

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ  
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

# ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ  
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՐԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈՒՅԻՆ

Ալյոնց Հ. Տ., Ալեխանյան Վ. Վ., Եղիազարյան Ի. Վ., Կասյան  
Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Նազարով Ա. Գ., Սիմոնով Կ. Զ.,  
Փիլալյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Адоин Г. Т., Алексеевский В. В., Егизаров Н. В., Касьян  
М. В. (ответ. редактор), Назаров А. Г., Пинаджин В. В.  
(зам. отв. редактора), Симонов М. З.

## ЭНЕРГЕТИКА

Г. Т. АЛОНЦ

ОБ ИТОГАХ РАБОТЫ ИНСТИТУТА ЭНЕРГЕТИКИ  
ЗА ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ

Институт энергетики АН АрмССР (ИНЭН) был создан в марте 1961 г. на базе бывшего Института электротехники АН АрмССР (ИНЭЛ) и двух секторов (общей энергетики и перспективной энергетики) бывшего Института водных проблем и гидравлики АН АрмССР. В мае 1963 г. Институт энергетики АН АрмССР был передан в ведение Государственного производственного комитета (ныне Министерства) энергетики и электрофикации СССР и переименован в Армянский научно-исследовательский институт энергетики (АрмНИИЭ). В статье в кратком изложении приводятся основные итоги по отдельным направлениям работы АрмНИИЭ за последние годы.

1. Топливо-энергетический баланс республики  
и задача его оптимизации

Работы АрмНИИЭ в этом направлении исследований представляются следующими итогами.

а. Определены потребности республики и отдельных отраслей ее народного хозяйства в топливе и электроэнергии. Расчеты были выполнены не только по годам пятилеток, но и для перспективных уровней развития народного хозяйства на 1970–1980 гг. Результаты расчетов неоднократно представлялись в головные научно-исследовательские и проектные организации, а также в соответствующие союзные и республиканские планирующие органы.

б. Выполнены исследования режимов неравномерного потребления газа (в течение суток, недели и более длительных периодов) различными отраслями народного хозяйства. По итогам исследований дано технико-экономическое обоснование необходимости сооружения подземных газохранилищ вблизи Еревана с использованием для этих целей существующих крупных подземных соляных залежей. Газохранилище позволит регулировать режим потребления газа не только в энергетике, но и в других отраслях народного хозяйства республики. Обоснование было одобрено Всесоюзной конференцией по транспорту, хранению и использованию газа, принято к внедрению Министерством газовой промышленности СССР, которое уже в течение не-

скольких лет ведет строительство газохранилищ вблизи Еревана. Раскол, получаемый в процессе строительства этих газохранилищ, используется на Ереванском химкомбинате им. Кирова и приносит огромные прибыли, заменяя собой привозную соль в больших количествах.

в. Разработаны алгоритм и программа, реализующая его на ЦВМ, оптимизации топливно-энергетического баланса республики. Задача сводится к поиску решения, удовлетворяющего условиям минимума общего расхода энергии и топлива, максимальной эффективности капиталовложений в народное хозяйство и занятости населения. Методика рекомендована Минэнерго СССР к использованию в других союзных республиках. Находятся в стадии разработки новые варианты алгоритма решения задачи оптимизации топливно-энергетического баланса.

г. Дано технико-экономическое обоснование целесообразности прокладки газопровода Иран—СССР через Джульфу, Ереван, Тбилиси. Работа выполнена по заданию проектной организации „Укрпромгаз“.

## 2. Теплофикация городов и оптимизация режимов работы теплоэлектроцентралей

Исследования в этой области теплоэнергетики начаты в АрмНИИЭ в последние три года. Некоторые итоги этих работ:

а. Разработана математическая модель и соответствующая программа для ЦВМ оптимизации выбора мощностей и теплоэлектроцентралей, как элементов энергосистемы. Программа использована для определения областей оптимального развития теплофикации с учетом климатических и энерго-экономических факторов ряда районов СССР.

б. Предложен алгоритм и составлена программа расчета мощностей теплогенерирующих установок систем централизованного теплоснабжения. По этой программе определены степени оптимальной централизации теплоснабжения Еревана, Леннакана, Кировакана и Раздана.

в. Сформулирован алгоритм и составлена программа определения оптимальных областей применения различных систем электротеплоснабжения. Методика используется для выбора оптимальной схемы электроснабжения строительства Усть-Илимской ГЭС (третья ступень Ангарского каскада ГЭС).

г. Построена программа расчета оптимального распределения тепловых и электрических нагрузок между теплофикационными агрегатами ТЭЦ. Программа используется для оптимизации режимов работы Ереванской ТЭЦ.

## 3. Устойчивость режимов объединенных энергосистем

Проводятся исследования по созданию и дальнейшему развитию Закавказской энергетической системы, представляющей собой объеди-

нение энергосистем Азербайджана, Грузии и Армении через межсистемные линии электропередачи высокого напряжения.

Отметим следующие итоги работ:

а. Определены пределы устойчивости стационарных режимов Закавказской энергосистемы. Выявлены величины допустимых перетоков мощностей по межсистемным электропередам напряжением 220 и 330 киловольт.

б. Дано обоснование параметров режимов межсистемных электропередач по условиям устойчивости переходных процессов, возникающих в системе при симметричных и несимметричных коротких замыканиях.

в. Выполнены исследования потерь энергии на корону в высокогорных линиях электропередач напряжением 220 и 330 киловольт. Обосновано предложение о расщеплении проводов линии электропередачи Акстафа-Атарбекян напряжением 330 кв. по условиям обеспечения минимума потерь энергии на корону.

г. Проведены исследования динамической устойчивости режимов объединенных энергосистем при синхронных и несинхронных автоматических повторных включениях (АПВ) межсистемных электропередач. Дано обоснование схем однофазных АПВ, быстродействующих трехфазных и однофазных АПВ линий электропередач, связывающих три энергосистемы Закавказья.

д. Исследованы режимы частотной разгрузки Объединенной Закавказской энергосистемы и разработаны предложения, направленные к предотвращению нарушений устойчивости системы при отключениях от сети отдельных генерирующих станций или частей системы.

е. Проведены экспериментальные исследования устойчивости стационарных режимов межсистемных электропередач Закавказской энергосистемы. Эксперименты, проведенные в реальных условиях работы Закавказской энергосистемы, полностью подтвердили результаты расчетов, выполненных на модели энергосистем института.

ж. Проведены экспериментальные исследования несинхронных динамических процессов, связанных с режимами автоматических повторных включений отдельных линий электропередач высокого напряжения Закавказской энергосистемы. Результаты опытов подтвердили данные расчетов, выполненных на модели энергосистем.

#### 4. Теория и методы расчетов режимов многополюсника

Из четырех основных методов расчета электрических цепей (методы: токов ветвей, контурных токов, узловых напряжений и многополюсника) наиболее эффективным оказывается метод многополюсника. Он является не только рациональным, но и необходимым при исследовании сложных систем с большим числом узлов и контуров. Этот метод получил дальнейшее свое развитие в работах АрмНИИЭ. Ре-

зультаты этих разработок изложены в монографии „Многополюсник“. Некоторые итоги работ:

а. Получены рекуррентные формулы, позволяющие вычислить параметры активного многополюсника, эквивалентного схеме любой структуры и сложности. Эквивалентирование является многоэтапным и обеспечивается расчет параметров многополюсника для любого из этих этапов.

б. Получено решение общей задачи расчета стационарных режимов энергосистем, представляемых уравнениями: узловых напряжений, контурных токов или эквивалентного многополюсника. Имеется в виду метод расчета любых  $2n$  величин из числа  $4n$  (модули и фазы комплексных напряжений, активные и реактивные мощности) независимых параметров стационарного режима многополюсника с  $n$ -независимыми узлами. Сформулированы критерии абсолютной сходимости итерации к единственному решению стационарного режима многополюсника.

Разработанный метод изложен в докладе, представленном на VII всемирной энергетической конференции (МНПЭК-VII).

в. Разработаны методы точного и приближенных расчетов потерь активной и реактивной мощностей в многополюснике.

г. Получены формулы расчета частных производных от потерь активной и реактивной мощностей по любым независимым параметрам стационарного режима многополюсника, что используется в задачах оптимизации режимов энергосистем.

д. Разработаны алгоритмы точного и приближенных методов минимизации потерь активной и реактивной мощностей в многополюснике. Оптимизация ведется по методу итерации с использованием полученных критериев и формул расчета стационарных режимов.

е. Разработан алгоритм расчета оптимального режима энергосистемы, электрическая сеть которой представляется эквивалентным многополюсником.

ж. Разработан метод одновременного расчета токов коротких замыканий и перенапряжений, возникающих на независимых узлах многополюсника. Основой метода служит теория интеграла Фурье.

## 5. Методы математического моделирования энергосистем и отдельных ее узлов

Исследования в этом направлении ведутся в течение ряда лет. При этом получены следующие основные результаты:

а. Разработаны принципы, схемы и конструкция автоматизированной модели энергосистем (АМЭС), представляющей собой сопряжение модели сетей переменного тока в 400 герц, устройства аналоговой техники, позволяющего воспроизвести уравнения динамики генераторных и нагрузочных узлов энергосистемы, а также системы

слежения, обеспечивающей автоматизацию производства расчетов и регистрацию их результатов. Отличительной особенностью АМЭС, зафиксированной в формуле изобретения\*, является то, что для воспроизведения уравнений всех генераторных и нагрузочных узлов моделируемой энергосистемы используется всего один комплект устройства аналоговой техники.

б. Разработаны схемы моделирования на аналоговой машине уравнений переходных электромеханических процессов энергосистем, включая уравнения электрических сетей. Рассматриваются два способа решения, а именно, непосредственное дифференцирование уравнений и способ численного их решения.

в. Разработаны принципы, схемы и конструкция опытной цифровой машины (ОЦМ) для расчета режимов энергосистем. Были выполнены опытные расчеты. Работы были приостановлены в связи с переводом исполнителей этой темы на обслуживание парка серийных цифровых машин института.

г. Разработаны принципы, схемы и конструкция аналоговой модели, предназначенной для экономического распределения нагрузок между станциями системы с учетом потерь мощности в сетях, а также для распределения тепловых и электрических нагрузок между теплофикационными агрегатами ТЭЦ. Отличительной особенностью разработанного изобретения является возможность учета нелинейных характеристик относительных приростов расхода топлива при помощи электромеханических функциональных блоков и использование принципа итерации в расчетах.

д. Выполнены исследования задачи точности и устойчивости решений уравнений на аналоговых машинах. Разработки использованы для моделирования уравнений синхронного генератора, а также для обеспечения устойчивости решения алгебраических уравнений стационарного режима электрической сети.

е. Разработаны принципы, схемы и конструкции моделей генераторных и нагрузочных узлов энергосистемы, необходимые для воспроизведения уравнений этих узлов в аналоговых приставках АМЭС.

ж. Разработаны оригинальные схемы преобразователей токов, напряжений и мощности, необходимые для сопряжения модели сетей переменного тока и аналоговых приставок АМЭС.

## 6. Теория и методы расчета электрических и магнитных полей в неоднородных средах

Основные итоги в этом направлении исследований сводятся к следующему:

а. Разработан метод расчета стационарных двух- и трехмерных полей в неоднородных средах со сложной конфигурацией границы

\* Авторское свидетельство № 7 2288, по заявке 1042308 АрмНИИЭ.

раздела сред. Метод рассчитан на использование ЦВМ и сводится к решению интегральных уравнений типа Фредгольма.

б. Определен тензор напряжений, возникающих в неоднородной среде с произвольно нелинейными параметрами под воздействием электрического или магнитного поля. Известное выражение соответствующего тензора для сред с линейными параметрами является частным случаем полученного.

в. Расширена область применения метода изображений на задачи со средами, обладающими параметрами конечной величины.

г. Исследована работа заземлителей в сложных условиях скальных грунтов.

д. Проводится расчет уровней грунтовых вод в Араратской долине при выбираемых режимах откачки. Работа выполняется на сеточной модели УСМ-1 по заданию Института водных проблем и гидротехники.

## 7. Параметры и характеристики энергосистем

Широкое применение ЦВМ для расчетов режимов энергосистем привело к необходимости разработки методов автоматизации записи с помощью ЦВМ уравнений режимов, их параметров, а также характеристик генераторных и нагрузочных узлов энергосистемы. Работы в этой области были начаты в последние годы и привели к следующим итогам:

а. Разработаны принцип, алгоритм и программа автоматической записи с помощью ЦВМ матриц уравнений контурных токов и узловых напряжений электрических систем любой сложности, в том числе для случаев схем, содержащих трансформаторы с комплексными коэффициентами трансформации. Для решения этой задачи не требуется предварительного построения схем замещения цепи или ее графа.

б. Разработаны методы построения характеристик относительных приростов расхода топлива для эквивалентной тепловой станции сложной структуры, а именно, станции, содержащей конденсационные, теплофикационные и другие агрегаты.

в. Выполнены экспериментальные исследования частотных характеристик синхронной машины методом вынужденных колебаний.

г. Разработан метод определения частотных характеристик машины гармоническим анализом кривой затухания постоянного тока.

## 8. Теория и методы расчета режимов электрических цепей и сетей

Работы в этом направлении были начаты в последние годы. Итоги выполненных работ:

а. Разработан метод определения оптимальных точек разрыва в сложных замкнутых городских сетях. Метод использован в расчетах режима Ереванской городской электрической сети.

б. Разработан метод учета включений и отключений отдельных линий электропередач в расчетах собственных и взаимных сопротивлений сетей относительно некоторых выделенных зажимов.

в. Предложен способ расчета стационарного режима сетей с помощью ЦВМ по заданным величинам параметра режима, найденного на модели сетей переменного тока.

г. Разработан метод прогнозирования нагрузок трансформаторов городских распределительных сетей, основанный на использовании теории вероятности и данных перспективного развития отдельных видов потребителей электроэнергии городов.

д. Разрабатывается метод расчета режимов сложных электрических городских сетей, основывающийся на возможностях использования ЦВМ и универсальной сеточной модели типа УСМ-1.

е. Разработаны основные положения расчета одно- и двухконтурных нелинейных цепей с использованием для этой цели метода Чаплыгина решения нелинейных дифференциальных уравнений.

## 9. Теория и методы расчета оптимальных режимов гидротепловой энергосистемы

Целью оптимизации энергосистемы, включающей в себя гидроэлектростанции, тепловые электростанции, является выбор такого режима ее работы, при котором достигается минимум стоимости расходуемого топлива на тепловых станциях, с учетом потерь мощности в электрических сетях и расхода воды на гидростанциях. Исследования АрмНИИЭ в области оптимизации режимов гидротепловой энергосистемы были начаты в последние шесть лет и привели к следующим результатам:

а. Установлена возможность и целесообразность приложения существующих в теории оптимального управления формализмов к решению конкретных задач оптимального регулирования энергосистем.

б. Разработан согласно принципу максимума алгоритм оптимального регулирования гидротепловой энергосистемы с ограничениями по фазовым расчетным и управляемым параметрам режима.

в. Разработаны алгоритмы оптимизации суточных режимов сложной энергосистемы с учетом нестационарных процессов в нижнем бьефе.

г. Используя аппарат дискретного динамического программирования, разработан алгоритм оптимизации внутростанционных режимов электростанций сложной структуры.

д. Разработанные по этим алгоритмам программы совместно с программами по режимам многополюсника и автоматизации записей

уравнений электрических сетей используются для комплексной оптимизации режимов Волгоградской энергосистемы.

#### 10. Методы синтеза цифровых автоматов и опознающих систем

Работы в этом направлении возникли в связи с необходимостью разработки принципов построения цифровых автоматов для расчетов и управления режимами энергосистем. Лаборатория по цифровым автоматам была укомплектована выпускниками аспирантуры Института кибернетики АН Укр. ССР. К настоящему времени этой лабораторией получены следующие результаты:

а. Разработаны методы решения одного класса логических задач, включающих в себя минимизацию логических функций. Методы построены с целью преодоления существенных затруднений, возникающих при реализации указанных задач на современных ЦВМ. Получен ряд оценок, характеризующих трудоемкость этих методов.

б. Разработаны формальные методы кодирования, позволяющие решать на этапе кодирования состояний цифрового автомата проблему „гонок“ с учетом сохранения максимального быстродействия и экономии аппаратурных затрат. Получены новые результаты по композиции абстрактных автоматов, которые могут быть применены к исследованию энергосистем.

в. Исследованы наиболее общие типы правильных, неправильных, итеративных разложений булевых функций, которые, как правило, дают более экономные схемы по сравнению с другими методами.

г. Получена асимптотическая оценка сложности логической схемы, реализующей дискретное представление непрерывной на отрезке функции.

д. Разработаны алгоритмы и программы расчета ряда конструкций строительства сооружений Арпа-Севан и Дебетского каскада.

#### 11. Направления работ, выделившиеся из Института энергетики

В течение последних десяти лет выделились следующие отдельные группы и лаборатории:

а) группа автоматического регулирования режимами малых синхронных машин была передана в 1957 г. в Армянский филиал Всесоюзного НИИ электромеханики (АрмФНИИЭМ);

б) лаборатория техники высоких напряжений была переведена в 1959 г. в тот же АрмФНИИЭМ;

в) лаборатория гелиотехники была передана в 1964 г. в состав Всесоюзного НИИ источников тока. Эти подразделения в настоящее время успешно развивают свою научно-исследовательскую работу в составе указанных институтов.

## 12. Лабораторная база института

Основное оборудование АрмНИИЭ состоит из цифровых, аналоговых и моделирующих математических машин.

Кроме этого, институт располагает парком электрических машин, используемых для физических экспериментов по переходным процессам и исследованию параметров и характеристик синхронных машин.

## 13. Опытное производство института

В составе АрмНИИЭ с 1.1.67 г. действует на самостоятельном балансе Опытное производство специализированных вычислительных машин для энергетики. ОП будет выпускать аналоговые и моделирующие машины, необходимые для энергосистем, проектных и научно-исследовательских организаций по энергетике.

## 14. О работах АрмНИИЭ, переданных для использования в производство

За период 1963—1966 годы переданы для практического использования в проектных, планирующих и энергетических организациях 25 законченных работ института. Ниже приводится перечень этих работ.

1963 г. а) исследование статической и динамической устойчивости Армянской энергосистемы для уровня ее развития 1963 и 1965 гг. (переданы: Армглавэнерго, АрмОКП Энергосетьпроект, ОДУ Закавказья); б) исследования несинхронных автоматических повторных включений (НАПВ) межсистемных линий электропередач Закавказья (тем же организациям);

в) разработка рационального топливно-энергетического баланса Армянской ССР на 1970—1980 гг. (СОПС Госплан СССР, Госплан АрмССР, Закгосплан);

г) технико-экономическая эффективность сооружения подземных газохранилищ в Армянской ССР (Госгазпром СССР);

д) разработка комплекса системы автоматического слежения для солнечной печи (Институт металлокерамики и спечсплавов АН УкрССР);

е) автоматическая гелиоустановка для испытаний изоляционных материалов (АрмФНИИЭМ).

1964 г. а) уточнение баланса Армянской ССР на 1970 г. (Госпланам СССР и АрмССР);

б) рекомендации для проектирования подземных газохранилищ (ВНИИПромгаз);

в) разработка стенда для ориентации зеркал-концентраторов (п. я. 651);

г) исследование ГЭС Севано-Раздаиского каскада в режиме синхронного компенсатора (Энергосетьпроект).

1965 г. а) уточненный топливно-энергетический баланс АрмССР по годам до 1970 г. (Закгосплан, Госплан СССР, Южгипрогаз);

б) структура топливно-энергетического баланса сельских районов республики (ВИЭСХ);

в) потребности энергии для сельхозпроизводства и способы их покрытия (ВИЭСХ);

г) эффективность подземных газохранилищ в энергосистемах Армении и Закавказья (ВНИИПромгаз);

д) рекомендации по режимам однофазных и быстродействующих АПВ межсистемных линий электропередач (Армглавэнерго);

е) режимы внутрисистемных электропередач при кольцевании линий 110 кв. для уровня развития Армянской энергосистемы на 1967 г. (Армглавэнерго);

ж) датчики эдс Холла новой конструкции (ЭИИИ им. Г. Кржижановского);

з) теплоснабжение города Кировакана для уровня его развития на 1980 г. (Госстрой АрмССР).

1966 г. а) оптимальная схема теплоснабжения города Левинакана на 1966 г. (Госстрой АрмССР);

б) расходы топлива и энергии в основных энергопотребляющих процессах республики (Энергосетьпроект, Госплан АрмССР, Армглавэнерго);

в) исследования по цифровым автоматам на лампах с холодным катодом (предприятие в г. Ровно);

г) суточное и недельное регулирование режимов газопотребления Ереванским газохранилищем (ВНИИПромгаз);

д) режимы разгрузки по частоте в Закавказской энергосистеме (ОДУ Закавказья, Армглавэнерго, Азглавэнерго, Грузглавэнерго);

е) исследования режимов Читинской энергосистемы (Читаэнерго);

ж) исследования по вземлениям в скалистых грунтах (Армглавэнерго);

з) выбор оптимальной схемы электрической сети 6 кв. г. Еревана на 1966–1970 гг. (Армглавэнерго).

## 15. Подготовка научных кадров

За последние 6 лет защитили кандидатские диссертации 15 сотрудников и аспирантов АрмНИИЭ. В настоящее время в аспирантуре института обучается 20 специалистов.

Ն. Տ. ԱՄՈՆՑ

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏԻ ՎԵՐՁԻՆ ՏԱՐԻՆԵՐՈՒՄ  
ԿԱՏԱՐԱՄ ԱՇԽԱՏԱՆՓՆԵՐԻ ԱՐԿՅՈՒՆՔՆԵՐԸ

Ա մ փ ս փ ո լ մ

Հոգվածում հանրագումարի է ընդմիջում էներգետիկայի հաշվական գիտահետազոտական ինստիտուտի աշխատանքը 1961—1967 թթ. մամանակաշրջանում: Շարադրված են ինստիտուտում հետևյալ ուղղություններում կատարված գիտահետազոտական աշխատանքների արդյունքները.

