

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. Рас-сол, 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 „Укрспромгаз“.

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, Ленинакана, Кировакана и Раздана.

в. Сформулирован алгоритм и составлена программа определения оптимальных областей применения различных систем электро-теплоснабжения. 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 (МНРЭК-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 электрохимических 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 электрохимических 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 № 5 2288, по заявке 1042308 АрмянНИЭ.

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: Армглазэнерго, 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 гелноустановка 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-Разданского 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 ускорения развития Армянской энергосистемы на 1967 г. (Армглавэнерго);

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

з) теплоснабжение города Кiroвакана для ускорения его развития на 1980 г. (Госстрой АрмССР).

1966 г. а) оптимальная схема теплоснабжения города Ленинакана 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 заземлениям 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.

АрмНИИЭ

Поступило 13.X.1967

2. S. ԱՄՈՆՑ

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏԻ ՎԵՐՋՈՆ ՏԱՐԻՆԵՐՈՒՄ ԿԱՏԱՐԱՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ

Ա մ փ ս փ ու մ

Հոգովածում հանրագումարի է բերված էներգետիկայի հաշվադան գիտահետազոտական ինստիտուտի աշխատանքը 1961—1967 թթ. մամանակաշրջանում: Շարադրված են ինստիտուտում հետևյալ ուղղություններով կատարված գիտահետազոտական աշխատանքների արդյունքները.

1. Հանրապետությունը զերմաէներգետիկ հաշվեկշիռը և նրա օպտիմալացման խնդիրները:

2. Քաղաքների ջերմաֆիկացիան և ջերմաէլեկտրացնեսարանների աշխատանքային ռեժիմների օպտիմալացումը:

3. Միացյալ էներգատնտեսների ռեժիմների կայունությունը:

4. Բաղմարեկոփ տեսությունը և նրա ռեժիմների հաշվման մեթոդները:

5. էներգատնտեսների և նրանց առանձին հանգույցների մաթեմատիկական մոդելացման մեթոդները:

6. Անհամասեռ միջավայրում էլեկտրական ու մագնիսական դաշտերի տեսությունը և հաշվման մեթոդները:

7. էներգատնտեսների պարամետրները և բնութագրերը:

8. էլեկտրական շղթաների ու ցանցերի ռեժիմների տեսությունը և հաշվման մեթոդները:

9. Հիդրոէլեկտրային էներգատնտեսի օպտիմալ ռեժիմների տեսությունը և հաշվման մեթոդները:

10. Թվային ավտոմատների և ճանաչող սխեմաների սինթեզի մեթոդները:

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

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Адоки Г. Т. Многополюсник. Изд. АН АрмССР, 1965.
2. Адоки Г. Т. К методам расчета потерь мощности в электрических сетях энергосистем. «Электричество», № 11, 1962.
3. Адоки Г. Т. Расчет параметров многополюсника, эквивалентного схеме сложной структуры. «Электричество», № 4, 1966.
4. Адоки 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. Остпян А. М. Техничко-экономические расчеты в энергетике. Аригосиздат, 1962.
13. Сааков В. И., Мелконян 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).