}}{\cos \psi_n} + \frac{1 - e^{-\delta^{*' -}}}{\alpha \Gamma \cos \psi_n} \right) \frac{1}{\frac{m_1}{m_2} + 1}, \quad (14)$$

Зная время соударения, нетрудно определить, согласно (6), силу удара

$$t^{*'} = \frac{S}{t^{*'}} = -m_2 g \frac{\Gamma \sin \psi_n - \Gamma \sin \psi_0 e^{-\lambda^{*'} x} - \frac{1}{x} (1 - e^{-\lambda^{*'} x})}{\frac{1}{\frac{m_1}{m_2} + 1} \left(\frac{\sin \psi_0 e^{-\lambda^{*'} x}}{\cos \psi_n} + \frac{1 - e^{-\lambda^{*'} x}}{x \Gamma \cos \psi_n} \right)} \quad (15)$$

и ускорение груза в процессе удара

$$x^{*'} = -g \frac{\Gamma \sin \psi_n - \Gamma \sin \psi_0 e^{-\lambda^{*'} x} - \frac{1}{x} (1 - e^{-\lambda^{*'} x})}{\frac{1}{\frac{m_1}{m_2} + 1} \left(\frac{\sin \psi_0 e^{-\lambda^{*'} x}}{\cos \psi_n} + \frac{1 - e^{-\lambda^{*'} x}}{x \Gamma \cos \psi_n} \right)}. \quad (16)$$

Если принять $\frac{m_1}{m_2} = 0$, что достаточно достоверно во многих случаях применения вибрационных машин, получим

$$\delta^{*'} = \frac{\sin \psi_0 e^{-\lambda^{*'} x}}{\cos \psi_n} - \frac{1 - e^{-\lambda^{*'} x}}{x \Gamma \cos \psi_n}; \quad (17)$$

$$t^{*'} = \frac{1}{\omega} \left(\frac{\sin \psi_0 e^{-\lambda^{*'} x}}{\cos \psi_n} + \frac{1 - e^{-\lambda^{*'} x}}{x \Gamma \cos \psi_n} \right); \quad (18)$$

$$F^{*'} = -m_1 g \frac{\Gamma \sin \psi_n - \Gamma \sin \psi_0 e^{-\lambda^{*'} x} - \frac{1}{x} (1 - e^{-\lambda^{*'} x})}{\frac{\sin \psi_0 e^{-\lambda^{*'} x}}{\cos \psi_n} + \frac{1 - e^{-\lambda^{*'} x}}{x \Gamma \cos \psi_n}}; \quad (19)$$

$$x^{*'} = -g \frac{\Gamma \sin \psi_n - \Gamma \sin \psi_0 e^{-\lambda^{*'} x} - \frac{1}{x} (1 - e^{-\lambda^{*'} x})}{\frac{\sin \psi_0 e^{-\lambda^{*'} x}}{\cos \psi_n} + \frac{1 - e^{-\lambda^{*'} x}}{x \Gamma \cos \psi_n}}. \quad (20)$$

Используя выражение (17), нетрудно определить скорость груза после соударения с вибрирующей поверхностью

$$x_{2,1}^{*'} = -A \omega \sin \left[\psi_0 + \frac{(1 + x \Gamma \sin \psi_0) e^{-\lambda^{*'} x} + 1}{x \Gamma \cos \psi_n} \right]. \quad (21)$$

Из формул (13) и (14), (17) и (18) видим, что время соударения груза всегда имеет конечную величину и никогда не равно нулю. На основании этого можно заключить, что груз не все время находится во взвешенном состоянии.

Значение углов ψ_0 , ψ_n и $\delta^{*'}$, входящих в расчетные выражения (13)–(20), могут быть определены согласно работе [1].

Приведенные в заметке закономерности соударения груза с вибрирующей поверхностью могут быть полезными при анализе процессов вибротранспортирования, вибропогрузки и вибробункеризации.

ԲՈՎԱՆ ԳԱԿՈՒԾՅՈՒՆ

Եջ

ՍՍՌՄ-ում միախառնելի միջազգային սխառնի ընդունման վերաբերյալ 3

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ

Յու. Մ. Շահնազարյան, Հիդրոդինամիկայի էներգամագնիսական հոսույթները անջուր մային սեղմաների դեպքում 11

Գ. Ա. Հայրապետյան, Միացյալ էներգոսխառնումների միջսխառնմային էներգամագնիսական զեմերի ոչ սինխրոնային որոշ հարցեր 17

Լ. Ն. Յիլանյան, Հոսույթային դեֆեկտիվ էներգոսխառնի օպտիմալ սեղմի կառուցման մի սկզբունքի վերաբերյալ 23

Կ. Ն. Գամբուրյան, Փոփոխական հոսանքի ցանցի մոդելի բևեռների մոդելացումը անալոգ մեքենայի օգնությամբ 31

ԻՆՃԻՆԵՐԱԿԱՆ ԱՆՎԱՆՎՈՂՅԱԿ

Է. Ն. Խաչիյան, Ս.ՃԵԳ երկրաչափումների սկսելիքը դրամների հիման վրա կառուցվածքների սեյսմակալունությունից հանդիման 41

ՇԻՆԱՆՃՅԱՍԵՐ

Ս. Գ. Օվսիբով, Բաղաձևային պոլիմերային հիդրոմեկուսիչ նյութերի կենսաբանական անվտանգության հարցի վերաբերյալ 53

ԳԻՏԱԿԱՆ ՈՐՍԵՐ

Վ. Յ. Գունյարեվիչ, Ե. Ա. Սիմոնյան, Բեռի և տասանվող մակերեսի փոխադարձ հարձակի որոշ օրինակափոխություններ 57

СОДЕРЖАНИЕ

К введению международной системы единиц в СССР Стр. 9

Энергетика

- Ю. М. Шахназарин* Электромагнитная мощность гидрогенератора в переходных режимах 11
- Г. А. Айрапетян* Некоторые вопросы несинхронных АПВ межсистемных электропередач объединенных энергосистем 17
- Л. А. Диланян* Об одном принципе построения оптимального режима энергосистемы с дефицитом мощности 23
- К. А. Галбурян* Моделирование нагрузок МСПТ с помощью аналоговой машины 31

Инженерная сейсмология

- Э. Р. Хачини* Расчет сооружений на сейсмостойкость по акселерограммам сильных землетрясений (сообщение 3) 41

Строительные материалы

- С. Г. Овчиев* О биостойкости некоторых пленочных полимерных гидроизоляционных материалов 53

Научные заметки

- Г. Ф. Гончаревич, Е. А. Симонян* Некоторые закономерности соударения грунта с вибрирующей поверхностью 61