1. Հանրապետության ջերմաէներգետիկ հաշվեկշիռը և նրա օպտիմալացման խնդիրները:
2. Քաղաքների ջերմաֆիկացիան և ջերմաէլեկտրացենարայների աշխատանքային ուժիմների օպտիմալացումը:
3. Միացյալ էներգատեսակների ուժիմների կայունությունը:
4. Բազմարեհոփ տեսությունը և նրա ուժիմների հաշվման մեթոդները:
5. էներգատեսակների և նրանց ատանձին հանգույցների մաթեմատիկական մոդելացման մեթոդները:
6. Անհամասեռ միջավայրում էլեկտրական ու մագնիսական դաշտերի տեսությունը և հաշվման մեթոդները:
7. էներգատեսակների պարամետրները և ընթացակարգերը:
8. էլեկտրական շղթաների ու ցանցերի ուժիմների տեսությունը և հաշվման մեթոդները:
9. Հիդրոջերմային էներգատեսակի օպտիմալ ուժիմների տեսությունը և հաշվման մեթոդները:
10. Թվային ավտոմատների և ճանաչող սխեմաների սինթեզի մեթոդները:

Բացի դրանցից, տեղեկություններ են ընդմիջում էներգատեսակների համար մասնագիտացված հաշվիչ մեքենաների փորձնական արտադրության մասին, որը կազմակերպվել է ինստիտուտում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Адои Г. Т. Многополюсник. Изд. АН АрмССР, 1965.
2. Адои Г. Т. К методам расчета потерь мощности в электрических сетях энерго-систем. «Электричество», № 11, 1962.
3. Адои Г. Т. Расчет параметров многополюсника, эквивалентного схеме сложной структуры. «Электричество», № 4, 1966.
4. Адои Г. Т., Амирджян Р. А. Алгоритм записи уравнений контурных токов сложных электрических систем. «Электричество», № 12, 1966.
5. Айрапетян Г. А. Уравнения синхронного генератора с демпферными контурами для расчета электромеханических переходных процессов в энергосистемах. Известия АН АрмССР, серия технических наук. № 6, 1964.
6. Акопин С. Г. К математическому моделированию гидроагрегата электростанций. Известия АН СССР. «Энергетика и транспорт», № 1, 1966.

7. Акопян С. Г., Матевосян Н. А., Мурадян С. Г. Решение электромеханического уравнения синхронного генератора на аналоговых вычислительных машинах по методу последовательных интервалов. Известия АН СССР, „Энергетика и транспорт“, № 5, 1966.
8. Ариакян Д. Т. Влияние климатических условий на величину оптимального значения коэффициента теплофикации. „Теплоэнергетика“, № 2, 1966.
9. Гамбурян К. А. Моделирование нагрузок МСПТ с помощью аналоговой машины. Известия АН АрмССР, серия техн. наук, № 1, 1964.
10. Григорян Ю. Г. Эксперименты на цифровой машине по распознаванию зрительных образов. Известия АН СССР, „Техническая кибернетика“, № 2, 1964.
11. Григорян Ю. Г. Вариационная задача функций алгебры логики и метод ее реализации на ЭВМ „Кибернетика“ АН УкрССР, № 1, 1967.
12. Осепян А. М. Технико-экономические расчеты в энергетике. Аргосиздат, 1962.
13. Сааков В. И., Мелкоян Д. С. Метод определения частотных характеристик синхронной машины гармоническим анализом кривой затухания постоянного тока. Известия АН АрмССР, серия техн. наук, № 4, 1967.
14. Хачатрян В. С. К методам расчета собственных и взаимных сопротивлений сложных энергосистем. „Электричество“, № 10, 1964.
15. Хачатрян В. С. К методам расчета рабочих режимов электрических сетей. Известия АН СССР, „Энергетика и транспорт“, № 2, 1967.
16. Хачатрян Н. Т. О приложении метода акад. С. А. Чаплыгина к исследованию процессов в электрических цепях с нелинейными элементами. Известия АН СССР, „Энергетика и транспорт“, № 2, 1967.
17. Шахвердян С. В. К теории оптимального регулирования энергетических систем с ограниченными управлениями и фазовыми координатами. Труды симпозиума „Применение методов математического моделирования в энергетике“, Иркутск, 1966.
18. Шахвердян С. В., Бабаян Д. М. Алгоритм оптимизации многоэкстремальных задач в энергетике. Известия ВУЗ, „Энергетика“ (в печати).

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. В. КАСЬЯН

К СОСТОЯНИЮ КОНТАКТА РЕЖУЩИЙ  
ИНСТРУМЕНТ-ДЕТАЛЬ

Миллионы металлорежущих станков заняты формоизменением деталей машин, придавая заготовкам из различных металлов нужные размеры с высокой степенью точности и с заданной чистотой поверхности. Более чем 80% этих станков работают с металлическим режущим инструментом. Эффективность процесса нужного формообразования в основном зависит от поведения рабочих граней режущего инструмента. За последние сто лет качество режущего инструмента настолько улучшилось, что появилась возможность более чем в 10 раз повысить производительность процесса. И все же вопрос дальнейшего улучшения процесса с точки зрения повышения производительности, качества обработанной поверхности как в смысле чистоты поверхности, так и степени и глубины деформации за линией среза, а также получения экономической точности не только не снят с порядка дня, а наоборот, ставится со все возрастающей остротой. Тысячи исследователей во всем мире и в особенности у нас в Советском Союзе продолжают всесторонние исследования для установления основных закономерностей кинематического и динамического характера. И, пожалуй, нет другой такой отрасли науки, в которой была бы проведена такая масса экспериментов. И все же до сих пор мы не имеем твердых оснований к тому, чтобы сказать, что все теоретические вопросы рационального ведения процесса резания получили свое решение.

Чем же объясняется такое положение? Дело в том, что производительность процесса резания, стойкость режущего инструмента и качество обработанной поверхности предопределяются явлениями на поверхности контакта режущий инструмент—обрабатываемая деталь.

А эти явления чрезвычайно многогранны и зависят от скорости, с которой осуществляется процесс, от геометрических параметров режущего инструмента и его материала, от величины элементов сечения среза, от свойств обрабатываемого материала и других. При этом каждый из влияющих факторов может проявиться в сотнях вариантов. Так, например, количество различных видов обрабатываемых материалов, используемых в машиностроении, исчисляется сотнями. Почти то же самое можно сказать и об остальных влияющих факторах. И что весьма важно—при обработке тех или иных деталей требуются определенные сочетания этих элементов и эти сочетания диктуют

ся комплексом требований, содержание которых меняется в зависимости от эксплуатационных условий, в которых будет находиться машина с данной деталью.

Таким образом, в зоне контакта протекают весьма важные явления, от которых в значительной степени зависит качество обработанной поверхности как в смысле микрорельефа, определяющего величины коэффициентов микроконцентрации напряжений, условия сопряжения деталей между собой при сборке, так и в смысле деформаций по степени и глубине за линией среза, накладывающие определенный отпечаток на долговечность работы деталей и узлов в эксплуатации.

Исходя из этих позиций, представляет значительный интерес рассмотрение вопроса состояния отдельных элементов, участвующих в контакте. Рассмотрим в первую очередь состояние режущего инструмента, рабочие грани которого испытывают значительные напряжения при высокой температуре. Здесь прежде всего необходимо отметить, что вне зависимости от технологического происхождения материала инструмента в нем сосредоточено то или иное количество растворенных газов. При нагреве инструмента под действием деформации впереди лежащего материала с той или иной скоростью, на определенных участках его возникает микровакуум, а потому начинаются явления десорбции. Вместе с тем в зонах, ближайших к контакту, протекают процессы адсорбции, учитывая активность горячего металла инструмента. Конечно, интенсивность этих явлений различна, но почти во всех случаях образуется пленка окислов, роль которой различна. В одних случаях, когда прочность этих пленок высокая, они могут играть защитную от изнашивания роль. Исследования последних лет показывают, что сцепление металлов с щелочными галогенидами определяется сплавом Ван-дер-Ваальса. В других условиях, когда прочность пленок не достаточна и она, разрушаясь под действием значительных давлений, вновь восстанавливается, причем этот процесс, неоднократно повторяясь, уносит с собой частицы металла инструмента, т. е. содействует износу. Необходимо отметить также что наряду с сорбционными процессами в условиях нагревания режущего инструмента происходит увеличение скорости диффузии. Это и понятно, ибо большая часть тепловой энергии, поглощенной металлом инструмента, расходуется на увеличение энергии колебаний атомов. Это меняет и поведение отдельных атомов и их взаимодействие друг с другом и отражается на важных изменениях свойств и поведении кристалла, а следовательно металла инструмента в целом. В результате диффузии возможны полиморфные превращения. Кроме того известно, что при повышении температуры металла инструмента и неравномерного нагрева появляются вакансии. Чем выше средняя энергия атомов, тем выше число таких несовершенств. Это тем более важно для спеченных металлов, характерных наличием в них не-

плотностей. По современным воззрениям основной механизм диффузии сводится к перемещению вакансий в решетке.

Коэффициент диффузии или мера скорости диффузии определяется из выражения

$$D = Ae^{\frac{Q}{RT}}$$

Здесь  $A$  — постоянная, зависящая от состояния материала,  $Q$  — энергия активации для диффузии,  $R$  — газовая постоянная. Как видно из выражения,  $A$  и  $Q$  почти не зависят от температуры,  $R$  и  $e$  — постоянные величины и поэтому небольшие изменения  $T$  вызывают значительные изменения коэффициента диффузии  $D$ . Отметим, что появление адсорбционной пленки на поверхности инструмента, конечно, в какой-то степени отражается на величине коэффициента  $A$ .

Ко всему изложенному нужно добавить еще и то положение, что при нагреве инструмента происходит определенная затрата энергии на выход металла. Р. Фуллер предлагает следующее выражение для зависимости квантового выхода:

$$\ln \frac{Q}{Y} = F(x) + B; \quad x = \frac{h}{kT}$$

Здесь  $T$  — абсолютная температура поверхности,  $h$  — постоянная Планка,  $k$  — постоянная Стефана-Больцмана,  $F(x)$  так называемая кривая Фуллера, форма которой одинакова для всех металлов, постоянная  $B$  — определяется числом центров эмиссии электронов. Вполне понятно, что наличие или отсутствие пленок на поверхности инструмента несколько отражается на форме кривой Фуллера. Но высокая температура сама непосредственно может привести к распаду карбидов вольфрама или титана при переходе определенной критической точки, несколько заниженной, вследствие высокого давления, которое испытывает режущий инструмент.

Но если допустить, что адсорбционной пленки на поверхности контакта инструмент — обрабатываемый металл нет, то на этой поверхности возникают адгезионные силы. В результате их возникновения появляется схватывание между контактирующими металлами в виде застойной зоны, называемой на практике наростом. Эти явления, действительно, имеют место, когда температура на поверхности контакта не достигает определенной величины. Эта зона скоростей не выгодна для формируемой поверхности обрабатываемой детали.

Следующее явление, представляющее очень большой интерес, заключается в следующем. Под действием трения между рабочими гранями инструмента, отделяемой стружкой и поверхностью резания, возникают автоколебания. Кроме них, учитывая, что нагрузка на режущий инструмент часто носит не стабильный характер, возникают дополнительные вибрации с частотой, отличной от частот собственных колебаний инструмента. Образование и срыв нароста в той зоне скоростей резания, которая этим явлением характерна, также накладывает. 2. ТН, № 6

ваются на режущий инструмент определенным образом. Наконец, упругие колебания обрабатываемой детали, возникающие под действием радиальной составляющей усилия резания и наличия дебаланса в природе станка, складываются, отражаясь и накладываясь на зону контакта. Таким образом, режущий инструмент находится в вибрационном состоянии. При этом, так как источники вибрации совершенно разные, то они имеют место почти на всем скоростном диапазоне, но с различной характеристикой. Исследования показали, что частота колебаний колеблется в широких пределах, а в отдельных случаях доходят до 6-7 тысяч герц. Вполне понятно, что такое колебательное состояние режущего инструмента под огромной нагрузкой довольно быстро приводит к усталости. Последствия этого легко обнаруживаются на режущей кромке инструмента. Частицы, откладываемые на лезвиях инструмента, имеют усталостный характер.

Следовательно, на поверхности контакта, действительно, протекают весьма сложные физико-химические явления, многогранно отражающиеся на состоянии режущего инструмента, ускоряющие его изнашивание. Поскольку одним из главных факторов, способных менять направление и интенсивность протекающих явлений, отмеченных выше, является температура на поверхности контакта, а эта последняя в свою очередь зависит в основном от скорости резания, практически связывают скорость резания со стойкостью  $z$ . Эта связь, выраженная уравнением неравнобокой гиперболы, носит весьма примитивный характер

$$v = \frac{C}{z^m}$$

С другой стороны

$$T = C_1 \sqrt{v}$$

подставляя, получаем связь между стойкостью и температурой.

$$z = \sqrt[m]{\frac{CC_1^2}{T^2}} \text{ мин.}$$

Мы рассмотрели лишь направление влияния явлений, протекающих на поверхности контакта на состояние режущего инструмента, как одного из элементов, участвующих в процессе резания.

Еще более важное значение имеет оценка состояния обрабатываемого металла в контактной зоне

Вторым, пожалуй, более важным элементом, участвующим в процессе резания, является сама деталь. И если состояние рабочих граней режущего инструмента нас тревожит из-за высокой доли его участия в себестоимости изделия, то явления, протекающие в прирезонной зоне, непосредственно отражаются на точности и качестве поверхности этой обрабатываемой детали. Конечно, степень этого отражения зависит в первую очередь от свойств обрабатываемого металла.

Дело в том, что при формировании поверхности детали, то есть в процессе ее образования при стабильной и острой геометрии инструмента в результате сочетательного движения детали и инструмента на поверхности детали, образуется шероховатость, как результат остаточных срезов. Но при различном состоянии предрезцово́й зоны и в частности в зависимости от степени деформации ее, высота гребешков этой шероховатости изменяются в довольно широких пределах. Как известно, при этом фактическая поверхность во много раз превышает видимую, появляются микроконцентрации напряжений при нагружении детали с такой поверхностью, ухудшаются условия сопряжения этой детали с другими. Все это отражается на работоспособности и долговечности детали, а вместе с тем машины в целом. Степень деформации предрезцово́й зоны является функцией скорости резания, геометрии инструмента, степени его остроты и, конечно, свойств металла. В частности, с увеличением скорости деформирования высота гребешков в начале снижается, затем резко возрастает в зоне так называемого наростообразования, а в дальнейшем монотонно снижается. При этом резкое ухудшение качества поверхности при использовании скоростей резания, характерных наростом, объясняется и тем, что частицы срывающегося нароста впиваются в обрабатываемую поверхность. Если скорость резания обозначить через  $v$ , а скорость распространения пластических деформаций, определяемой из выражения

$$v_n = \sqrt{\frac{M}{\rho}}$$

в котором  $M$  означает модуль пластичности,  $\rho$  — плотность деформированного металла, то очевидно, что степень деформации  $\Delta$  зависит от отношения этих скоростей

$$\frac{v}{v_n} = u.$$

С увеличением этого отношения сокращается фактор времени, пластические деформации не успевают завершиться и поэтому деформированная часть стружки не налагается на остаточные сечения среза и высота гребешков не превышает геометрических значений. Тут определенную роль играет и геометрия инструмента в части распределения сил стружкообразования. Это и понятно, поскольку процесс резания является процессом пластического сжатия и сдвига. Наменение скорости деформирования отражается и на количестве сдвигов и величине скольжения элементов по плоскостям. В частности при работе с увеличенными скоростями число отдельных элементов растет на единице длины стружки, а их взаимное перемещение уменьшается. Роль дислокации при этом велика, возможно появление слоя Бельби. Вполне закономерно ожидать, что при работе со скоростями

виду незавершенности пластических деформаций в зоне стружкообразования, усилия и работа резания соответственно снижаются, то есть энергоемкость процесса снижается со всеми вытекающими отсюда обстоятельствами.

По существу вопросы чистоты поверхности являются не самыми важными, поскольку в дальнейшем путем использования современных финишных операций можно степень чистоты поверхности значительно повысить и выполнить предъявляемые к поверхности требования.

Гораздо сложнее обстоит дело с деформацией слоя за линией среза. Конечно, значительные пластические деформации, развиваемые в предрезцово́й зоне, проникают и за линии среза. Исследования показывают наличие корреляции между степенью деформации стружки и степенью деформации слоя за линией среза. Основными влияющими факторами на глубину и степень развития деформации являются: скорость резания, геометрия инструмента и величины элементов среза.

С точки зрения изменения физико-механических свойств металла в слое за линией среза происходит следующее: значительно повышается микротвердость, увеличивается плотность дислокаций, уменьшается соответственно вязкость. По мере углубления в слой от поверхности микротвердость, постепенно снижаясь, доходит до микротвердости исходного недеформированного металла. Далее здесь имеет место появление остаточных напряжений, образуется сетка микротрещин, при этом меняются теплопроводность и показатели электропроводности. Вполне понятно, что степень развития тех или иных свойств в значительной мере зависит от качества металла. Путем рекристаллизации в какой-то мере можно восстановить в этом поверхностном слое первоначальную характеристику. Если деталь с такой оценкой поверхности конструктором была рассчитана на прочность без учета изменений свойств слоя, то очевидно, что в эксплуатации поведение детали себя не оправдает.

В свете изложенного, естественно возникает вопрос, а существуют ли методы борьбы со всеми нежелательными явлениями? Безусловно, по некоторым из них имеются глубокие разработки, некоторые мероприятия широко внедрены, но в целом все еще имеет место отставание. Так, например, если порошки карбидов вольфрама и титана в процессе прессования подвергнуть ультразвуковой обработке, то в результате уменьшения коэффициента трения можно удельные силы прессования увеличить и получить плотность пластинки, приближающейся к плотности литого металла. Последующей обработкой спеченной твердосплавной пластины в ультразвуковом поле в восстановительной среде можно добиться пассивации металла, освобождаящей от адсорбции при последующем нагревании и процессе резания.

Путем ликвидации дебалансов в станке и применения демпферов и увеличения жесткости станка можно в значительной степени изба-

вить инструмент от вибрационного усталостного изнашивания и т. д. Задача сводится к необходимости настойчивого внедрения достигнутых результатов и более углубленного изучения процессов на современном уровне.

Поступило 4.XI.1967

И. Д. ГАВРИЛ

### ԿՏՐՈՂ ԿՈՐԾԻՔ-ԴԵՏԱԿ ԿՈՆՏԱԿՏԻ ՎԻՃԱԿԻ ՇՈՒՐՋԸ

#### Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Կտրող գործիք-մշակվող մետաղ կոնտակտի մակերևույթի վրա տեղի են ունենում շատ բարդ ֆիզիկա-քիմիական երևույթներ՝ ադսորբցիա, դիֆուզիա, ստրուկտուրային փոխակերպումներ, հողնածային ամրության իջեցում: Կրանք բազմակողմանիորեն են անդրադառնում կտրող գործիքի վիճակի վրա՝ արագացնելով նրա մաշումը: Այդ անցանկալի երևույթների դեմ պայքարելու գործում թեև գոյություն ունեն մի շարք խորը մշակումներ, սակայն, ամբողջությամբ վերջված, դեռևս կա որոշ ևսամացում:

Ելնելով այդ երևույթների զերուծությունից, հողվածում նշվում են գյուրանց դեմ պայքարելու ուղիներն ու մեթոդները: Մասնավորապես շեշտվում է ևսակալված կարծր միահալվածքային շերտիկները դերձայնային գալտում մշակելու, հաստացում գերախանսր վերացնելու և դեմպֆերներ կիրառելու նրպատակահարմարությունը:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Каминский А. Атомные и ионные столкновения на поверхности металла. М., 1967.
2. Кинел Г. (ред.) Сорбционные процессы в вакууме. М., 1966.
3. Смит А. Основы физики металлов. М., 1962.
4. Русанова А. Фазовые равновесия и поверхностные явления. М., 1967.
5. Касьян А., Маркрян Г. Высокое качество поверхности — основа повышения издежности. Ереван, 1966.
6. Волощенко-Климовицкий Ю. Динамический предел текучести. М., 1965.
7. Гольдсмит В. А. Удар. М., 1965.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Т. А. ГОРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННОГО ГИСТЕРЕЗИСА  
 В УЗЛАХ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ  
 РАМНЫХ СИСТЕМ

При колебаниях сооружений внутреннее трение в материале является не единственной причиной рассеяния энергии [1]. Возникновение сил кулоновского трения в сочленениях (подвижных и неподвижных) приводит также к рассеянию энергии, или к так называемому явлению *конструкционного гистерезиса*. В статье рассматривается конструкционный гистерезис в узлах сборных железобетонных рамных систем. В этих узлах рассеяние энергии в основном происходит в растворных швах, заполняющих полости стыков. Используя принципы, примененные Я. Г. Пановко при исследованиях в области конструкционного демпфирования [2], рассмотрен процесс циклических деформаций шва, вызванный действием изгибающего момента.

Так как при замоноличивании сборных конструкций дается предпочтение соединениям, способным к развитию упруго-пластических деформаций [3], и допускается применение раствора прочностью на одну ступень ниже проектной марки бетона соединяемых элементов [4], то деформативность шва

оказывается значительно выше деформативности материала стыкуемых элементов. Поэтому в первом приближении растворный шов, толщина которого  $\delta$  во много раз меньше его остальных размеров, можно рассматривать как упругую прокладку между двумя абсолютно жесткими плитами, нагруженную моментом  $M$ , действующим в плоскости  $xOy$  (рис. 1, а). Предполагая напряжения и деформации в направлении оси  $z$  полностью отсутствующими ( $\sigma_z = 0$  и  $\epsilon_z = 0$ ), достаточно исследовать деформацию любой единичной полоски, изображенной на рис. 1, б. Рассмотрим

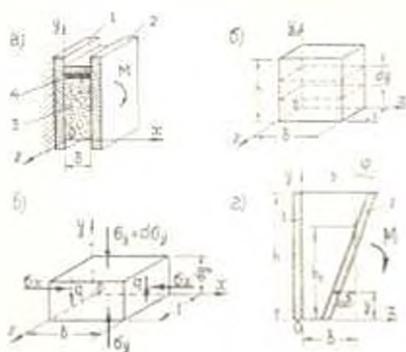


Рис. 1. К анализу работы стыка: а) общая схема, б) единичная полоска, в) нагружение элемента полоски, г) деформация единичной полоски. 1—стойка, 2—ригель; 3—растворный шов; 4—рабочая арматура

жениой на рис. 1, б. Рассмотрим

(рис. 1, в). На гранях элемента действуют нормальные напряжения; кроме того, грани, параллельные плоскости  $yOz$ , нагружены касательными напряжениями  $q = f\sigma_x$ , являющимися напряжениями трения на поверхностях соприкосновения растворного шва с ригелем и со стойкой. Принимая сжимающие напряжения за положительные и предполагая смещение элемента в положительном направлении оси  $y$ , уравнение равновесия в проекции на ось  $y$  будет\*

$$\frac{d\sigma_x}{dy} + \frac{2f}{\delta} \sigma_x = 0. \quad (1)$$

Используя закон Гука

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{1}{E} (\sigma_x - \mu\sigma_y) \\ \sigma_y &= \frac{1}{E} (\sigma_y - \mu\sigma_x) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

и считая деформации сжатия за положительные, будем иметь

$$\frac{d\sigma_x}{dy} = \frac{1}{\mu} \left( \frac{d\sigma_x}{dy} - E \frac{d\sigma_x}{dy} \right). \quad (3)$$

При высоте сжатой зоны  $h_c$  и повороте концевое сечение ригеля на угол  $\varphi$  (рис. 1, г) деформация растворного шва будет

$$\sigma_x = \frac{\Delta\delta}{\delta} = \frac{(h_c - y) \operatorname{tg} \varphi}{\delta}.$$

Вследствие малости угла  $\varphi$  можно положить

$$\frac{d\sigma_x}{dy} = -\frac{\varphi}{\delta}. \quad (4)$$

Подставляя выражения (3) и (4) в (1), получим

$$\frac{d\sigma_x}{dy} + \frac{2f\mu}{\delta} \sigma_x + \frac{E\varphi}{\delta} = 0. \quad (5)$$

При граничном условии  $\sigma_x(h_c) = 0$  решение этого уравнения имеет вид

$$\sigma_x = \frac{E\varphi}{1\delta} [e^{-\lambda(y-h_c)} - 1], \quad (6)$$

где  $\lambda = \frac{2f\mu}{\delta}$  представляет собой постоянную шва.

Выражение (6) соответствует этапу нагружения стыка. При разгрузке изменяется направление сил трения  $q$  и закон распределения напряжений получится изменением знака при коэффициенте трения  $f$  в выражении (6), а именно:

\* Возникающие на гранях элемента касательные напряжения, образуя согласно свойству их парности самоуравновешенную систему, не войдут в составляемые уравнение и поэтому на рис. 1, в не показаны.

$$\sigma_x = \frac{E\varphi}{i\delta} |1 - e^{-i(h_c - y)}|. \quad (7)$$

Полученные зависимости справедливы только при возникновении сил кулоновского трения и  $y < h_c$ . При значении коэффициента трения  $f = 0$  выражения (6) и (7) после раскрытия неопределенности превращаются в известную формулу сопротивления материалов:

$$\sigma_x = \frac{M(h_c - y)}{J}. \quad (8)$$

где  $J$  — момент инерции контактного сечения растворного шва.

Для построения расчетным путем петли гистерезиса рассмотрим работу стыка в целом при постепенном нагружении и разгрузении; при этом можно выделить три характерных стадии напряженно-деформированного состояния.

Стадия I. При малых нагрузках напряжения в растворе шва и арматурных стержнях невелики и деформации носят упругий характер. Распределение напряжений в растворе растянутой зоны линейное, а в сжатой описывается уравнением (6); положение нейтральной

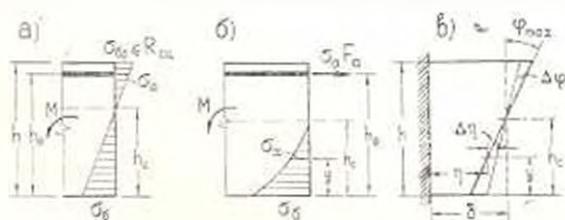


Рис. 2. Напряженно-деформированные состояния стыка: а) стадия I; б) стадия II; в) промежуточный этап.

ной оси ( $h_c$ ) постоянное (рис. 2, а). С увеличением нагрузки напряжения в растворе растянутой зоны приближаются к прочности нормального сцепления раствора с бетоном —  $R_{св}$ . Далее происходит разрыв контактного слоя — образование трещины, которая быстро распространяется до нейтральной оси, смещающейся в сторону сжатой зоны. С раскрытием трещины раствор растянутой зоны полностью выключается из работы и наступает новое качественное состояние — стадия II. Так как  $R_{св}$  величина небольшая, то стадия II наступает при небольших нагрузках. Поэтому, при циклических нагружениях и разгрузениях, установление зависимости «нагрузка-деформация» для стадии I не представляет практического интереса.

Стадия II. Внутреннее растягивающее усилие воспринимается растянутой арматурой, сжимающее усилие — раствором сжатой зоны. Распределение напряжений в растворном шве описывается уравнением (6), у грани сжатой зоны  $\sigma_c < R_u$  (где  $R_u$  — предел прочности раствора на сжатие при изгибе). Положение нейтральной оси и высота сжатой зоны  $h_c$  определяются из условия равенства внутренних

растягивающих и сжимающих усилий (рис. 2, б); при прямоугольном сечении контактного слоя шва шириной  $b$

$$\varepsilon_a F_a = b \int_0^{h_0} \varepsilon_x dy. \quad (9)$$

где  $\varepsilon_x$  — напряжение в растянутой арматуре;  $F_a$  — площадь сечения растянутой арматуры.

Так как деформации по высоте сечения изменяются линейно и сечение при изгибе остается плоским, то

$$\varepsilon_x = \frac{E_a \varphi (h_0 - h_c)}{i h_c} (e^{-h_c} - 1), \quad (10)$$

где  $E_a$  — модуль упругости арматуры.

Подставляя (6) и (10) в (9), получим

$$h_c = (e^{-h_c} - 1) \left[ \frac{1}{\lambda} - \frac{E_a F_a (h_0 - h_c)}{E b h_c} \right]. \quad (11)$$

Как видно из (11), положение нейтральной оси не зависит от нагрузки и, при заданных параметрах стыка,  $h_c$  — величина постоянная.

Зависимость „нагрузка-деформация“ устанавливается из условия равенства изгибающего момента и момента пары внутренних усилий:

$$M = b \int_0^{h_0} \varepsilon_x (h_0 - y) dy. \quad (12)$$

Подставляя выражения (6) и (7) в (12), получим:

а) на этапе *нагружения*

$$M = C_1 \varphi, \quad (13)$$

где

$$C_1 = \frac{b E}{i \lambda} \left\{ \left( h_0 - \frac{1}{\lambda} \right) \left[ \frac{1}{\lambda} (e^{h_c} - 1) - h_c \right] + \frac{h_c^2}{2} \right\}, \quad (14)$$

б) на этапе *разгрузки*

$$M = C_2 \varphi, \quad (15)$$

где

$$C_2 = \frac{b E}{i \lambda} \left\{ \left( h_0 + \frac{1}{\lambda} \right) \left[ h_c - \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-h_c}) \right] - \frac{h_c^2}{2} \right\}. \quad (16)$$

Таким образом, как при нагружении, так и при разгрузении зависимость  $M$  от  $\varphi$  линейна. Разложив экспоненциальные члены, входящие в (14) и (16), в степенные ряды и рассмотрим разность  $C_1 - C_2$ , нетрудно убедиться, что  $C_1 > C_2 > 0$ .

Зависимости (13) и (15), изображенные на рис. 3 лучами 1 и 3, получены при допущении прямого и обратного проскальзывания растворного шва стыка. Ясно, что между процессами, описываемыми лу-

чами 1 и 3, должен лежать промежуточный этап, соответствующий изменению направления сил трения. На этом этапе отсутствует как прямое, так и обратное проскальзывание и происходит жесткое сцепление растворного шва по всей высоте сжатой зоны. В этом случае  $\varepsilon_y = 0$  и из (2) вытекает, что

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \mu} \varepsilon_{x0} \quad (17)$$

На промежуточном этапе изменение изгибающего момента на величину  $\Delta M$  приведет к изменению угла поворота концевое сечения ригеля на величину  $\Delta \varphi$  и, соответственно, изменению деформации шва на величину  $\Delta \varepsilon_s = (h_c - y) \Delta \varphi$  (рис. 2. в). Если в конце этапа нагружения угол поворота концевое сечения ригеля  $\varphi_{\max}$ , то изменение относительной деформации шва составит

$$\Delta \varepsilon_s = \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} = \frac{(h_c - y) \Delta \varphi}{\delta - (h_c - y) \varphi_{\max}}, \quad (18)$$

чему, согласно (17), соответствует изменение напряжения

$$\Delta \sigma_x = \frac{E}{1 - \mu} \frac{(h_c - y) \Delta \varphi}{\delta - (h_c - y) \varphi_{\max}} \quad (19)$$

Для установления зависимости между  $\Delta M$  и  $\Delta \varphi$  запишем момент относительно центра тяжести растянутой арматуры:

$$\Delta M = b \int_0^{h_0} \Delta \sigma_x (h_0 - y) dy. \quad (20)$$

Подставляя (19) в (20), имеем:

$$\Delta M = C_3 \Delta \varepsilon, \quad (21)$$

где

$$C_3 = \frac{b \delta E}{(1 - \mu) \varphi_{\max}^2} \left[ b_1 - \frac{h_c h_0}{\delta} \varphi_{\max} - \left( h_0 - h_c + \frac{\delta}{\varphi_{\max}} \right) \ln \left( 1 - \frac{h_c \varphi_{\max}}{\delta} \right) \right]. \quad (22)$$

На этапе жесткого сцепления зависимость  $M$  от  $\varepsilon$  будет иметь вид

$$M = \left( 1 - \frac{C_3}{C_1} \right) M_{\max} + C_3 \varepsilon, \quad (23)$$

где  $M_{\max}$  — максимальная нагрузка цикла.

Зависимость (23) изображена на рис. 3 лучом 2. Таким образом, при циклических нагружениях и разгружениях петля гистерезиса имеет форму треугольника, описанного лучами 1, 2 и 3. Зависимости (13), (15) и (23) были получены в предположении постоянного значения модуля деформации раствора  $E$ . Но в растворе, как в материале уп-

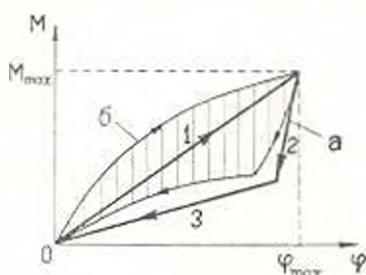


Рис. 3. Петля гистерезиса: а) при  $E = \text{const}$ ; б) при  $E = E(\varepsilon)$ .

руго-пластическом, имеет место нелинейная зависимость между напряжениями и деформациями. Поэтому зависимости (13), (15) и (23) в действительности не линейны и петля гистерезиса будет иметь инд кривой, изображенной на рис. 3.

Полученные зависимости справедливы только при упругих деформациях материалов стыка. С появлением пластических деформаций наступает новое качественное состояние — стадия III. В этой стадии напряжения в растворе сжатой зоны приближаются к  $R_n$  и наступает разрушение стыка. Причем, оно может произойти как по растянутой арматуре, так и по раствору сжатой зоны. Поскольку в области расчетных нагрузок работа стыка происходит по стали II, то построение петли гистерезиса для стадии III не представляет практического интереса и поэтому нами не рассматривается.

Итак, при заданных параметрах стыка, согласно (13), (15) и (23) можно построить петлю гистерезиса и определить ее площадь, представляющую величину энергии, рассеянной за цикл. Для оценки количественного влияния допущений, принятых нами при решении за-

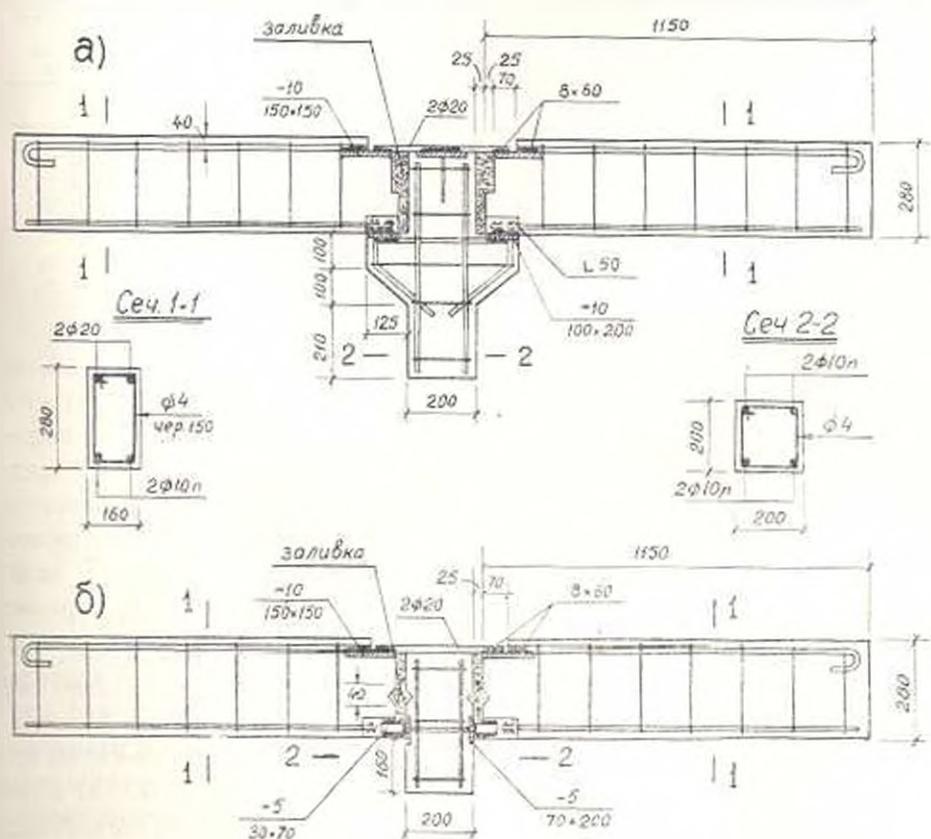


Рис. 4. Конструкции железобетонных образцов: а) с узлом типа ГИПРОТИС; б) с узлом типа б. ШНИИС.

дачи, проведена экспериментальная проверка. Так как в рамных узлах, помимо изгибающего момента, действует также поперечная сила,

для восприятия которой прибегают к различным конструктивным решениям (растворные шпонки, консольные столики колонн и др.), то экспериментированы два типа узлов, наиболее распространенных в строительной практике, а именно: конструкции ГИПРОТИС и конструкции б. ЦИПС. Испытания проводились с железобетонными образцами, конструкции и размеры которых приведены на рис. 4. В качестве инертных использованы дробленый песок и щебень из туфа ереванского типа. Характеристики образцов приведены в табл. 1. Заливка полостей стыков была осуществлена раствором с кубиковой прочностью  $R_{28} = 176 \text{ кг/см}^2$ . Значения предельных нагрузок вычислены по СНиП [4], принимая  $R_a$  и  $R_s$  соответственно равными пределу текучести арматуры ( $\sigma_T = 2500 \text{ кг/см}^2$ ) и 90% кубиковой прочности бетона в день испытания образца.

Таблица 1

Характеристики железобетонных образцов

Тип узла	Номера образцов	Возраст образца в день испытания в днях	Кубиковая прочность бетона ( $\text{кг/см}^2$ )		Объемный вес бетона $\text{т/м}^3$	Предельная нагрузка $\text{кг/см}^2$
			28-дневная	в день испытания образца		
Конструкция ГИПРОТИС	1	303	170	292	1,77	4,27
	2	302	168	288	1,78	4,31
	3	321	150	260	1,79	4,33
Конструкция б. ЦИПС	4	271	157	264	1,73	4,32
	5	270	181	300	1,75	4,25

Испытания образцов проводились по схеме, приведенной на рис. 5. Нагружение и разгружение образцов осуществлялось ступенями, с интервалом между ними 30 сек, с замером прогибов посредине пролета. Устойчивые петли гистерезиса получались после трехкратного нагружения и разгружения образцов. Значения физической

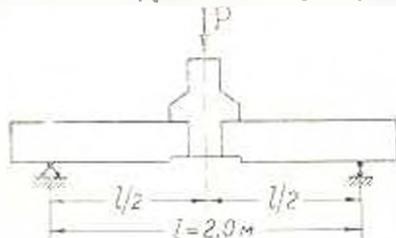


Рис. 5. Схема испытания образцов.

величины коэффициента поглощения энергии в образце —  $\xi_0$ , определенные по петлям гистерезиса при различных значениях максимальной нагрузки цикла, приведены в табл. 2. Поскольку, при циклических нагружениях и разгружениях образцов, конструкционный гистерезис возникает одновременно

с внутренним поглощением энергии в материале сопрягаемых элементов, то величина энергии, рассеянной одним стыком за цикл деформации, будет

$$w = (\xi_0 - \xi_M) \frac{W}{2} \quad (24)$$

Таблица 2

## Результаты испытаний образцов

Номера образцов	Максимальная нагрузка цикла		Максимальная деформация цикла $U_{\text{нпр}}^{\text{м.м}}$	Коэффициент поглощения (физическая величина)		Энергия деформации, поглощенная за цикл стыком (кДж/м)		$\omega$
	$P$ кГ	$M, M_{\text{пр}}$		образца %	материала образца $\beta_{\text{м}}$	по результатам испытаний	вычисленная по предлагаемому способу	
1	1000	0,12	1,14	0,013	0,007	0,17	0,38	0,15
	2000	0,23	2,23	0,028	0,015	1,43	1,50	0,95
	3000	0,35	3,28	0,037	0,022	3,59	3,39	1,06
	4000	0,47	4,32	0,046	0,029	7,24	6,02	1,26
2	1000	0,12	1,10	0,016	0,007	0,23	0,38	0,60
	2000	0,23	2,09	0,027	0,015	1,28	1,50	0,85
	3000	0,34	3,01	0,033	0,022	2,43	3,39	0,72
	4000	0,46	3,99	0,047	0,029	7,18	6,02	1,19
3	1000	0,11	1,30	0,014	0,007	0,22	0,38	0,50
	2000	0,23	2,34	0,025	0,014	1,82	1,50	1,07
	3000	0,35	3,24	0,034	0,022	2,88	3,39	0,85
	4000	0,46	4,14	0,046	0,029	7,19	6,02	1,20
4	1000	0,12	1,45	0,015	0,007	0,29	0,38	0,77
	2000	0,23	2,64	0,031	0,015	2,15	1,50	1,43
	3000	0,35	3,79	0,039	0,022	4,83	3,39	1,41
	4000	0,46	4,83	0,048	0,029	9,09	6,02	1,51
8	1000	0,12	1,34	0,019	0,007	0,38	0,38	1,02
	2000	0,23	2,65	0,033	0,015	2,46	1,50	1,64
	3000	0,35	3,63	0,040	0,022	5,03	3,39	1,49
	4000	0,47	5,01	0,051	0,029	10,58	6,02	1,76

где  $W = \frac{P_{\text{у}} U_{\text{нпр}}}{2}$  — полная энергия деформации,  $\beta_{\text{м}}$  — коэффициент

внутреннего поглощения материала образца.

Значения  $\omega$ , определенные по (24) для всех испытанных образцов, приведены в табл. 2. Причем, значения  $\beta_{\text{м}}$  заимствованы из [3], в которой даны удвоенные значения технической величины  $\beta_{\text{м}}$  для туфожелезобетонных балок, которые по своим основным характеристикам (процент армирования, состав и прочность бетона) идентичны испытанным образцам №№ 1÷5.

Для сопоставления опытных значений  $\omega$  с расчетными по выражениям (13), (15) и (23) построены теоретические петли гистерезиса и определены их площади— $\omega$ , при параметрах стыка:  $\delta = 25$  м.м,  $\rho = 0,2$ ,  $f = 0,7$ ,  $E_{\text{с}} = 60000$  кГ/см<sup>2</sup>. Сопоставление значений  $\omega$  и  $\omega_{\text{т}}$  (табл. 2) показывает близкую сходимость для узлов конструкции

ГИПРОТИС. Имеющее место небольшое расхождение следует приписать непостоянству модуля деформации раствора  $E$ . Для узлов конструкции б. ЦИТИС значения  $\omega$  заметно больше  $\omega_1$ , что вызвано наличием растворных шпонок, увеличивающих площадь контактного слоя.

Таким образом, экспериментальная проверка показала приемлемость предлагаемого способа расчета для практических целей.

Армянский НИИ  
стройматериалов и сооружений

Получено 2.V.1967

Տ. Ա. ԳՈՐՅԱՆ

ԿՈՆՎԵՐՏԻԿՑԻՈՆ ԷԽՍՏՆԵՐԳԻՍԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԱՎԱՔՈՎԻ  
ԵՐԿԱՅՐԵՏՈՆԻ ՇՐՋԱՆԱԿԱՅԻՆ ԱՐԽՏԵՐԵԳԻՍ ԿԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐՈՒՄ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Կառուցվածքների տատանումների ժամանակ նյութի մեջ առաջացող ներքին շփումը էներգիայի ցրման միակ պատճառը է: Հողավորումներում առաջացող կոլոնյան շփման ուժերը նույնպես բերում են տատանումների էներգիայի ցրման, կամ, այսպես կոչված, կոնստրուկցիոն հիստերեզիսի երևույթին:

Հողվածում դիտվում է կոնստրուկցիոն հիստերեզիսի երևույթը հավաքովի երկաթբետոնե շրջանակային սիստեմների հանգուցյներում, ուր տատանումների էներգիայի ցրումը հիմնականում տեղի է ունենում կցվանքի շաղախի կարանում: Ուսումնասիրված է կարանի դիֆուզիայի պրոցեսը ծող մոմենտի սկիզբային ազդեցության դեպքում: Տրված է կոնստրուկցիոն հիստերեզիսի հետևանքով առաջացող էներգիայի կորուստի հաշվման եղանակ և դուրս են բերված հաշվային բանաձևեր:

Խնդրի տեսական լուծման ժամանակ կատարված բնդունելությունների քանակական ազդեցությունը դնահատկու նպատակով, էքսպերիմենտալ եղանակով ուսումնասիրվել են հիստերեզիսային կորուստները հավաքովի երկաթբետոնե շրջանակային կոնստրուկցիաների հանգուցյներում: Փորձարկումներից ստացված և մաքսիմալիզացիոն եղանակով հաշված էներգիայի կորուստի մեծությունների համադրումը ցույց է տալիս կատարված բնդունելությունների թույլտրելիությունը զորձնական հաշվարկների համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Изд. АИ Арм.СР, 1959.
2. Пашова Я. Г. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем. Физматгиз, 1960.
3. Строительные нормы и правила. Строительство в сейсмических районах. СНиП II—А. 12—62. Госстройиздат, 1963.
4. Строительные нормы и правила. Бетонные и железобетонные конструкции. СНиП II—В. 1—62. Госстройиздат, 1962.
5. Гороян Т. А. влияние характера изменения влияющих моментов на рассеяние энергии колебаний железобетонных элементов. Известия АН Армянской ССР (серия технических наук), т. XVIII, № 1, 1965.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Э. Е. ХАЧИЯН

К СЕЙСМОСТОЙКОСТИ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ  
 ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ  
 ДЕФОРМАЦИЙ

Расчетную схему каркасного здания примем в виде вертикального консольного бруса с сосредоточенными массами (рис. 1а). Связь между восстанавливающей силой и деформацией на уровне данного этажа будем принимать или в виде диаграммы Праудтля или билинейной зависимости (рис. 1б). Поскольку изменение деформированного

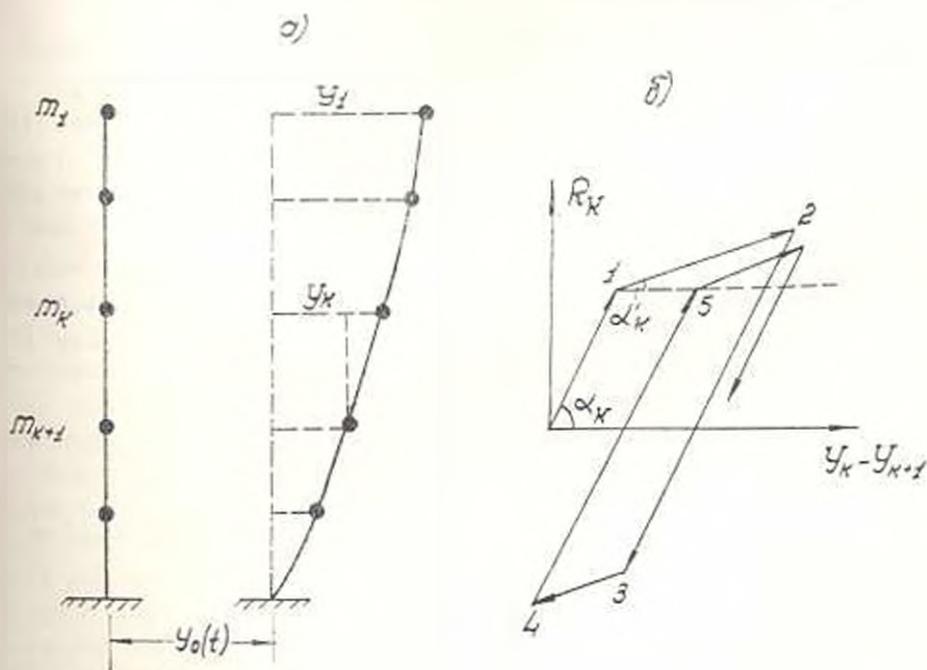


Рис. 1.

состояния на уровне данного этажа вызывает изменение жесткости всей системы, то дифференциальные уравнения движения системы целесообразно составить таким образом, чтобы каждое уравнение содержало минимальное количество параметров, связанных с изменением деформированного состояния на уровнях других этажей. Таким свойством обладают уравнения движения в виде [1]

$$\sum_{i=1}^k m_i \ddot{y}_i + R_k (y_k - y_{k-1}) + R_k^i (y_k^i - y_{k-1}^i) = - \sum_{i=1}^k m_i \ddot{y}_0^i(t), \quad (a)$$

$$k = 1, 2, \dots, n.$$

где  $R_k (y_k - y_{k-1})$  — восстанавливающая сила на уровне  $n - k + 1$  этажа,  $m_k$  — сосредоточенная масса  $n - k + 1$  этажа,  $y_0^i(t)$  — ускорения колебания основания (акселерограмма).

Уравнения движения в упругой стадии  $\theta$ —I согласно (a) запишутся следующим образом:

$$\sum_{i=1}^k m_i \ddot{y}_{k1} + a_k (y_{k1} - y_{k+11}) + \sqrt{m_k a_k} \beta_k (y_{k1}^i - y_{k+11}^i) = - \sum_{i=1}^k m_i \ddot{y}_0^i(t), \quad (1)$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$

где  $a_k$  — жесткость;  $\beta_k$  — коэффициент внутреннего трения этажа.

Как только для какого-либо уравнения системы (1) выполнится условие

$$y_{k1} - y_{k+11} = \gamma_k (y_{k1} - y_{k+11})_{\max}^{\text{упр}}, \quad \gamma_k < 1, \quad (2)$$

это уравнение переходит в стадию упрочнения I—2 и будет иметь вид

$$\sum_{i=1}^k m_i \ddot{y}_{k2} + a_k [(y_{k1} - y_{k+11})_{t=t_{k1}} + \gamma_k |y_{k2} - y_{k+12} - (y_{k1} - y_{k+11})|_{t=t_{k1}}] +$$

$$+ \sqrt{m_k a_k} \beta_k (y_{k2}^i - y_{k+12}^i) = - \sum_{i=1}^k m_i \ddot{y}_0^i(t), \quad (3)$$

где  $t_{k1}$  — момент времени, при котором выполняется условие (2);

$\gamma_k = \frac{1g \sigma_k}{1g \sigma_{k1}}$  — коэффициент упрочнения.

Как только в момент времени  $t_{k2} > t_{k1}$  выполнится условие  $y_{k2} - y_{k+12} = 0$ , начинается разгрузка 2—3 и уравнение движения (3) преобразуется в

$$\sum_{i=1}^k m_i \ddot{y}_{k3} + a_k [y_{k3} - y_{k+13} - (y_{k2} - y_{k+12})_{t=t_{k2}} - (y_{k1} - y_{k+11})_{t=t_{k2}}] +$$

$$+ \gamma_k [(y_{k2} - y_{k+12})_{t=t_{k2}} - (y_{k1} - y_{k+11})_{t=t_{k1}}] + \sqrt{m_k a_k} \beta_k (y_{k3}^i - y_{k+13}^i) =$$

$$= - \sum_{i=1}^k m_i \ddot{y}_0^i.$$

Разгрузка будет продолжаться до тех пор, пока значение  $y_{k3} - y_{k+13}$ , определяемое по уравнению (4), не достигнет значения

$$y_{k3} - y_{k+13} = (y_{k2} - y_{k+12})_{t=t_{k2}} - 2 (y_{k1} - y_{k+11})_{t=t_{k1}} -$$

$$- \gamma_k [(y_{k2} - y_{k+12})_{t=t_{k2}} - (y_{k1} - y_{k+11})_{t=t_{k1}}]. \quad (5)$$

После этого момента начинается упрочнение в обратном направлении 3—4 и уравнение движения (4) преобразуется в

$$\sum_{i=1}^k m_i \ddot{y}_{i4} + a_k \{ - (y_{11} - y_{k-11})|_{t=t_{k4}} + \varphi_k [v_{k4} - y_{k-14} - (y_{13} - y_{k-13})|_{t=t_{k3}}] + 1 \overline{m_k a_k} \varphi_k (y_{k4} - y_{k-14}) \} = - \sum_{i=1}^k m_i \ddot{y}_0(t), \quad (6)$$

где  $t_{k4}$  — момент времени, при котором выполняется условие (5). Аналогично предыдущему, как только скорость относительной деформации в момент  $t = t_{k4}$  превратится в нуль, т. е.  $y_{k4} - y_{k-14} = 0$ , начинается второе нагружение  $t = 5$  и уравнения движения (6) примут вид

$$\sum_{i=1}^k m_i \ddot{y}_{i5} + a_k \{ y_{k5} - y_{k-15} - (y_{11} - y_{k-11})|_{t=t_{k4}} - (y_{11} - y_{k-11})|_{t=t_{k4}} + \varphi_k [(y_{k4} - y_{k-14})|_{t=t_{k4}} - (y_{13} - y_{k-13})|_{t=t_{k3}}] + 1 \overline{m_k a_k} \varphi_k (y_{k5} - v_{k-15}) \} = - \sum_{i=1}^k m_i \ddot{y}_0(t). \quad (7)$$

Как только  $y_{k5} = y_{k-15}$  согласно (7) в момент  $t = t_{k5}$  достигнет значения

$$y_{k5} - y_{k-15} = (y_{11} - y_{k-11})|_{t=t_{k4}} + 2(y_{11} - y_{k-11})|_{t=t_{k4}} - \varphi_k [(y_{11} - y_{k-11})|_{t=t_{k4}} - (y_{13} - y_{k-13})|_{t=t_{k3}}]. \quad (8)$$

уравнение (7) переходит в уравнение (3).

Так как закономерности деформирования после момента  $t = t_{k6}$  будут аналогичными закономерностям при  $t_{k4} < t \leq t_{k1}$ , то после момента  $t_{k5}$  уравнение (7) переходит в (3), а уравнение (3) в (4), уравнение (4) в (6), уравнение (6) в (7) и снова (7) в (3) и т. д. согласно вышеописанным условиям переходов. Этот процесс продолжается до полного прекращения внешнего воздействия  $y_0(t)$ . Если где-нибудь окажется, что после какого-то момента времени условие перехода не выполняется, то это означает, что на уровне данного этажа установились упругие колебания относительно нового начала координат, положением которого определится величина остаточной деформации.

Выше было выведено уравнение движения, в случае, когда на уровне какого-либо  $n = k + i$  этажа процесс деформирования происходит по диаграмме линейного упрочнения (при  $\varphi_k = 0$  получим уравнения для диаграммы Прандтля [2]). Ясно, что аналогичные процессы будут иметь место и на уровнях других этажей, поэтому все уравнения системы (1) примет вид (3), (4), (6), (7). Однако основная трудность задачи заключается в том, что все уравнения первоначальной системы (1) не одновременно принимают вид уравнений (3), (4), (6), (7). На любой момент времени движения системы описывается только  $n$  уравнением. Следовательно, в действительности получим систему дифференциальных уравнений, каждое уравнение которой в разное моменты времени будет иметь один из видов (3), (4), (6), (7). Другими словами в течение промежутка времени  $(0, \tau)$ , где  $\tau$  — момент времени, при котором

прекращается действие землетрясения, системы будут описываться большим числом систем дифференциальных уравнений, число которых сильно растет с увеличением числа этажей  $n$  и для одного цикла составляет  $4^n$ . Отсюда ясно, что решить задачу обычными методами, даже при таком удачном составлении дифференциальных уравнений, практически не возможно. Если задачу решать в явном виде, т. е. найдем решения  $u_k$  в виде явной функции от времени, то в интервале времени  $[0; \tau]$  придется определители  $n$  порядка раскрывать многократно, что в конечном итоге он приводит к очень трудоемкому процессу интегрирования многих систем дифференциальных уравнений второго порядка. Даже при наличии ЭВМ такой путь решения задачи практически не приемлем, так как он займет очень много машинного времени. Поэтому для решения задачи выбран путь непосредственного

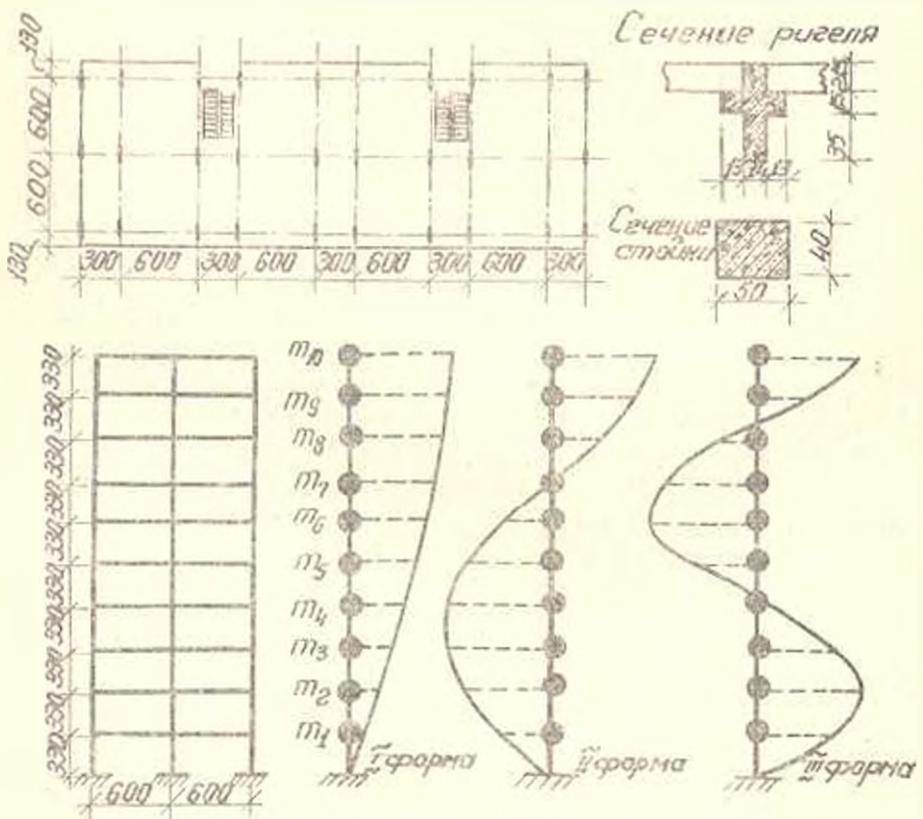


Рис. 2

интегрирования систем дифференциальных уравнений численным методом Рунге Кутты при помощи ЭВМ [2, 3].

В качестве примера рассмотрим упруго-пластический расчет десятиэтажного каркасного здания по улице Прошяна г. Еревана. Конструктивная, расчетная схемы здания вместе с первыми тремя формами колебаний приведены на рис. 2 [4]. Сосредоточенные массы имеют следующие значения:

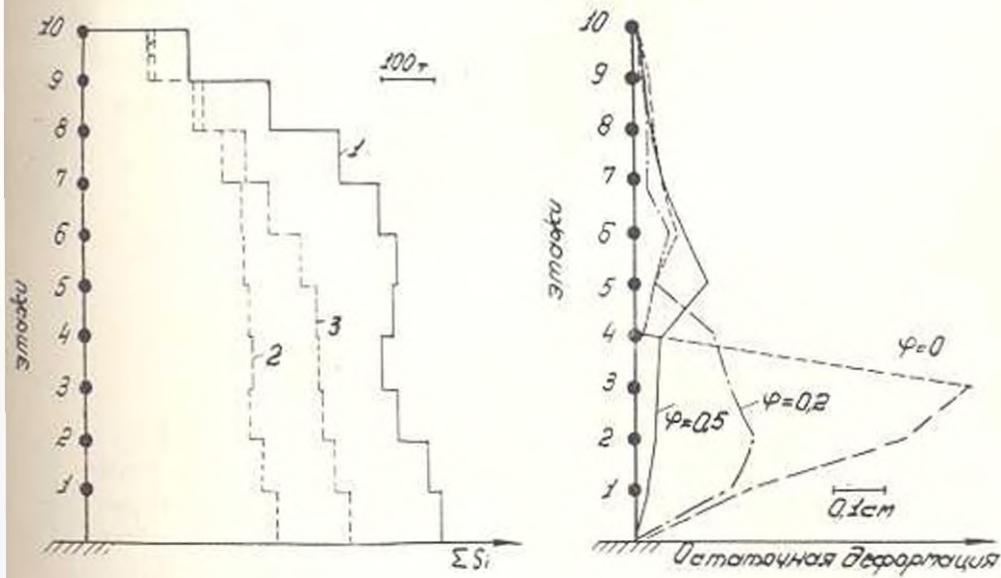
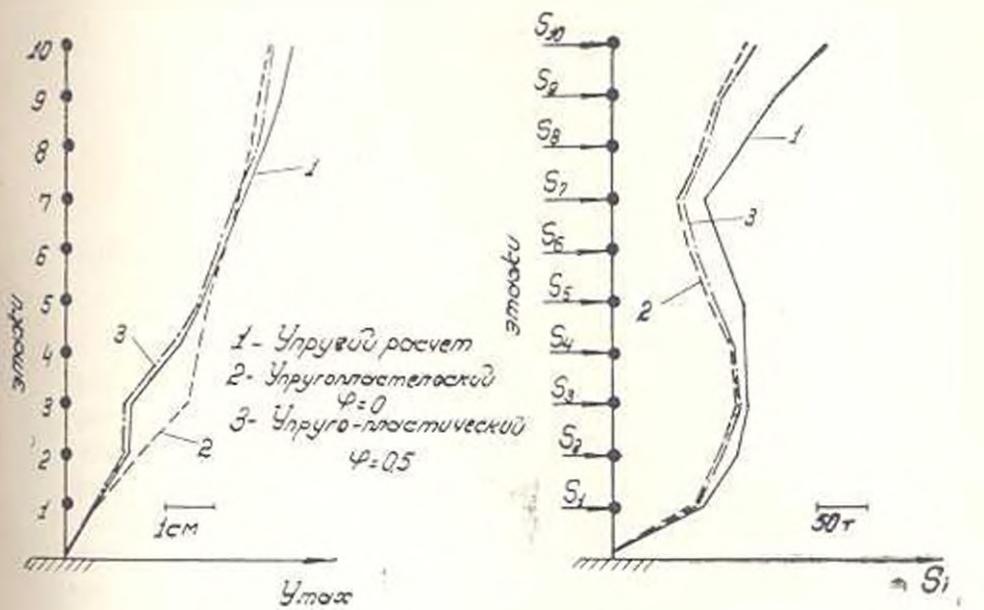


Рис. 3.

Таблица 1

Этажи	Максимальные перемещения $u_k$ см				Максимальные значения сейсмических сил $S_k$ т				Максимальные значения поперечных сил $\Sigma S_k$ т				Остаточные деформации см		
	упругий расчет	$\tau_k$			упругий расчет	$\tau_k$			упругий расчет	$\tau_k$			$\tau_k$		
		0	0,2	0,5		0	0,2	0,5		0	0,2	0,5	0	0,2	0,5
1	0,650	0,585	0,626	0,618	91	77	78	82	718	396	443	534	0,226	0,197	0,028
2	1,269	1,456	1,285	1,211	122	106	105	108	689	362	424	505	0,541	0,227	0,039
3	1,835	2,475	1,849	1,748	134	123	123	134	632	335	402	481	0,662	0,194	0,053
4	2,324	2,686	2,434	2,254	131	117	120	123	598	310	410	477	0,020	0,160	0,052
5	2,724	2,903	2,812	2,728	127	95	100	105	626	338	377	471	0,043	0,035	0,144
6	3,111	3,253	3,198	3,159	107	76	77	79	632	336	346	438	0,078	0,075	0,101
7	3,616	3,545	3,496	3,524	87	63	70	94	596	322	335	371	0,056	0,029	0,056
8	4,064	3,764	3,749	3,822	131	88	74	97	510	286	291	324	0,029	0,027	0,028
9	4,403	3,955	3,974	4,053	163	104	95	105	378	218	222	248	0,007	0,029	0,007
10	4,597	4,108	4,100	4,194	215	132	134	145	215	132	131	145	0,046	0,004	0,046

$$m_1 = 62,7 \frac{\text{кгсек}^2}{\text{см}}, m_2 = m_3 = \dots = m_{10} = 32 \frac{\text{кгсек}^2}{\text{см}}$$

Жесткости всех этажей одинаковы и равны

$$a_1 = a_2 = \dots = a_{10} = 110400 \frac{\text{кг}}{\text{см}}$$

Расчетные периоды первых трех форм колебаний имеют следующие значения [4]:

$$T_1 = 0,91 \text{ сек.}, T_2 = 0,307 \text{ сек.}, T_3 = 0,187 \text{ сек.}$$

Коэффициент внутреннего трения принят равным  $\beta_k = 0,16$ . Вычисления производились на электронной машине „Раздан-2“ по акселерограмме реального землетрясения от 9.III.1949 г. с максимальным ускорением  $0,12 g$  [5]. Полученные результаты при  $\gamma_k = 0,5$  приведены в табл. 1. Как видно из таблицы, значения перемещений при различных упругих и упруго-пластических расчетах мало отличаются друг от друга. Аналогичное явление имеет место и для сейсмических сил. Упруго-пластические свойства конструкции сильно влияют на значения поперечных сил. При этом наибольшее снижение значений поперечных сил имеет место при диаграмме Прандтля ( $\varphi_k = 0$ ). Иллюстрация полученных результатов приведена на рис. 3.

АИСМ

Поступило 31.V.1967

Է. Ն. ԿԱՉԵԱՆ

ԲԱԶՄԱՀԱՐԿ ԿՈՐԿԱՍԱՅԻՆ ՇԻՆՔԵՐԻ ՍԵՅՍՄԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՇՈՒՐՁԻ  
Ս.ՈՒԶԳԱՆ-ՊԼԱՍՏԻԿԱԿԱՆ ԳԵՖՈՐՄԱՅԻՆՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՌՄԱՐ

Ս. մ փ ո փ ո ս մ

Հողվածում ուսումնասիրվում են բազմահարկ շինքերի սեյսմակայունության հարցերը առաձգա-պլաստիկական ղեֆորմացիաների հաշվառմամբ: Հաշվարկման սխեման և վերականգնող ուժերի և ղեֆորմացիաների միջև եղած առնչությունը բերված են նկ. 1:

Շարժման դիֆերենցիալ համասարումները ընդհանուր դեպքում տրվում է (ա) տեսքով: Տարբեր առաձգա-պլաստիկ էտապներում շարժման դիֆերենցիալ համասարումները համապատասխանաբար տրվում են (1), (3), (4), (6), (7) տեսքերով: Ստացված անընդհատ փոփոխվող դիֆերենցիալ հավասարումների սխեման բերվում է մուսղև-Կուտարի եղանակով, էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենայի օգնությամբ: Ստացված տեսական արդյունքները կիրառված են Երևանում կառուցվող 10 հարկանի շինքի (նկ. 2) նկատմամբ, 1949 թվականի մարտի 9-ին տեղի ունեցած 8 բալանոց երկրաշարժի ակտիվությունի հիման վրա (5):

Ստացված թվական տվյալները բերվում են աղյուսակ 1-ում: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ շինքի առաձգա-պլաստիկական հատկու-

Քյունները շնչին ազդեցություն են ունենում ամենամեծ տեղափոխությունների վրա, բայց դժարորեն փոքրացնում են իներցիան և կարող սեփերի մեծությունները, որը բարեհար է ազդում շենքի սեյսմակայունության վրա:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Хачиян Э. Е. Упруго-пластический расчет систем со многими системами на сейсмостойкость. Научные сообщения АИСМ, вып. 7, 1966.
2. Хачиян Э. Е. Расчет сооружений на сейсмостойкость с учетом упруго-пластических деформаций. Известия АН Армянской ССР (серия т. II, т. XVII, № 4, 1964.
3. Хачиян Э. Е., Бенкян А. А. Об упруго-пластическом расчете систем со многими степенями свободы на сейсмостойкость при помощи ЭВМ. Бюллетень по инженерной сейсмологии, № 5, Душанбе, 1966.
4. Горюк Т. А., Хачиян Э. Е. К изучению сейсмостойкости железобетонных каркасных зданий повышенной этажности. Доклады Всесоюзного совещания по сейсмостойкому строительству в Алма-Ате. Ереван, 1967.
5. Хачиян Э. Е. Расчет сооружений на сейсмостойкость по акселерограмме сильных землетрясений. Известия АН Армянской ССР (серия т. II, т. XV, № 1, 1962.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

А. С. МКРТЧЯН

ДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

*Метод и блок-схема.* Множительно-делительные устройства являются довольно распространенными приборами (или узлами приборов) и находят широкое применение как в вычислительной технике, так и в измерительной аппаратуре, предназначенной для различных исследований.

Автором этой статьи была сделана попытка создать делительное устройство, которое бы обладало значительным быстродействием и сравнительно небольшой погрешностью в рабочем интервале напряжений входных сигналов. В результате экспериментальных исследований построен макет прибора, принцип работы которого можно уяснить из блок-схемы, приведенной на рис. 1. Входные сигналы дели-

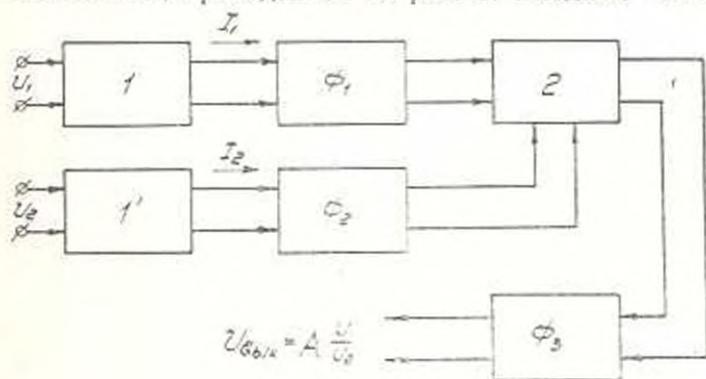


Рис. 1.

мого  $U_1$  и делителя  $U_2$  поступают на усилители  $I$  и  $I'$ , которые преобразуют эти сигналы в пропорциональный им по амплитуде ток ( $I_1$  и  $I_2$  соответственно). Эти токи, протекая через функциональные преобразователи  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , имеющие вольтамперную характеристику  $U_\Phi = k_\Phi \lg I$ , создают на последних падение напряжения, пропорциональное логарифму протекающего через них тока. В блоке 2 производится операция вычитания и, учитывая, что  $I_1 = k_1 U_1$  и  $I_2 = k_2 U_2$ , можно записать выражение для амплитуды напряжения импульса на выходных зажимах блока

$$U_{\text{вых.2}} = k_{\Phi} \cdot \lg(k_1 \cdot U_1) - k_{\Phi} \cdot \lg(k_2 \cdot U_2) = k_{\Phi} \cdot \lg \frac{k_1 \cdot I_1}{k_2 \cdot U_2} \quad (1)$$

Функциональный преобразователь  $\Phi_2$  имеет такую же вольт-амперную характеристику, как и блоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_3$  и производит операцию антилогарифмирования

$$U_{\text{вых}} = A \frac{U_1}{U_2}, \quad (2)$$

где

$$A = R_0 \frac{k_1}{k_2}.$$

Полная принципиальная схема макета делительного устройства приведена на рис. 2. Входные блоки I и I' схемы выполнены на лампах  $\lambda_1 - \lambda_2$  и  $\lambda_6 - \lambda_{15}$  соответственно. Лампы  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  работают в режиме обычных реостатных усилителей. С анода лампы  $\lambda_1$  импульс посту-

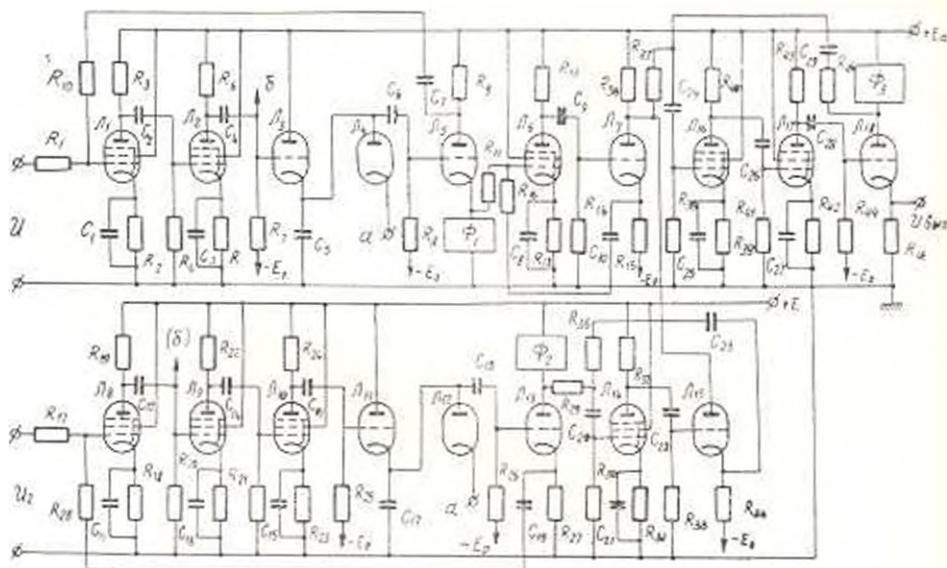


Рис. 2.

пает на сетку нормально запертой лампы  $\lambda_3$ . Одновременно на катод лампы  $\lambda_1$  поступает положительный прямоугольный импульс длительностью 20 мксек, передний фронт которого несколько опережает входной сигнал. В результате этого лампы  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  запираются и конденсатор  $C_1$  начинает заряжаться током лампы  $\lambda_1$ . Напряжение с этого конденсатора через переходную емкость  $C_2$  поступает на сетку запертой лампы  $\lambda_3$ . Образующийся при этом импульс анодного сопротивления этой лампы  $R_3$  используется для осуществления стопроцентной обратной связи. В результате этого при нарастании напряжения на входных зажимах схемы и достаточно большом коэффициенте усиления ламп  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  импульс тока через лампу  $\lambda_3$  можно считать равным отношению входного напряжения  $U_1$  к величине сопротивления  $R_3$ . При прохождении входного сигнала через максимум и его дальнейшем спаде потенциал сетки  $\lambda_3$  уменьшается и лампы за-

пирается. Это приводит к тому, что ток через лампу  $L_5$  остается равным своему максимальному значению до окончания управляющего импульса на зажиме  $a$  (рис. 3, в). Нагрузкой катодной цепи лампы  $L_5$  является функциональный преобразователь  $\Phi_1$ . Падение напряжения на его зажимах пропорционально логарифму протекающего через него тока лампы  $L_5$ , а путем отсечки анодного тока

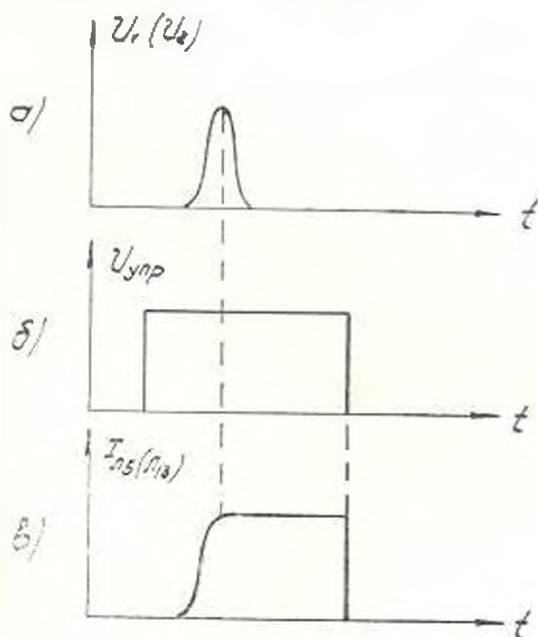


Рис. 3.

лампы  $L_5$  достигается зависимость  $I_5 = k \cdot U_1 - 1$ . Каскады на лампах  $L_5$  и  $L_7$  преобразуют сигнал с функционального преобразователя в пропорциональный ему ток лампы  $L_5$ .

Второй канал, содержащий лампы  $L_8 - L_{15}$ , аналогичен рассмотренному выше с той только разницей, что ток через последнюю лампу этого канала  $L_{15}$  имеет противоположное направление. Через сопротивление  $R_{30}$  протекает ток, равный алгебраической сумме токов ламп  $L_5$  и  $L_{15}$ , в результате чего на его зажимах возникает импульс, пропорциональный разности этих токов ( $I$ ). Лампы  $L_{16} - L_{18}$  выполняют операцию антилогарифмирования. Таким образом, с выхода прибора снимается прямоугольный импульс, амплитуда которого пропорциональна частному от деления входных сигналов (2).

*Оценка погрешностей.* Для определения погрешности преобразования исследуемого делительного устройства найдем зависимость выходного сигнала прибора от входных импульсов и параметров схемы. Для этого обратимся к функциональной схеме исследуемого прибора, представленной на рис. 1.

Считая, что  $R_{31} \gg R_{21}$ , можно записать:

$$U_{21} = -U_1 \cdot k_1 \cdot S_1 \cdot R_{21}; U_1 = \frac{U_2 \cdot R_{31} + U_{21} \cdot R_{11}}{R_{31} + R_{21}}$$

Из этих уравнений находим

$$U_{21} = -U_1 \frac{k_1 S_1 R_{21} R_{31}}{R_{11} + R_{31} + k_1 S_1 R_{11} R_{21}}; \quad (3)$$

$$I_{21} = U_1 \frac{k_1 \cdot S_1 \cdot R_{31}}{R_{11} + R_{31} + k_1 \cdot S_1 \cdot R_{11} \cdot R_{21}}. \quad (4)$$

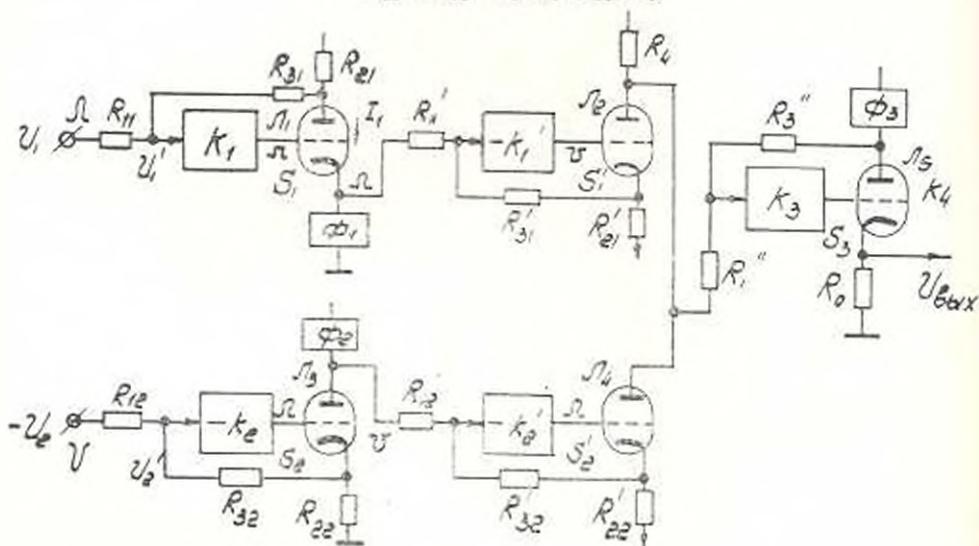


Рис. 4.

Как уже было отмечено выше, зависимость напряжения на зажимах функционального преобразователя от протекающего через него тока имеет вид

$$U_{\text{вых}} = k_{\text{ФП}} \cdot \lg I_{21} \cdot (I_{21} - I_{\text{ФП}}).$$

Подставляя значение  $I_{21}$  из (4) в последнее выражение, получим

$$U_{\text{вых}} = k_{\text{ФП}} \cdot \lg \left( U_1 \frac{k_1 \cdot S_1 \cdot R_{31}}{R_{11} + R_{31} + k_1 \cdot S_1 \cdot R_{11} \cdot R_{21}} \right). \quad (5)$$

Аналогично для второго канала

$$U_{\text{вых}} = -k_{\text{ФП}} \cdot \lg \left( U_e \frac{k_2 \cdot S_2 \cdot R_{32}}{R_{12} + R_{32} + k_2 \cdot S_2 \cdot R_{12} \cdot R_{22}} \right). \quad (6)$$

Далее имеем

$$I_{21} = -k_{\text{ФП}} \frac{k_1 \cdot S_1 \cdot R_{31}}{R_{11} + R_{31} + k_1 \cdot S_1 \cdot R_{11} \cdot R_{21}} \cdot \lg \left( U_1 \frac{k_1 \cdot S_1 \cdot R_{31}}{R_{11} + R_{31} + k_1 \cdot S_1 \cdot R_{11} \cdot R_{21}} \right). \quad (7)$$

$$I_{21} = b_{12} \frac{k_2 \cdot S_2 \cdot R_{32}}{R_{12} + R_{32} + k_2 \cdot S_2 \cdot R_{12} \cdot R_{22}} \cdot \lg \left( U_e \frac{k_2 \cdot S_2 \cdot R_{32}}{R_{12} + R_{32} + k_2 \cdot S_2 \cdot R_{12} \cdot R_{22}} \right). \quad (8)$$

Кроме того имеем:

$$U_{\text{вых}} = -R_4(I_{21} - I_{21}); \quad U_{\text{ФП}} = -U_1 \frac{k_2 \cdot k_3 \cdot R_3}{R_1^2 + R_3 + k_2 \cdot k_3 \cdot R_3}.$$

где  $k_4 = S_2 \cdot R_{02}$ .

Из вольтамперной характеристики  $\Phi_3$

$$I_{35} = A \operatorname{anti} \lg \left( \frac{1}{k_{\Phi 3}} \cdot U_{\Phi 3} \right).$$

Используя полученные выше соотношения, будем иметь

$$\begin{aligned} I_{35} = A \operatorname{anti} \lg & \left\{ \frac{k_{\Phi 2}}{k_{\Phi 3}} \cdot R_4 \cdot \frac{R_3^*}{R_1} \cdot \frac{R_{31}^*}{R_{11} \cdot R_{21}} \cdot \frac{k_2 \cdot k_4}{1 + \frac{R_3}{R_1} + k_3 \cdot k_4} \right. \\ & \left. \frac{\frac{k_1 \cdot S_1}{R_{21}} + \frac{R_{31}^*}{R_{11} \cdot R_{21}} + k_1 \cdot S_1} \times \lg \left( U_1 \frac{k_1 \cdot S_1 \cdot R_{31}}{R_{11} + R_{21} + k_1 \cdot S_1 \cdot R_{11} \cdot R_{21}} \right) \right. \\ & \left. \frac{\frac{k_{\Phi 2}}{k_{\Phi 3}} \cdot R_4 \cdot \frac{R_3^*}{R_1} \cdot \frac{R_{32}^*}{R_{12} \cdot R_{22}} \cdot \frac{k_2 \cdot k_4}{1 + \frac{R_3}{R_1} + k_3 \cdot k_4} \times \frac{k_2 \cdot S_2}{\frac{1}{R_{22}} + \frac{R_{32}^*}{R_{12} \cdot R_{22}} + k_2 \cdot S_2}} \right. \\ & \left. \lg \left( U_2 \frac{k_2 \cdot S_2 \cdot R_{32}}{R_{12} + R_{22} + k_2 \cdot S_2 \cdot R_{12} \cdot R_{22}} \right) \right\}. \quad (9) \end{aligned}$$

Из выражения (9) видно, что для получения пропорциональной зависимости между током  $I_{35}$  и отношением  $U_1/U_2$  необходимо выбирать параметры схемы, исходя из условия

$$\frac{k_{\Phi 2}}{k_{\Phi 3}} \cdot \frac{R_4 \cdot R_3^* \cdot R_{31}^*}{R_1 \cdot R_{11} \cdot R_{21}} (1 - \Delta_3) (1 - \Delta_1) = \frac{k_{\Phi 2}}{k_{\Phi 3}} \cdot \frac{R_4 \cdot R_3^* \cdot R_{32}^*}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_{22}} \cdot (1 - \Delta_3) (1 - \Delta_2) = 1, \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \frac{\frac{1}{R_{21}} + \frac{R_{31}^*}{R_{11} \cdot R_{21}}}{\frac{1}{R_{21}} + \frac{R_{31}^*}{R_{11} \cdot R_{21}} + k_1 \cdot S_1}; \quad \Delta_2 = \frac{\frac{1}{R_{22}} + \frac{R_{32}^*}{R_{12} \cdot R_{22}}}{\frac{1}{R_{22}} + \frac{R_{32}^*}{R_{12} \cdot R_{22}} + k_2 \cdot S_2}; \\ \Delta_3 &= \frac{1 + \frac{R_3}{R_1}}{1 + \frac{R_3}{R_1} + k_3 \cdot k_4} \end{aligned}$$

Если принять  $R_{11} = R_{31}$ ;  $R_{11} = R_{32}$ ;  $R_{12} = R_{32}$ ;  $R_{12} = R_{32}$  и  $R_1 = R_3$ , то последнее равенство можно переписать в виде

$$\frac{k_{\Phi 2}}{k_{\Phi 3}} \cdot \frac{R_3}{R_{21}} \cdot (1 - \Delta_3) (1 - \Delta_1) = \frac{k_{\Phi 2}}{k_{\Phi 3}} \cdot \frac{R_4}{R_{22}} \cdot (1 - \Delta_3) (1 - \Delta_2) = 1.$$

Откуда

$$k_{\Phi 1} \approx k_{\Phi 2} \approx k_{\Phi 3} \frac{R_{11}}{R_4}, \quad (11)$$

так как  $\Delta_1 \ll 1$ ;  $\Delta_2 \ll 1$  и  $\Delta_3 \ll 1$ .

С учетом перечисленных условий выражение для тока  $I_{23}$  примет вид

$$I_{23} = A \frac{1 - \frac{2}{2 + k_1 S_1 R_{21}}}{1 - \frac{2}{2 + k_2 S_2 R_{22}}} \cdot \frac{U_1}{U_2} = A \cdot \frac{1 - \Delta_1}{1 - \Delta_2} \cdot \frac{U_1}{U_2}. \quad (12)$$

Ошибка преобразования  $\Delta I_{23}/I_{23}$  после соответствующих выкладок и устранения членов второго порядка малости будет

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I_{23}}{I_{23}} = & \frac{2}{k_1 \cdot S_1 \cdot R_{21}} \cdot \left( \frac{\Delta k_1}{k_1} + \frac{\Delta S_1}{S_1} \right) - \frac{2}{k_2 \cdot S_2 \cdot R_{22}} \cdot \left( \frac{\Delta k_2}{k_2} + \frac{\Delta S_2}{S_2} \right) + \\ & + \ln \left( \frac{U_1}{R_{21}} \right) \left[ \frac{2}{k_1' S_1' R_{21}'} \cdot \left( \frac{\Delta k_1'}{k_1'} + \frac{\Delta S_1'}{S_1'} \right) + \frac{2}{k_3 k_4} \cdot \left( \frac{\Delta k_3}{k_3} + \frac{\Delta k_4}{k_4} \right) + \right. \\ & + \left. \frac{\Delta k_{\Phi 1}}{k_{\Phi 1}} - \frac{\Delta k_{\Phi 3}}{k_{\Phi 3}} \right] - \ln \left( \frac{U_2}{R_{22}} \right) \left[ \frac{2}{k_2' S_2' R_{22}'} \cdot \left( \frac{\Delta k_2'}{k_2'} + \frac{\Delta S_2'}{S_2'} \right) + \right. \\ & + \left. \frac{2}{k_3 k_4} \cdot \left( \frac{\Delta k_3}{k_3} + \frac{\Delta k_4}{k_4} \right) + \frac{\Delta k_{\Phi 2}}{k_{\Phi 2}} - \frac{\Delta k_{\Phi 3}}{k_{\Phi 3}} \right]. \quad (13) \end{aligned}$$

Из рассмотрения этого выражения можно сделать заключение, что соответствующим выбором параметров схемы делительного устройства однозначно определяется погрешность выходного тока этого прибора  $\Delta I_{23}/I_{23}$  от изменения указанных параметров ( $k_1, k_1', k_2, k_2', k_3, k_4, S_1, S_1', S_2, S_2'$ ). Можно выбрать значения элементов исследуемой схемы так, чтобы погрешность результирующего сигнала на выходных зажимах прибора от изменения приведенных выше величин была бы меньше той погрешности, которая обусловлена ошибкой логарифмических преобразователей  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$ .

Для реализации операции логарифмирования и антилогарифмирования в исследуемой схеме применены относительные функциональные преобразователи, состоящие из определенного количества диодных ячеек. Схема такого устройства, реализующая вольт-амперную характеристику  $U_{\Phi} = k_{\Phi} \cdot \lg(I_{\Phi} + 1)$ , приведена на рис. 5. Макеты преобразователей, собранных по этой схеме, были налажены и исследованы на экспериментальной установке блок-схема, которая приведена на рис. 6.

Прежде чем перейти к рассмотрению работы этой установки, отметим следующее: поскольку схемы преобразователей, выполняющих операцию логарифмирования, собраны на полупроводниковых приборах (диодах Д2В), в рабочих условиях необходимо предусмотреть температурную стабилизацию этого узла для обеспечения постоянства характеристик, входящих в схему полупроводниковых приборов. Кроме того, в целях создания облегченного режима работы указанных полупроводниковых элементов логарифмические преобразователи подключаются к схеме делительного устройства таким образом, что-

бы постоянная составляющая тока через преобразователи была бы равна нулю (функциональные преобразователи в схеме работают в импульсном режиме). Ввиду этого для создания условий, близких к рабочим, при исследовании логарифмических преобразователей на экспериментальной установке (рис. 6), эти преобразователи помещались

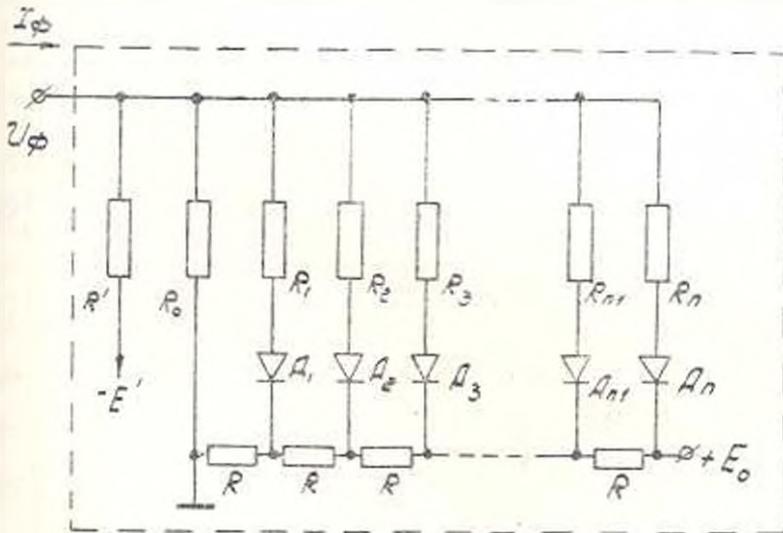


Рис. 6.

в термостат, в котором поддерживалась постоянная температура  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , а их испытания производились в импульсном режиме (длительность импульсов входного генератора 3–5 мксек, частота следования — 1 кГц).

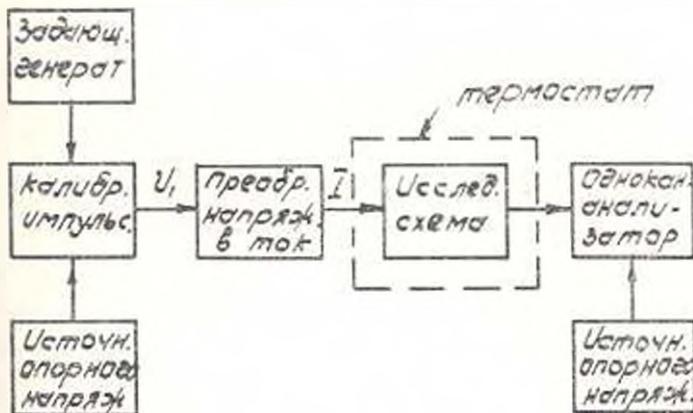


Рис. 6.

Задающим генератором экспериментальной установки 1 служит генератор импульсов типа 26—N. Амплитуда выходных импульсов этого генератора в блоке 2 подвергается калибровке. Точность калибровки  $\pm 0,1\%$ . Отметим, что калибровка амплитуды импульсов производилась методом сравнения последних с величиной опорного

потенциала. Далее в блоке 3 напряжение сигнала с выходных зажимов калибратора преобразуется в пропорциональный ему ток. Коэффициент пропорциональности вольтамперного преобразователя принят равным единице ( $I_3$  (ма) =  $U_{\text{вх}}$  (в)). Пропуская ток  $I_3$  через исследуемую схему функционального преобразователя 4, измеряли падение напряжения на нем при помощи однокаскадного анализатора на туннельных диодах. Для повышения точности измерений амплитуду импульсов с выхода исследуемой схемы ограничивали снизу на определенном уровне источником опорного напряжения  $\delta$ , в результате чего на вход анализатора подавали сигналы с амплитудой  $U_{\phi} - U_{\text{оп}}$ .

Анализатор, так же как и исследуемая схема, помещается в термостат с температурой  $20 \pm 1$  °С. Возможность применения туннельных диодов в амплитудных анализаторах и точность измерений, которые при этом достигаются, описаны в [1].

По полученным экспериментальным данным построена зависимость  $\Delta U_{\text{ф макс}} = f(n)$  (рис. 7, а). Все приведенные графики построены для схем логарифмических преобразователей со значением  $k_{\phi} = 20$ .

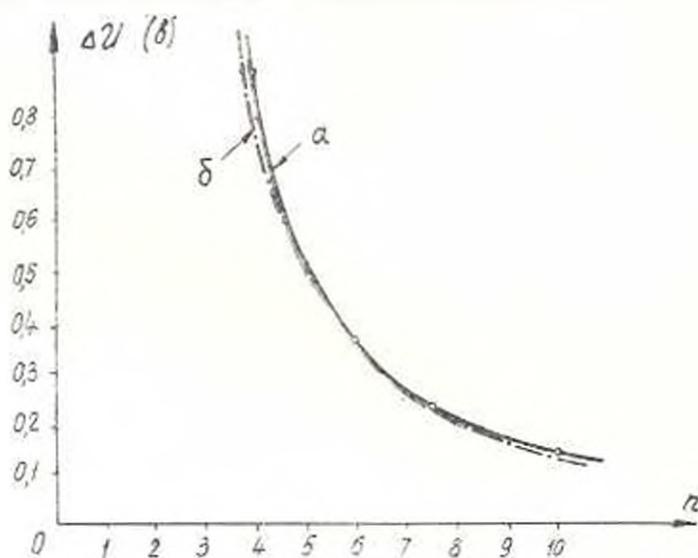


Рис. 7.

Очевидно, что с изменением величины  $k_{\phi}$  пропорционально ему будет изменяться и погрешность преобразования  $\Delta U_{\phi}$ . Кривую, изображенную на рис. 7, а, можно представить аналитически в виде

$$\Delta U_{\text{ф макс}} = 13 \left( \frac{1}{n} \right)^2 \quad \text{при } k_{\phi} = 20$$

(кривая б) на рис. 7 или поскольку  $\Delta U_{\text{ф макс}} = \Delta k_{\phi \text{ макс}} \cdot \lg I_{\phi}$ , а для нашей установки  $I_{\phi}$  (ма) =  $U_{\text{вх}}$  (в), то можно записать

$$\left( \frac{\Delta k_{\phi}}{k_{\phi}} \right)_{\text{ макс}} = 0,65 \left( \frac{1}{n} \right)^2 \cdot \frac{1}{\lg U_{\text{вх}}}. \quad (14)$$

Зависимость  $\left(\frac{\Delta k_{\phi}}{k_{\phi}}\right)_{\text{макс}}$  от  $U_{\phi}$  для разных значений  $n$  представлена графически на рис. 8. Далее, располагая значением  $\Delta U_{\phi \text{ макс}}$ , зависимость погрешности выходного напряжения логарифмического преобразователя  $\Delta U_{\phi}$  от величины этого напряжения  $U_{\phi}$  аналитически можно записать как

$$\Delta U_{\phi} = \Delta U_{\phi \text{ макс}} \cdot \left| \sin \frac{\pi \cdot n \cdot U_{\phi}}{U_{\phi \text{ макс}}} \right| \quad (15)$$

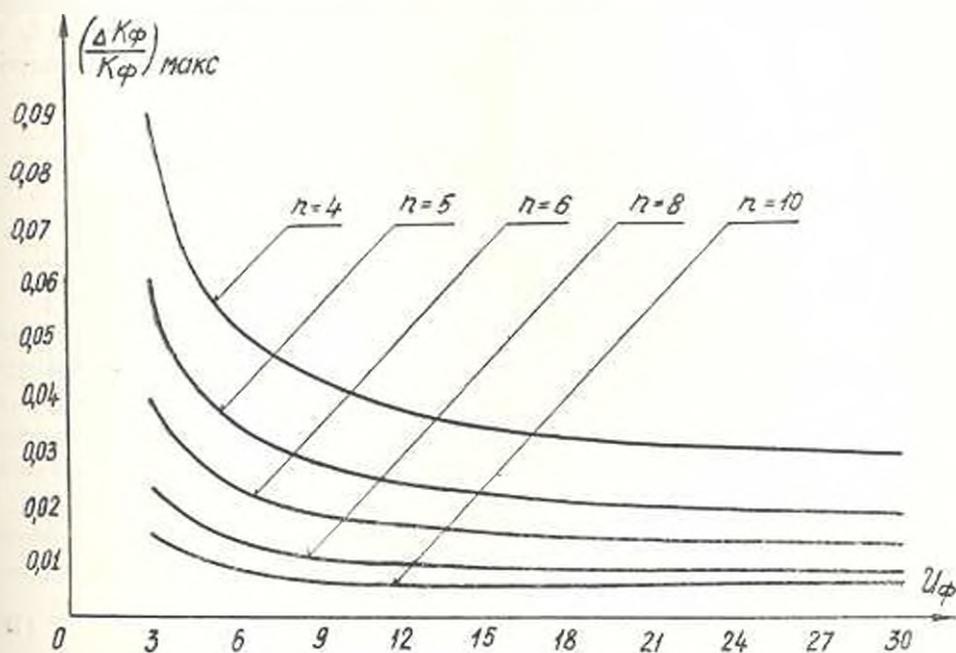


Рис. 8.

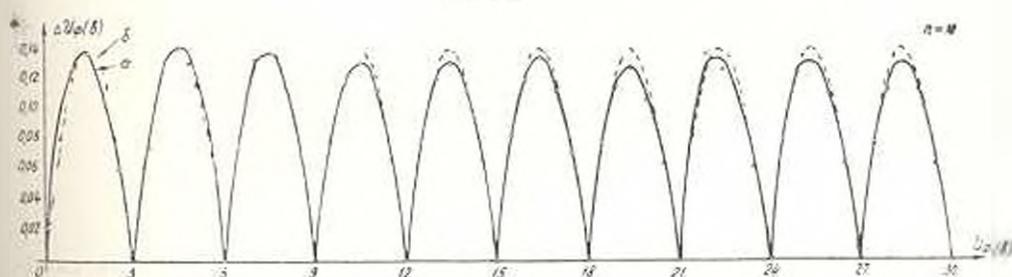


Рис. 9.

На рис. 9 для сравнения приведены две кривые:  $a$  — экспериментальная и  $b$  — построенная по формуле (15) при  $k_{\phi} = 20$ ,  $n = 10$ .

Используя выражения (14), (15) и учитывая, что

$$U_{\phi} = k_{\phi} \cdot \lg I_{\phi} \quad \text{и} \quad \Delta U_{\phi} = \Delta k_{\phi} \cdot \lg I_{\phi},$$

получим

$$\frac{\Delta k_{\phi}}{k_{\phi}} = 0,6\delta \cdot \left(\frac{1}{n}\right)^2 \frac{1}{\lg I_{\phi}} \cdot \left| \sin \frac{\pi \cdot n \cdot \lg I_{\phi}}{\lg I_{\phi \text{ макс}}} \right| \quad (16)$$

или

$$\frac{\Delta k_{\Phi}}{k_{\Phi}} = 1,5 \cdot \left(\frac{1}{n}\right)^2 \cdot \frac{1}{\ln I_{\Phi}} \cdot \left| \sin \frac{\pi \cdot n \cdot \ln I_{\Phi}}{\ln I_{\Phi \max}} \right|, \quad (17)$$

Подставим полученные значения  $\frac{\Delta k_{\Phi}}{k_{\Phi}}$  из уравнения (16) или (17) в выражение (13), определяющее относительную погрешность исследуемого устройства. При этом будем считать, что функциональные преобразователи  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  и  $\Phi_3$ , используемые в схеме, идентичны, т. е.  $n_1 = n_2 = n_3 = n_{\Phi}$ ,  $I_{\Phi_1 \max} = I_{\Phi_2 \max} = I_{\Phi_3 \max} = I_{\Phi \max}$ . Кроме того, примем  $\lg I_{\Phi_1} = \lg I_{\Phi_2} = \lg I_{\Phi_3}$  (это условие достигается соответствующим выбором одного из параметров схемы).

В этом случае будем иметь

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I_{15}}{I_{15}} = & \left| \frac{2}{k_1 \cdot S_1 \cdot R_{21}} \cdot \left( \frac{\Delta k_1}{k_1} + \frac{\Delta S_1}{S_1} \right) - \frac{2}{k_2 \cdot S_2 \cdot R_{22}} \cdot \left( \frac{\Delta k_2}{k_2} + \frac{\Delta S_2}{S_2} \right) - \right. \\ & \left. + \ln \left( \frac{U_1}{R_{11}} \right) \cdot \left| \frac{2}{k_1 \cdot S_1 \cdot R_{21}} \cdot \left( \frac{\Delta k_1}{k_1} + \frac{\Delta S_1}{S_1} \right) - \frac{2}{k_3 \cdot k_4} \cdot \left( \frac{\Delta k_3}{k_3} + \frac{\Delta k_4}{k_4} \right) \right| - \right. \\ & \left. - \ln \left( \frac{U_2}{R_{22}} \right) \cdot \left| \frac{2}{k_1 \cdot S_2 \cdot R_{22}} \cdot \left( \frac{\Delta k_2}{k_2} + \frac{\Delta S_2}{S_2} \right) + \frac{2}{k_3 \cdot k_4} \cdot \left( \frac{\Delta k_3}{k_3} + \frac{\Delta k_4}{k_4} \right) \right| \right| + \\ & + 1,5 \left( \frac{1}{n_{\Phi}} \right)^2 \cdot \left[ \left| \sin \frac{\pi \cdot n_{\Phi} \cdot \ln \left( \frac{U_1}{R_{11}} \right)}{\ln I_{\Phi \max}} \right| - \left| \sin \frac{\pi \cdot n_{\Phi} \cdot \ln \left( \frac{U_2}{R_{22}} \right)}{\ln I_{\Phi \max}} \right| - \right. \\ & \left. - \left| \sin \frac{\pi \cdot n_{\Phi} \cdot \ln \left( \frac{U_1}{U_2} \cdot \frac{R_{22}}{R_{21}} \right)}{\ln I_{\Phi \max}} \right| \right]. \quad (18) \end{aligned}$$

Перепишем (18) в следующем виде

$$F = A + B \{ |\sin ax| - |\sin ay| - |\sin a(x - y)| \}, \quad (19)$$

Здесь  $F = \frac{\Delta I_{15}}{I_{15}}$ ;  $a = \frac{\pi \cdot n_{\Phi}}{\ln I_{\Phi \max}}$ ;  $B = 1,5 \left( \frac{1}{n_{\Phi}} \right)^2$ ;

$$x = \ln \left( \frac{U_1}{R_{21}} \right); \quad y = \ln \left( \frac{U_2}{R_{22}} \right).$$

Через  $A$  обозначено выражение, заключенное в фигурные скобки в соотношении (18).

Если считать, что величина  $A$  в выражении (19) не зависит от напряжений  $U_1$  и  $U_2$ , то для экстремальных значений функции  $F$  при изменении аргументов  $U_1$  и  $U_2$  получим

$$F_{\min} = A - 2B \quad \text{и} \quad F_{\max} = A + B \quad (20)$$

или  $\Delta F = F_{\max} - F_{\min} = 3B$ .

Переходя к первоначальным обозначениям, окончательно будем иметь:

$$\left(\frac{\Delta I_{\text{дв}}}{I_{\text{дв}}}\right)_{\text{ср}} = \pm 2,25 \left(\frac{1}{n_0}\right)^2 \quad (21)$$

Экспериментальное исследование схемы делительного устройства показало, что погрешность операции деления при помощи указанной схемы при использовании функциональных преобразователей с параметрами  $n_0 = 10$  и  $k_0 = 20$  не превышает величины  $\pm 3 \cdot 5\%$ .

Ереванский политехнический институт им. К. Маркса

Получено 15.IX.1965

Ա. Ա. ՄԿՐՏՅԱՆ

ԲԱՅԱՆԱՐԱՐ ԽՐԲ

Ս. Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Նկարագրված է էլեկտրոնային սարք, որի կառուցման ձևափոխող իմպուլսի ամպլիտուդը համեմատական է մուտք գործող երկու իմպուլսային ազդանշանների ամպլիտուդների քանակին: Օգտագործված է մուտք գործող իմպուլսների ամպլիտուդների հաջորդականորեն յուրաքանչյուր, համանուն և անտիփազային սկզբունքը: Այդ գործառնությունները կատարվում են դիոդային ֆունկցիոնալ կերպափոխիչների օգնությամբ:

Կատարված է տարրեր ֆակտորներից կախված բաժանման սխալի վերլուծություն: Մատցված արդյունքների հիման վրա կարելի է բնութագրել մշակված սարքի պարամետրները՝ կենդանի ֆունկցիոնալ սխալի մեծությունից:

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мкртчян А. С. Исследование стабильности работы туннельных диодов в импульсных схемах. Известия Вузов, раздел „Приборостроение“, 1, 1964.

ГИДРОТЕХНИКА

С. Г. АКОПЯН

ОБ УЧЕТЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА  
 НА ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС ГЭС ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

При рассмотрении длительных переходных процессов энергосистем возникает необходимость учета влияния гидравлического удара напорного трубопровода на систему регулирования и динамическую устойчивость энергосистем. Гидравлический удар в напорном трубопроводе высоконапорных ГЭС является сложным процессом, так как он связан с многими факторами, некоторые из которых не имеют математического описания. «Цепные уравнения» классической теории гидравлического удара воспроизводят действительную картину явления, но не позволяют находить непрерывного во времени решения. Однако при исследовании поведения высоконапорных гидрогенераторов, работающих в сложной энергосистеме в нестационарных режимах, необходимо иметь аналитическое выражение гидравлического удара в функции времени, достаточно точно описывающее явление и поддающееся математической обработке и его моделированию на математических машинах. В статье предлагается приближенное дифференциальное уравнение, достаточно точно описывающее неустановившийся процесс в конце высоконапорного трубопровода ГЭС, и дается способ определения начальных условий этого уравнения.

В ряде работ (например, в [1]) при моделировании гидравлического удара чаще всего применяют разложение передаточной функции следующего вида

$$W(P) = \frac{H(P_1L)}{Q(P_2L)} = -\tau \operatorname{th} \frac{P\Phi}{2} = -T_1 P \frac{1 - \frac{\Phi^2}{24} P^2 - \frac{\Phi^4}{1920} P^4 \dots}{1 + \frac{\Phi^2}{8} P^2 + \frac{\Phi^4}{384} P^4 \dots} \quad (1)$$

и, ограничиваясь тем или иным количеством членов разложения, приближенно моделируют трубопровод.

В этой статье передаточная функция гидравлического удара (1) разлагается на простейшие дроби следующего вида:

$$W(P) = -\frac{8T_1}{\Phi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{P}{P^2 + \left(\frac{2n-1}{\Phi}\right)^2} \quad (2)$$

Такая форма записи передаточной функции имеет ряд преимуществ по сравнению с разложением (1) [2]. Выделяя первые два члена разложения (2), которые являются наиболее существенными, получим:

$$\frac{H}{Q} = -\frac{8T_r}{\Phi^2} \left[ \frac{P}{\rho^2 + \left(\frac{\pi}{\Phi}\right)^2} + \frac{P}{\rho^2 + \left(\frac{3\pi}{\Phi}\right)^2} \right] \quad (3)$$

Из (3) выведем упрощенное уравнение гидравлического удара, представленное в виде обыкновенного дифференциального уравнения.

Применяя к уравнению (3) теорему свертывания, получим:

$$h(t) = \frac{8T_r}{\Phi^2} \left[ \int_0^t q(\tau) \cos \frac{\pi}{\Phi} (t-\tau) d\tau + \int_0^t q(\tau) \cos \frac{3\pi}{\Phi} (t-\tau) d\tau \right] \quad (4)$$

Дифференцируя (4) дважды по времени, получим:

$$\begin{aligned} \frac{d^2h}{dt^2} = & -\frac{16T_r}{\Phi^2} \frac{dq}{dt} + \frac{8\pi^2 T_r}{\Phi^4} \int_0^t q(\tau) \cos \frac{\pi}{\Phi} (t-\tau) d\tau + \\ & -\frac{72\pi^2 T_r}{\Phi^4} \int_0^t q(\tau) \cos \frac{3\pi}{\Phi} (t-\tau) d\tau. \end{aligned} \quad (5)$$

Продифференцируем (5) по времени, получим:

$$\begin{aligned} \frac{d^3h}{dt^3} = & -\frac{16T_r}{\Phi^2} \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{80\pi^2 T_r}{\Phi^2} q - \frac{8\pi^2 T_r}{\Phi^2} \int_0^t q(\tau) \sin \frac{\pi}{\Phi} (t-\tau) d\tau - \\ & -\frac{216}{\Phi^2} \int_0^t q(\tau) \sin \frac{3\pi}{\Phi} (t-\tau) d\tau. \end{aligned} \quad (6)$$

Умножая (4) на  $\frac{\pi^2}{\Phi}$  и далее на  $\frac{9\pi^2}{\Phi^2}$ , затем решая совместно с (5), получим:

$$\begin{aligned} \frac{d^2h}{dt^2} + \frac{\pi^2}{\Phi^2} h = & -\frac{16T_r}{\Phi^2} \frac{dq}{dt} - \frac{64T_r \pi^2}{\Phi^4} \int_0^t q(\tau) \cos \frac{3\pi}{\Phi} (t-\tau) d\tau, \\ \frac{d^3h}{dt^3} + \frac{9\pi^2}{\Phi} h = & -\frac{16T_r}{\Phi^2} \frac{dq}{dt} - \frac{64\pi^2 T_r}{\Phi^4} \int_0^t q(\tau) \cos \frac{\pi}{\Phi} (t-\tau) d\tau. \end{aligned} \quad (7)$$

Дифференцируя дважды уравнения (7) и решая совместно с (1), окончательно получим:

$$\Phi^4 \frac{d^4h}{dt^4} + 10\pi^2 \Phi^2 \frac{2d^2h}{dt^2} + 9\pi^2 h + 16T_r \Phi^2 \frac{2d^2q}{dt^2} + 80\pi^2 T_r \frac{dq}{dt} = 0. \quad (8)$$

Заметим, что уравнение (8) можно получить из передаточной функции (3) путем непосредственной замены  $P$  на  $\frac{d}{dt}$ . Однако вывод этого уравнения приведен подробно с целью дальнейшего использования промежуточных результатов при нахождении начальных условий. Начальные условия для выведенного дифференциального уравнения находим, исходя из следующего.

В нестационарных режимах в напорном трубопроводе, если не ожидается значительного отклонения скорости агрегата, а следовательно расхода и напора, можно воспользоваться следующей формулой относительного изменения расхода [3, 4]

$$1 + q = r \left( 1 + \frac{1}{2} h \right),$$

где  $r$  — относительное изменение закрытия направляющего аппарата.

В случае линейного закона изменения закрытия направляющего аппарата

$$r = 1 - \frac{t}{T_s}, \quad (9)$$

где  $T_s$  — время полного закрытия направляющего аппарата.

Тогда формула относительного изменения расхода будет

$$1 + q = \left( 1 - \frac{t}{T_s} \right) \left( 1 + \frac{1}{2} h \right).$$

Из этого уравнения находим:

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{1}{T_s} \left( 1 + \frac{1}{2} h \right) + \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{t}{T_s} \right) \frac{dh}{dt}, \quad (10)$$

$$\frac{d^2q}{dt^2} = -\frac{1}{T_s} \frac{dh}{dt} + \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{t}{T_s} \right) \frac{d^2h}{dt^2}, \quad (11)$$

$$\frac{d^3q}{dt^3} = -\frac{3}{2T_s} \frac{d^2h}{dt^2} + \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{t}{T_s} \right) \frac{d^3h}{dt^3}, \quad (12)$$

при  $t = 0$ ,  $h_0(t) = 0$  и  $q_0(t) = 0$ .

Однако, при  $t = 0$  из (4) при однократном дифференцировании по  $t$  получим:

$$\left( \frac{dh}{dt} \right)_{t=0} = 0. \quad (13)$$

Подставляя это значение в выражение (10), получим:

$$\left( \frac{dq}{dt} \right)_{t=0} = -\frac{1}{T_s}.$$

Из (5) при  $t = 0$  имеем:

$$\left( \frac{d^2q}{dt^2} \right)_{t=0} = -\frac{16}{\omega^2} T_s \left( \frac{dq}{dt} \right)_{t=0} = \frac{16T_s}{\omega^2 T_s}.$$

Подставляя это значение в (11) и учитывая (13), получим

$$\left(\frac{d^2q}{dt^2}\right)_{t=0} = \frac{1}{2} \left(\frac{d^2h}{dt^2}\right)_{t=0} = \frac{8T_1}{\Phi^2 T_2}$$

а из (6) при  $t=0$  получим

$$\left(\frac{d^3h}{dt^3}\right)_{t=0} = -\frac{16 T_1}{\Phi^2} \left(\frac{d^3q}{dt^3}\right)_{t=0} = -\frac{128 T_1}{\Phi^2 T_2}$$

Из (11) при  $t=0$  имеем

$$\left(\frac{d^3q}{dt^3}\right)_{t=0} = -\frac{3}{2T_1} \left(\frac{d^2h}{dt^2}\right)_{t=0} - \frac{1}{2} \left(\frac{d^3h}{dt^3}\right)_{t=0} = -\frac{8T_1}{\Phi^2 T_2} \left(\frac{3}{T_1} + \frac{8T_1}{\Phi^2}\right)$$

Дифференциальное уравнение можно включить в состав исходных уравнений энергосистемы для их совместного решения на вычислительных машинах.

При моделировании уравнения гидравлического удара в некоторых случаях целесообразно пользоваться разложением обратной передаточной функцией

$$O(p) = \frac{Q(p, L)}{H(p, L)} = -\frac{1}{T_1} \left[ \frac{1}{p} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2p}{p^2 + \left(\frac{2n\pi}{\Phi}\right)^2} \right] \quad (14)$$

С учетом первого члена суммы в уравнении (14) получим:

$$\frac{Q}{H} = -\frac{1}{T_1} \left[ \frac{1}{p} + \frac{2p}{p^2 + \left(\frac{2\pi}{\Phi}\right)^2} \right] \quad (15)$$

Применяя теорему свертывания к уравнению (15), получим:

$$q(t) = -\frac{1}{T_1} \int_0^t h(\tau) d\tau - \frac{2}{T_1} \int_0^t h(\tau) \cos \frac{2\pi}{\Phi} (t-\tau) d\tau \quad (16)$$

Дифференцируя (16) дважды по времени, получим

$$\frac{d^2q}{dt^2} = -\frac{3}{T_1} \frac{dh}{dt} + \frac{8\pi^2}{\Phi^2 T_1} \int_0^t h(\tau) \cos \frac{2\pi}{\Phi} (t-\tau) d\tau \quad (17)$$

Решая совместно уравнения (16) и (17), находим:

$$T_1 \frac{d^2q}{dt^2} = -3 \frac{dh}{dt} - \frac{4\pi^2 T_1 q}{\Phi^2} - \frac{4\pi^2}{\Phi^2} \int_0^t h(\tau) d\tau \quad (18)$$

Дифференцируя (18) по времени, окончательно получим

$$\Phi^2 T_1 \frac{d^3q}{dt^3} + 3\Phi^2 \frac{d^2h}{dt^2} + 4\pi^2 \frac{dq}{dt} T_1 + 4\pi^2 h = 0 \quad (19)$$

Это уравнение аналогично уравнению (15), но записано в дифференциальной форме.

Начальные условия полученного дифференциального уравнения в случае линейного закона изменения направляющего аппарата находим из условия, аналогичного предыдущему.

На физической модели Института водных проблем АН АрмССР был проведен опыт и получена осциллограмма  $h(t)$  в конце трубопровода при линейном законе закрытия направляющего аппарата. Результат опыта в виде кривой 1 приведен на рис. 1. Тот же самый режим с учетом параметров физической модели был воспроизведен на ММНД путем математического моделирования полученного дифференциального уравнения гидравлического удара (19) с учетом линеаризованного уравнения расхода

$$q = \frac{1}{2} h + p \quad (20)$$

и уравнения относительного изменения направляющего аппарата (9). Результат решения этих уравнений приведен на рис. 1 (кривая 2).

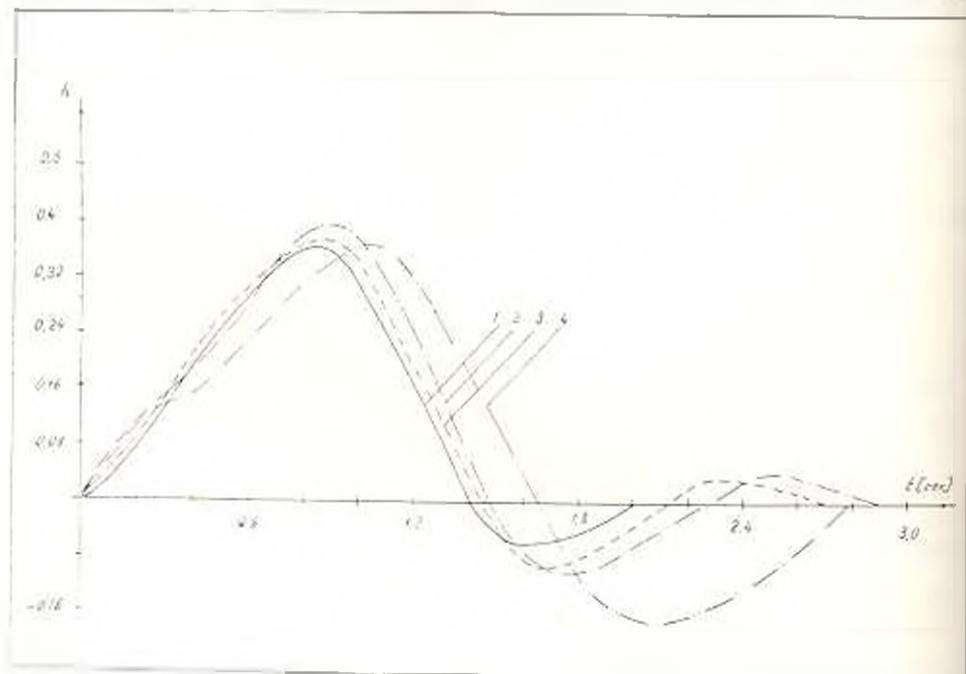


Рис. 1.

На рис. 1 приведен также результат решения уравнения гидравлического удара (8) с учетом уравнений (9) и (20) (кривая 3). На этом же рисунке приведена кривая 4, построенная в результате решения уравнения гидравлического удара, приведенная в [4], совместно с уравнениями (10) и (20). Из рассмотренных кривых (рис. 1) видно, что при моделировании уравнений (19) (кривая 2) решение получается более близким к опытной кривой, чем при моделировании уравнения, приведенного в [4] (кривая 4), а при моделировании уравнения (8) (кривая 3) получается большее приближение к опытной кривой, чем в остальных случаях.

Анализ этих кривых показывает, что уравнение (8) позволяет получить более точное решение, по сравнению с уравнением (10), а точность решения уравнения (19) выше точности решения уравнения, приведенного в [4]. Исходя из этого, при исследовании длительных электромеханических переходных процессов в сложной энергосистеме рекомендуется в состав исходных решаемых систем уравнений включить уравнение (8) или (19) в зависимости от сложности задачи.

Поступило 27.V.1966

Ս. Ն. ՇՈՒՐՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱՍԻՍՏԵՄԻ ԶԻՌՈՒՆԻՍՏՐԱԿԱՅԱՆԻ ԱՆՅՈՒՄԱՅԻՆ ՊԵՐՈՅԵՄԻ ՎՐԱ  
ԶԻՐՈՒՎՐԻԱԿԱՆ ԶԱՐԴԱԾԻ ԱԶԳԵՑՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՌՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

### Ա Վ Փ Ի Ն Փ Ի Ն Ե Մ

Բարդ էներգատեսակմամբ աշխատող բարձր ճնշման շիդրոդինամիկայի աշխատանքը ոչ ստացիոնար սեփմաների դեպքում նետազատելիս, անհրաժեշտ է որպես ժամանակի ֆունկցիա ունենալ հիդրավիզիկական հարվածի անալիտիկ արտահայտությունը, որը բավականին ճիշտ պետք է նկարագրի այդ երևույթը և հեշտությամբ մոդելացվի անալոգային հաշվի մեթոդների վրա:

Հողվածում առաջարկվում է մոտավոր գիֆերենցիայ հավասարում, որով բավականին ճիշտ է նկարագրվում շիդրոդինամիկայի պրոցեսը բարձր ճնշման հիդրոլիզիկատրակայանի խողովակաշարի վերջում, և արվում է այդ հավասարման սկզբնական պայմանների որոշման եղանակ:

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Под редакцией акад. Костенко М. П. Электродинамическое моделирование энергетических систем. Изд. АН СССР, 1959.
2. Акопян С. Г. К математическому моделированию гидроагрегата электростанции. Изв. АН СССР (энергетика и транспорт), № 1, 1966.
3. Семенин В. В., Фомина Е. П. О моделировании поворотолапастных гидротурбин на электронных интеграторах. Декады 4-й междуз. конференции по применению физ. и мат. моделирования. Сборник 2, МЭИ, 1962.
4. Поняскин Н. К. Аналитическое выражение уравнений гидравлического удара при закрытии в конце трубопровода. Известия АН АрмССР, № 2, 1961.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

В. В. ПИНАДЖЯН, С. Г. ИОШНИСЯН

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ  
 НА ДЕФОРМАЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ  
 ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Важнейшим фактором, оказывающим влияние на работу железобетонных конструкций и сооружений, являются длительные деформации от ползучести и усадки бетона [1]. Длительные деформации изменяют величины усилий предварительного напряжения в арматуре и бетоне и общее напряженное состояние элементов конструкций, вызывают дополнительные прогибы, при наличии же трещин увеличивают ширину их раскрытия и т. д. В связи с этим, правильный учет длительных деформаций, развивающихся в железобетонных конструкциях, имеет большое практическое значение.

Разработанные в настоящее время теоретические методы расчета длительных деформаций в предварительно напряженных железобетонных конструкциях позволяют достаточно точно оценивать их поведение в условиях проявления ползучести и усадки бетона [2, 3]. В связи с тем, что применение этих методов зачастую связано с большим объемом вычислительных работ, в практике проектирования пользуются приближенными способами расчета. В частности, для предварительно напряженных железобетонных элементов полный прогиб от длительного действия нагрузки с учетом выгиба от усилий предварительного обжатия бетона определяется по формуле [4]

$$f = (f_1 - f_2) C,$$

где  $f_1$  — начальная деформация от длительно действующей части внешней нагрузки;

$f_2$  — начальная деформация от усилия обжатия бетона;

$C$  — коэффициент, учитывающий увеличение деформаций от длительного действия нагрузки. Значение  $C$  принимается при сухом режиме эксплуатации равным 3, при нормальном режиме — 2, при влажном режиме — 1,5. При этом предполагается, что знак прогиба от длительного воздействия нагрузки совпадает со знаком начального прогиба. Иначе говоря, если при совместном действии внешней нагрузки и усилия обжатия конструкция располагается, например, выше нулевой линии, то и во времени прогибы увеличиваются в том же направлении. Значения коэффициента  $C$  нормируют-

ся только лишь в зависимости от влажностных условий эксплуатации конструкции.

Проследим правильность принятых предпосылок. Рассмотрим для этого пример 2 приложения 8 Инструкции СН 10—57. Дана однопролетная предварительно напряженная балка с расчетным пролетом  $l=11,6$  м и высотой сечения  $h=0,97$  м. Для балки принимаются: тяжелый бетон марки 400, напрягаемая арматура из холоднокатанной проволоки периодического профиля  $\Phi$  5 мм по ГОСТ 8480—63 ( $F_{II}=1,57$  см<sup>2</sup> — 8 проволок,  $F_{IV}=7,84$  см<sup>2</sup> — 40 проволок), усилие обжатия бетона — 940000 кг. Следуя [2, 3], рассчитаем длительные деформации балки при значениях изгибающего момента от поперечной нагрузки от 0 до 50 т. м. Нормированные физико-механические характеристики бетона в условиях длительного воздействия нагрузки принимались по [5] для трех значений относительной влажности  $p$  сре-

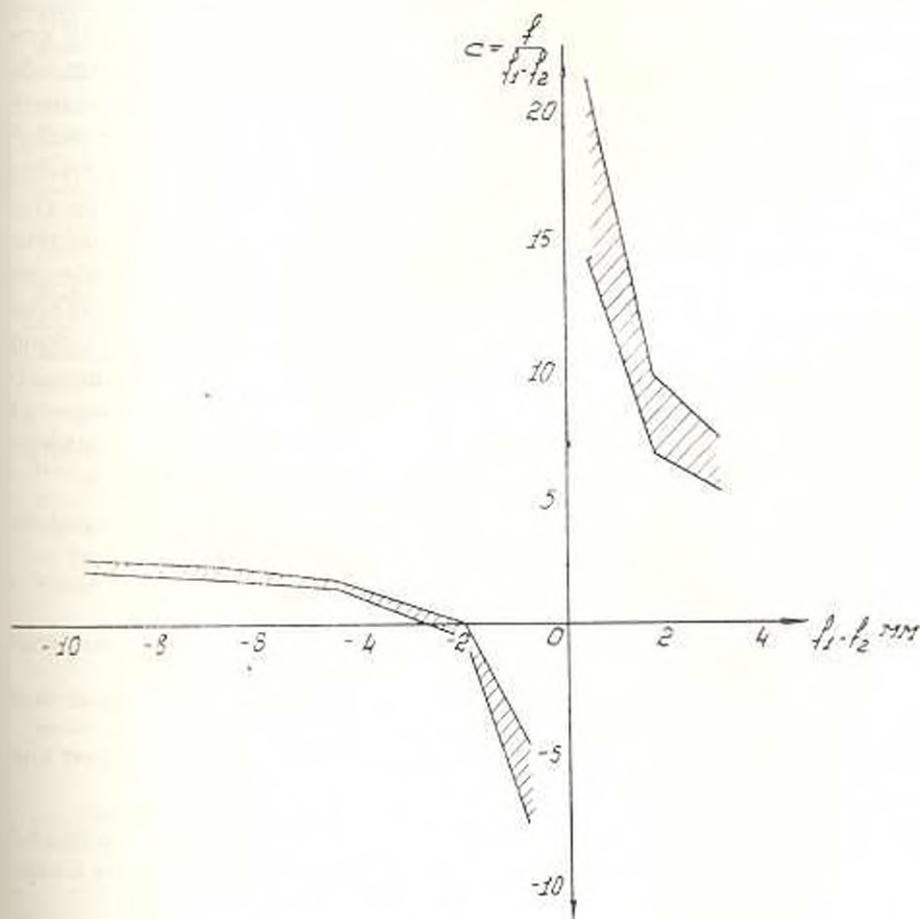


Рис. 1.

ды и равнялись при  $p=50\%$  —  $\varphi_r = 3,57$ ,  $\varepsilon_y = 43 \cdot 10^{-5}$ , при  $p=70\%$  —  $\varphi_r = 2,7$ ,  $\varepsilon_y = 33 \cdot 10^{-5}$ , при  $p=85\%$  —  $\varphi_r = 2,09$  и  $\varepsilon_y = 25,4 \cdot 10^{-5}$ . Расчеты велись для двух схем загрузки: сосредоточенной силы и

серелине пролета и равномерно распределенной по всему пролету нагрузки. В общей сложности были подсчитаны 45 вариантов деформаций балки. Из рис. 1 показаны полученные значения коэффициента  $C$  для случая равномерно распределенной нагрузки на балку в зависимости от суммарного упругого прогиба в середине пролета. Закономерность изменения  $C$  для случая сосредоточенной нагрузки аналогична. Заштрихованная площадь указывает на границы изменения коэффициента  $C$  при изменении влажности среды в диапазоне 50%—85%. Отрицательным знаком отмечен суммарный упругий прогиб вверх от нулевой линии (выгиб), положительным—вниз от нулевой линии. Нетрудно заметить, что значения коэффициента  $C$  существенно зависят от величины суммарного упругого прогиба или что то же от соотношения моментов обжатия бетона и внешнего изгибающего момента. С приближением упругого прогиба к нулю сверху и снизу величина  $C$  стремится к бесконечности. Как видно из рис. 1, знак полной деформации балки меняется на обратный раньше, чем меняется знак суммарных упругих деформаций, поскольку кривая  $C$  пересекает ось абсцисс не при нуле, а в точке  $f_1 - f_2 = -2,5$  мм. Абсолютное значение координаты пересечения кривой  $C$  с осью абсцисс увеличивается и отдалается от нуля с увеличением гибкости элемента и уменьшением модуля упругости бетона. Можно также заметить, что расхождение между кривыми  $C$  при влажностях 50% и 75% увеличивается с приближением упругих деформаций к нулю, т. е. с увеличением внешнего изгибающего момента. Это объясняется тем, что с увеличением внешнего момента доля длительных деформаций в полных деформациях балки увеличивается. Выявленная здесь на частном примере закономерность изменения величин  $C$  с учетом [5] может быть полезна при последующем корректировании норм [4] в части, касающейся расчета деформаций предварительно напряженных конструкций.

Получено 5.XI.1967

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гвоздев А. А. Ползучесть бетона. Труды II Всесоюзного съезда по теоретической и прикладной механике. «Наука», 1966.
2. Улицкий И. И., Чжан-Чжун-Яо, Голмшес А. Б. Расчет железобетонных конструкций с учетом длительных процессов. Киев, 1960.
3. Austman R. Kriechberechnung von Verbundträgern unter Benutzung von zwei Kriechfasern. Der Bauingenieur, 1960, II 11.
4. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. М., 1962.
5. Щербиков Е. И. Развитие практических методов учета ползучести и усадки бетона при проектировании железобетонных конструкций. Журнал «Бетон и железобетон», № 8, 1967.

Բ Ո Վ Ա Ն Գ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

«Հայկական ՍՍՀ ԳԱ տեղեկագրի» (տեխնիկական գիտությունների սերիա)  
XX հատորում գետեղված հոդվածները

ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆԻԿԱ

Վ. Ա. Աբրահամյան, Լ. Ա. Կուպիլին, Շաքարի փոշու պենետրակտի փոխադրման ժամանակ ստատիկ էլեկտրակառուցված առարկայում մի քանի օրինակափոփոխությունները . . . . .	31
Է. Լ. Հովհաննիսյան, Հոսանքի ռուլզ արժեքի կանեցրը ճեղքված լազեցման զրոսելները քննության հաշվարկը . . . . .	3—5
Ն. Գ. Նիկիտյան, Բացառապես բնօրինակ ստորերերի սաքացումը տարբեր համախոսված հոսանքներին . . . . .	2—22
Գ. Ա. Շահինյան, Կոնդենսատորային ինքնազրգուծով համախաղանություն ակտիվությունների կերպափոխիչ միամեքենայի հաշվարկման էլեմենտները . . . . .	4—11
Վ. Ի. Սանալով, Գ. Ա. Մելիքոնյան, Սինխրոն մեքենայի անախաղանակաբանական բնութագրերի սահմանման մեթոդ՝ հաստատուն հոսանքի մարման կորի հարմունկի վերլուծությունը . . . . .	4—3

ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ

Հ. Տ. Աղսեց, էներգետիկայի ինստիտուտի վերջին տարիներում կատարած աշխատանքների արդյունքները . . . . .	6—3
Թ. Փ. Առանյան, Նրբանային և թաղամասային կաթնայատներով կենտրոնական մատակարարման անցնելու նպատակադրվածության մասին . . . . .	2—16
Ի. Գ. Թախուղարյան, Գաղստպածան ռեժիմը և կարգավորումը բնութագրող զրուցանելիների որոշման հարցի շուրջը . . . . .	1—37
Լ. Տ. Ղուլոյան, Լ. Ա. Հովհաննիսյան, Սինխրոն զագի էներգետիկ օղտազրոման հարցի շուրջը . . . . .	2—47
Է. Ա. Պողոսյան, էներգոսխտեմի ղերմային էլեկտրակայանների համար զագի բազմամյա կուտակման ծավալի որոշումը . . . . .	7—11
Է. Ս. Պողոսյան, Գաղստպածան կարգավորումը էներգատեստման . . . . .	5—18

ԳՐԱԻՆՏԵՆԻՄԻ ՄԻՆԵՐԱԿԻԿԱ

Զ. Գ. Տեր-Մարտիրոսյան, Կավային զրունտներում կողային նկման արցի շուրջը զրունտների խտացման ղեկագրում . . . . .	1—3
--	-----

ԲՆՔԻՆՈՒՄՆԻ ԱՅԻՆ ԱՅՍՄՈՐՈՒՄԻ

Ա. Գ. Թաղան, Լուծման որոշումը զարման կետին մոտ նակատում . . . . .	3—26
---	------

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

Վ. Վ. Կազակիչ, Ռ. Ս. Թափոյեյան, Լ. Ռ. Ամյան, Նախնական հաշվարկումով քաղաքային տիպի էրոտրեմալ կառավարման սխտեմների նկատագրումը բաշեղարումների առկայությամբ . . . . .	4—35
Ա. Ս. Մկրտչյան, Բաժանարար սարք . . . . .	6—39

ԱՐԻՒՄՆԵՆԻԿԱ

Ա. Ս. Իսահակյան. Գաղափարները իսրայելական կրթության ոլորտում և դրանց ներդրումը հայաստանի կրթության զարգացման գործում . . . . . 3—14

Տ. Կ. Հակոբյան. Հենդիկեպտիկների կրթությանը ներդրող գործընկերների դերը . . . . . 6—50

Ը. Կ. Հարությունյան. Փամանակի կործանի շարժումը և դրանից ազդեցությունը հայաստանի կրթությանը . . . . . 3—38

Վ. Ս. Հովհաննիսյան. Ռ. Մ. Կուրաբաջյան. Ջրամբարի մանկերույթի վրա մոնոթեոկրատիկ մտայնության ազդեցությունը . . . . . 5—30

Ա. Ս. Արարատյան, Ը. Ը. Փարիզյան, Ա. Ս. Նիշմանյան. Սևանա լճի ավազանի ցամաքի զբաղմունքի ու զերմային շարժումների վերաբերյալ . . . . . 5—20

ՄԵՔԵՆԱՓԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Ս. Ս. Էդիլյան, Ռ. Վ. Հավաքածույան. Շտրոպսային մեխանիզմի դինամիկական վերլուծությունը . . . . . 1—43

Կ. Ս. Անանյան, Տեղափոխումները և անդամները բնկրկելի Վարթ կցվածքում . . . . . 1—47

Կ. Ա. Սեդրյան. Արարատի մասին հետազոտությունների վերաբերյալ . . . . . 3—21

Ռ. Պ. Չավախյան. Մոնոթեոկրատիկ շարժումների վերաբերյալ . . . . . 3—11

ԿՆԵՆԱԿՆՈՒԹՅՈՒՆ

Կ. Վ. Կասյան. Կրթությանը ներդրող գործընկերների կրթական կրթությունը . . . . . 6—13

Կ. Ս. Մուրադյան. Կրթության մասին հայաստանի կրթության մեջ մեծագույն ներդրումը . . . . . 2—80

Վ. Ս. Սարգսյան, Վ. Ս. Չելիկով. Ինտելեկտի մեջ ազդեցությունը կենսոլորտի մասին . . . . . 2—53

ՆԵՆԱԿՆՈՒԹՅՈՒՆ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՏԻՎՆԻԿ

Տ. Ս. Կոնյան. Անարժեք ազդեցությունների վերաբերյալ և դրանց ներդրումը կրթությանը . . . . . 1—17

Տ. Ա. Կոնյան. Կոնստրուկտիվ խոսակցության ուսուցանողականությունը հայաստանի կրթությանը . . . . . 4—22

Ա. Ս. Կարաբյան. Մեթոդի ուժերի ազդեցությունը կենսոլորտի մասին . . . . . 5—3

Կ. Վ. Կուրաբաջյան, Կ. Ս. Կուրաբաջյան. Կուրաբաջյանի շեքերի ներդրումը . . . . . 1—10

Կ. Ս. Կուրաբաջյան. Կուրաբաջյանի կուրաբաջյանի շեքերի ներդրումը . . . . . 6—31

Վ. Բ. Կուրաբաջյան, Վ. Ս. Կուրաբաջյան. Տուրաբաջյանի որակական կրթությանը . . . . . 1—24

Կ. Ս. Կուրաբաջյան. Կուրաբաջյանի կուրաբաջյանի ներդրումը . . . . . 5—10

Ը. Վ. Վեյսթայն. Հայաստանի կրթությանը ներդրող գործընկերների կրթությանը . . . . . 3—52

ՆԵՆԱԿՆՈՒԹՅՈՒՆ ՄԵՆԱԿՆՈՒԹՅՈՒՆ

Ա. Ա. Կուրաբաջյան. Մարտի և հունիսի 1918 թվականի կրթությանը . . . . . 2—11

Կ. Ս. Կուրաբաջյան, Կ. Ս. Կուրաբաջյան. Արարատի կրթությանը . . . . . 2—3

Կ. Ս. Սարգսյան. Արարատի կրթությանը . . . . . 2—17

ՋԵՐՄԱՆՆԵՆԿԱԿ

Ա. Ն. Աճառնյան. Փոփոխականության սարձակի կայք ջրարերուկների միջին բաղձատարյան Խոսքի սողուից . . . . . 4—20

II. Ս. Առախլյուն. Հորիզոնական կարան-կտրվածքների աղջնցությունը մասսիվ կոնտրֆորային պատվարի լարված միջնակի վրա . . . . . 4—16

I. Ս. Հովնանիսյան. Ջերմափոխանակության պրոդեոի ինտենսիֆիկացումը մեջման լայնական և երկայնական գրադիենտների օդաւղորդման շեղմից . . . . . 3—31

II. Մ. Ղազարյան. Ընդամաների ֆիտոտոլ միջավայրում ստորերկրյա շրջերի ներհաման ճարքի շուրջը . . . . . 4—25

ՓԻՓՈՒՍՆԵՆԿԱԿ

Վ. Գ. Արամյան.  $Mg(O) - Al_2(O)_3 - Si(O)_2 - Zr(O)_2$  սխտեղի և երա լիճքի վրա բարձր ճրկայուն կապների ստացման նւարավորությունը . . . . . 1—62

Ե. Հ. Գևորգյան, Ս. Ա. Մարտիրոսյան, Կ. Ա. Փիրոյան, Պ. Ա. Թովմասյան, Ուրպենտիկ կավալին կերամիկական մասսաների ստամեասիրությունը . . . . . 1—53

ԿԻՏԱԿԱՆ ԿՈՒՅԻՒՄ

Կ. Ա. Ալիսանյան. Յ. Պ. Կոլիվանյան. Ապասիկերոն շարժիչների օդափմա նախագծման ճարքի շուրջը . . . . . 3—58

Մ. Գ. Առախլյան. Սղային յուղամար սֆերիկ ստանցցակալով փորձարկման ստենդի պինամիկան . . . . . 4—50

Գ. Հ. Ալեխանյան. Համասեղ զոների նախասարմենների լուծումը սահմանաշին անցման մեթոդով . . . . . 4—44

II. Հ. Բաբսեղյան. Հիդրալիչիկակոն կարտոտների բանաձևի մասին՝ Նեղուկի յկայունացած շարժման զեպցում . . . . . 5—33

II. Մ. Գասպարյան, Ռ. Մ. Միրզախանյան, Խոշորահաս նյութերի անեմստրանսպորտ խիտ շերտով . . . . . 4—52

II. Գ. Խոնիսյան. Էնոնիմաթի երկարություն աղջնցության հաշվաստմը նրկալրեստեն կոնստրուկցիաների ճարակայնությունը գնահատելիս . . . . . 4—47

II. Վ. Խաչիյան. Անոթղակի տեղակայման մեթոդով յարիչի սակղղակի աստիճանավորումը ըստ պատման մոմենտի միախորի . . . . . 5—46

Կ. Խ. Ղազարյան, Ազատ կտրման զեպցում ումերի որոյման ճարքի շուրջը . . . . . 5—37

Վ. Գ. Լուսինյան. Կարելի արդյունաբերության մեջ կոպիտալ ներդրումների արդյունավետության գնահատման ճարքի շուրջը . . . . . 5—43

Վ. Վ. Փինսյան, II Գ. Խոնիսյան. Եախալարված երկաթրեստեն կոնստրուկցիաների զեֆորմաձախաների վրա երկարատև պրոցեսների ճարքի շուրջը . . . . . 6—56

## СОДЕРЖАНИЕ

XX тома Известий АН Армянской ССР (серия технических наук)

Стр.

### Вычислительная техника

- В. В. Калквич, Р. С. Рафаелян, А. Р. Амиян.* Исследование системы экстремального регулирования шагового типа с предвычислением установившегося значения при наличии помех . . . . . 4—35
- А. С. Мкртчян.* Делительное устройство . . . . . 6—39

### Гидротехника

- У. Г. Арутюнян.* О технико-экономических расчетах осушительных систем с учетом фактора времени . . . . . 3—38
- С. Р. Аюбян.* Об учете влияния гидравлического удара на переходный процесс гидроэлектростанции энергосистемы . . . . . 6—50
- С. С. Аракелян.* Влияние горизонтальных швов-надрезов на напряженное состояние массивно-контрфорсной плотины . . . . . 4—16
- А. И. Агаронян.* Связь между коэффициентом изменчивости и модулем среднего многолетнего стока взвешенных наносов . . . . . 4—20
- С. М. Неаакин.* Выбор оптимальных параметров реакционной камеры с газовым потоком при течении тонкой пленки жидкости по стенкам . . . . . 3—44
- С. М. Казарян.* К вопросу неустановившегося притока подзмных вод в многослойной фильтрующей среде . . . . . 4—25
- А. М. Мхитарян, Г. Г. Пахчанян, С. М. Шишманян.* Волный и тепловой балансы суши бассейна озера Севан . . . . . 5—20
- К. Х. Овсепян, Р. М. Карапетян.* Фотограмметрический метод исследования распространения ковра мономолекулярной пленки на поверхности водоема . . . . . 5—30

### Инженерная сейсмология

- А. Г. Бабаян.* Определение решения на фронте вблизи точки поворота . . . . . 3—26

### Маятниковые

- М. В. Касьян.* К состоянию контакта режущий инструмент-деталь . . . . . 6—15
- А. С. Максудян, В. А. Черников.* Влияние числа Рейнольдса на концевые потери . . . . . 2—53
- Г. И. Миртрянян.* Об одном методе определения износа реза . . . . . 2—60

### Машиноведение

- Р. И. Джавилчян.* К синтезу плоских кулачковых механизмов с качающимися кулачками . . . . . 3—11
- Г. С. Джанджурджян.* Перемещения и давления в податливом плоском стыке . . . . . 1—47
- К. А. Мнджоян.* К вопросу работоспособности абразивного зерна . . . . . 3—21
- М. Б. Эдильян, Р. В. Амбарцумян.* Динамика штринсового механизма . . . . . 1—43

## Механика грунтов

- Э. Г. Мартиросян. К вопросу о боковом давлении в глинистых грунтах при уплотнении . . . . . 1—5

## Строительные конструкции

- Т. А. Горюхи. О несущей способности железобетонных элементов по наклонным сечениям при сейсмических воздействиях . . . . . 1—17
- Т. А. Горюхи. Исследование конструктивного гистерезиса в узлах сборных железобетонных рамных систем . . . . . 6—22
- В. К. Гукасян, В. А. Степанян. Прочность и деформации панелей из туфовых камней при перекосе . . . . . 1—24
- С. С. Дирбуцян. О колебании свободностоящего примитического бруса под сейсмическим воздействием . . . . . 5—3
- Ж. В. Захарян, Э. Е. Хачиян, Л. В. Шалекуварян. О расчетной схеме крупнопанельных зданий . . . . . 1—10
- Л. М. Межонкин. Характер разрушения стальной стальной и высокопрочности для строительства . . . . . 5—10
- О. В. Пештмаджян. О податливости стыков наружных стеновых панелей жилых зданий при действии горизонтальной нагрузки . . . . . 3—52
- Э. Е. Хачиян. К сейсмостойкости многоэтажных каркасных зданий с учетом упруго-пластических деформаций . . . . . 6—31

## Строительная механика

- С. А. Багдасарян. Прочность сжатых стержней при нелинейных концевых эксцентриситетах с учетом линейного упрочнения материала . . . . . 2—11
- С. Т. Мирзоян. Исследование пространственной жесткости зданий с внутренними продольными стенами . . . . . 2—17
- Э. Е. Хачиян, Л. С. Казарян. О поперечных колебаниях вертикальных стержней с учетом их собственного веса . . . . . 2—3

## Теплотехника

- Л. С. Оганесян. Интенсификация процесса теплообмена путем использования продольных и поперечных градиентов . . . . . 3—31

## Химическая технология

- В. Г. Арамян. Система  $MgO-Al_2O_3-SiO_2-ZrO_2$  и возможность получения высококонтрастных составов на ее основе . . . . . 1—62
- Х. О. Геворкян, О. А. Мартиросян, Г. А. Пилосян, П. А. Товмачян. Исследование серпентин-глинистых масс . . . . . 1—55

## Электротехника

- В. К. Абрамян, Л. Е. Крапивин. Некоторые закономерности возникновения статического электричества при пневмотранспортировке сахарной пудры . . . . . 2—31
- И. Г. Никишин. Нагрев японлаэусных роторов токми разных частот . . . . . 2—22
- Э. Л. Оганесян. Расчет характеристики дроселей иаэущения с подающими четными гармониками тока . . . . . 3—3
- В. И. Саиков, Д. С. Межонкин. Метод определения частотных характеристик синхронной машины гармоническим анализом кривой затухания постоянного тока . . . . . 4—3
- Г. А. Шагинян. Элементы расчета одномашинных бесконтактных преобразователей частоты с конденсаторным самовозбуждением ОБПЧК . . . . . 4—11

## Энергетика

- Г. Т. Адоиц.* Об итогах работы института энергетика за последние годы . . . . . 6—3
- Г. Л. Арсенин.* О целесообразности перехода к централизованному теплоснабжению от районных и квартальных котельных . . . . . 2—40
- Н. Г. Бархударян.* К вопросу определения показателей, характеризующих режим и регулирование газопотребления . . . . . 1—37
- Л. Т. Кудоян, Л. С. Оганесян.* К вопросу об энергетическом использовании синтез-газа . . . . . 2—47
- Э. С. Погосбеков.* Определение объема многолетнего аккумулирования газа для тепловых электростанций энергосистемы . . . . . 1—31
- Э. С. Погосбеков.* Многолетнее регулирование газопотребления в энергетической системе . . . . . 5—14

## Научные заметки

- К. А. Алиханян, Ф. П. Давилаян.* К вопросу оптимального проектирования асинхронных двигателей . . . . . 3—58
- Л. О. Аветисян.* Об одном предельном переходе при решении уравнений линий с распределенными параметрами . . . . . 4—44
- М. Г. Аракелян.* Динамика испытательного стенда на сферическом подшипнике с воздушной смазкой . . . . . 4—50
- М. Г. Барсегян.* О формуле гидравлических потерь при неустановившемся движении жидкости . . . . . 5—35
- А. М. Гапарян, Р. М. Мирзахиян.* Пневмотранспорт крупнозернистых материалов в плотном слое . . . . . 4—52
- С. Г. Юннисян.* Об учете длительного воздействия нагрузки при оценке трещиностойкости железобетонных конструкций . . . . . 4—47
- К. X. Казарян.* К вопросу определения сил при свободном резании . . . . . 5—37
- В. Д. Марухян.* К вопросу оценки эффективности капитальных вложений в кабельной промышленности . . . . . 5—43
- В. В. Паникян, С. Г. Юннисян.* К вопросу влияния длительных процессов на деформации предварительно напряженных железобетонных конструкций . . . . . 6—50
- С. В. Хачян.* Градуирование шкалы измерителя крутящего момента методом косвенного замещения . . . . . 5—40

УДК 620.4(071.1)(479.25)

Об итогах работы Института энергетики за последние годы. Адиби Г. Г.  
«Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XX, № 6, 1967, 3—14.

Рассматриваются итоги работы Ариянского НИИ энергетики за период с 1961 по 1967 гг. Излагаются основные результаты научно-исследовательских работ по следующим направлениям деятельности института. 1. Топливно-энергетический баланс республики и задача его оптимизации. 2. Теплофикация городов и оптимизация режимов работы теплоэлектростанций. 3. Устойчивость режимов объединенных энергосистем. 4. Теория и методы расчета режимов объединенных энергосистем. 5. Теория и методы расчета режимов многополюсника. 6. Методы математического моделирования энергосистем и отдельных ее узлов. 7. Теория и методы расчета электрических и магнитных полей в неоднородных средах. 8. Параметры и характеристики энергосистем. 9. Теория и методы расчета режимов электрических сетей. 10. Теория и методы расчета оптимальных режимов гидропаровой энергосистемы. 11. Методы синтеза цифровых автоматов и управляющих систем.

Приводятся сведения о лабораторной базе института и об опытно-пробном производстве специализированных литейных машин для энергетики. Приводится перечень 26 законченных в период 1963—1966 гг. работ института, переданных для реализации на практике. Библиография 18.

УДК 621.937

К состоянию контакта режущий инструмент-деталь. Касьян М. В.  
«Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XX, № 6, 1967, 15—21.

На поверхности контакта режущий инструмент—обрабатываемый металл происходят весьма сложные физико-динамические явления, отражающиеся на стойкости режущего инструмента. К ним относятся адсорбция, диффузия, структурные превращения, понижение усталостной прочности. На основе анализа приводятся пути и методы борьбы с этими явлениями. Библиография 7.

УДК 624.92

Исследование конструкционного гистерезиса в узлах сборных железобетонных рамных систем. Горюхи Т. А. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XX, № 6, 1967, 22—30.

Рассмотрено явление конструкционного гистерезиса в узлах сборных железобетонных рамных систем, в которых рассеяние энергии колебания, в основном, происходит в разъемном шве стыка. Изучен процесс деформации шва при циклическом действии изгибающего момента. Предложен способ расчета потерь энергии деформации. Для оценки количественного влияния допущений, принятых при теоретическом решении задачи, проведена экспериментальная проверка—определены гистерезисные потери в сборных рамных узлах. Отмечается, что между экспериментальными величинами потерь энергии и вычисленными по предложенному способу имеется удивительно хорошая связь. Гл.

Таблиц 2. Библиографий 5. Иллюстрация 5.

К сейсмостойкости многоэтажных каркасных зданий с учетом упруго-пластических деформаций. Хачян Э. Е. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XX, № 6, 1987, 31—38.

Расчетная схема здания принимается в виде вертикального консолидного бруса с сосредоточенными массами на уровне перекрытий. Между восстанавливающей силой и деформациями принимается билинейная зависимость. Система полученных дифференциальных уравнений решается непосредственным интегрированием, численным методом Рунге-Кутты с использованием ЭВМ. Выявлено, что упруго-пластические свойства конструкции существенно влияют на значения поперечных сил.

Таблица 1. Библиографий 5. Иллюстраций 3.

Делительное устройство. Мкртчян А. С. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XX, № 6, 1987, 39—49.

Описано электронное устройство, на выходе которого формируется импульс с амплитудой, пропорциональной отношению амплитуд двух входных сигналов. В устройстве использован принцип последовательного логарифмирования амплитуды входных импульсов, их вычитания и антилогарифмирования. Указанные операции выполняются при помощи двоичных функциональных преобразователей. Проведено теоретическое исследование зависимости ошибки деления от различных факторов.

Библиографий 1. Иллюстраций 9.

Об учете влияния гидравлического удара на переходный процесс ГЭС энергосистемы. Акопян С. Г. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XX, № 6, 1987, 50—55.

Исследуется поведение высоконапорных гидротурбин в работающей о сложной энергосистеме в нестационарном режиме.

Предлагается приближенное дифференциальное уравнение, достаточно точно описывающее неустойчивый процесс в конце высоконапорного трубопровода ГЭС и дается способ определения начальных условий этого уравнения. Предлагаются формулы для математического моделирования процесса на аналоговых механических машинах.

Библиографий 4. Иллюстрация 1.

**К вопросу влияния длительных процессов на деформации  
предварительно напряженных железобетонных конструкций.**

Пинадзян В. В., Ионнисян С. Г. „Известия АН Арм.ССР  
(серия Т. Н.)“, т. XX, № 6, 1967, 56—58..

В действующих нормативных положениях полный прогиб предварительно напряженных железобетонных элементов определяется введением параметра  $C$ , учитывающего влияние длительно действующей нагрузки. Величина  $C$  нормирована и в частности при сухом режиме эксплуатации равна 3, а при влажном режиме—1,5. На примере предварительно напряженной балки пролетом 11,6 м и принятых нормированных физико-механических характеристиках тяжелого бетона [5] выявлено, что параметр  $C$  существенно зависит от соотношения силовых факторов—момента от продольных сил обжатия бетона и момента внешних поперечных сил. Библиографий 5. Иллюстрации 1.



Բ Ո Վ Ա Ն Կ Ե Ի Թ Յ Ո Ւ Ն

ԷՆԻՐԳԵՏԻԿԱ

Տ Աղաճզ, էներգետիկայի ինստիտուտի վերջին աստիճանում հաստատված աշխատանքների արդյունքները . . . . . 3

ՄԵՔԼԵԱՇԻՈՒԹՅՈՒՆ

Մ Վ. Կասյան, Կոբոլզ գործիք-ղետայ կոնտակտի վիճակի շուրջը . . . . . 15

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ԿՈՆՍՏՐՈՒԳՅԱԿՆԵՐ

Տ Ա. Կոռայան, Կոնստրուկցիոն շիտերեղի ուսումնասիրությունը նավարակի նրկայի-րհտունն չրքանակային սխեմաների հանդույններում . . . . . 22

Է Ն. Խաչիյան, Բազմաձևակ կարկասային շենքերի տեխնոլոգիայի շարժը՝ ուսակա-պատտիկական ղեկորմաների նավատամբ . . . . . 31

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

Ա Ս. Մկրտչյան, Բաժանարար սարք . . . . . 39

ՀԻՒՄՆԱԿԱՆ

Ա Շ. Հակոբյան, էներգետիկայի շիտերեղի կառուցման սեղանային պրոցեսի վրա իրարակիկական հարվածի ազդեցության աշխատանքի մասին . . . . . 50

ԳԻՏԱԿԱՆ ԱՊՐՈՒՄ

Վ Վ. Փինայան, Ս. Գ. Իոննիսյան, Նախալարված երկաթեղենի կոնստրուկցիաների ղեկորման ղեկարարի վրա երկարատև պրոցեսների ազդեցությունը նարքի շուրջը . . . . . 56

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

### Энергетика

- Г. Т. Адоц. Об итогах работы Института энергетики за последние годы . . . . . 3

### Машиностроение

- М. В. Кисьян. К состоянию контакта режущий инструмент-деталь . . . . . 15

### Строительные конструкции

- Т. А. Гороян. Исследование конструкционного гистерезиса в узлах сборных железобетонных рамных систем . . . . . 22

- Э. Е. Хачиян. К сейсмостойкости многоэтажных каркасных зданий с учетом упруго-пластических деформаций . . . . . 31

### Вычислительная техника

- А. С. Мкртчян. Делительное устройство . . . . . 39

### Гидротехника

- С. Г. Акопян. Об учете влияния гидравлического удара на переходный процесс ГЭС энергосистемы . . . . . 50

### Научные заметки

- В. В. Шакоджян, С. Г. Ноннисян. К вопросу влияния длительных процессов на деформации предварительно напряженных железобетонных конструкций . . . . . 56